Gestion agile de processus métier : proposition d'une approche tirée par les compétences

Wafa Triaa

▶ **To cite this version:**

Wafa Triaa. Gestion agile de processus métier : proposition d'une approche tirée par les compétences. Automatique / Robotique. Université Grenoble Alpes, 2018. Français. NNT : 2018GREAI065 . tel-01968687

HAL Id: tel-01968687

https://theses.hal.science/tel-01968687

Submitted on 3 Jan 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Communauté
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE LA COMMUNAUTE UNIVERSITE GRENOBLE ALPES

Spécialité : **GI : Génie Industriel : Conception et Production**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

Wafa TRIAA

Thèse dirigée par **Lilia GZARA, Maitre de conférences Habilitée à Diriger des Recherches, Grenoble INP**
et codirigée par **Hervé VERJUS, Maitre de conférences, Université de Savoie Mont Blanc**

préparée au sein du **G-SCOP**
dans **IMEP-2**

Gestion agile de processus métier : proposition d'une approche tirée par les compétences

Thèse soutenue publiquement le **21 septembre 2018**,
devant le jury composé de :

M, François CHAROY
Professeur, Université de Lorraine, Rapporteur
M, Laurent GENESTE
Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieur de Tarbes, Rapporteur
M, Laurent TABOUROT
Professeur, Université de Savoie Mont Blanc, Président
M, Farouk TOUMANI
Professeur, Université Blaise Pascal, Examinateur
Mme, Lilia GZARA
Maître de conférences, Grenoble INP, Directeur de thèse
M,Hervé VERJUS
Maître de conférences, Université de Savoie Mont Blanc, Co-Directeur de thèse

"Si l'on sait exactement ce qu'on va faire, à quoi bon le faire ?"
Picasso - Pablo Ruiz

"L'imagination est plus importante que le savoir."
Albert Einstein

Remerciements

Et vient le moment d'écrire les remerciements... Quand je pense à toutes les personnes sans qui ce travail n'aurait probablement pas pu être achevé, je me dis que ce n'est pas pour rien que cette page précède la présentation de tout travail de thèse.

Tout d'abord, je tiens à exprimer toute ma gratitude à ma directrice de thèse Mme. Lilia Gzara pour la confiance qu'elle a placée en moi, sa gentillesse et ses directives si précieuses. Avoir été sous sa direction a été une expérience extrêmement riche. Malgré ses responsabilités, elle a su être présente quand il le fallait. Mon coencadrant de thèse M. Hervé verjus pour sa patience, ses nombreux conseils, ses idées, ses nombreuses relectures et sa capacité à prendre du recul qui ont été des atouts importants pour l'aboutissement de cette thèse. Un grand merci pour cet encadrement de qualité intellectuellement et humainement.

Aussi, mes remerciements vont aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de participer à ma soutenance de thèse. Pouvoir réunir pour cette occasion des chercheurs d'un tel niveau au sein de disciplines aussi diverses est pour moi un très grand honneur et une marque d'encouragement pour la conduite de recherches interdisciplinaires. Mes sincères remerciements vont tout spécialement à M. François Charoy et M. Laurent Geneste pour avoir accepté de lire avec minutie ce mémoire et de rapporter sur mon manuscrit. Je les remercie pour toutes les questions, riches d'intérêt, qu'ils ont pu soulever. Je tiens aussi à remercier M. Laurent Tabourot, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse, M. Farouk Toumani qui a accepté d'examiner mon travail. Merci pour leurs remarques judicieuses et les améliorations qu'ils ont suggérées.

Je remercie également tous les personnels, les enseignants et les chercheurs du laboratoire G-SCOP, qui m'ont permis d'évoluer dans un lieu de travail à l'ambiance conviviale. Je remercie particulièrement Khaled Hadj-Hamou, Michel Tollenaere, Gülgün Alpan, Fadila Messaoud Djebara, Marie-Josephe Perruet.

Ensuite, je voulais remercier tous ceux qui m'ont manifesté leur amitié pendant la thèse, sans qui ces quelques années auraient paru bien plus mornes. Je pense en particulier à Amina, Emna, Khadija, Juliana, Fatma, Khadija, Huda. Merci pour cette ambiance exceptionnelle au laboratoire et pour les bons moments passés ensemble. Merci aussi pour leur soutien et leur aide précieuse. Merci à tous qui sont passés de collègues à vrais amis.

Je terminerai en remerciant de tout cœur tous ceux sans qui cette thèse ne serait pas ce qu'elle est :

Tous les amis et proches, et en particulier Fetia, Naima, Sana d'avoir partagé aussi bien les bons que les durs moments de la thèse.

Mes chers parents, Ali et Jamila pour leur soutien constant dans tous les moments difficiles et de doutes rencontrés au cours de ces travaux de thèse. Même quand je n'y croyais plus, ils continuaient à y croire.

Merci aussi à mes trois petits frères, Charfeddine, Tarek et Alaeddine pour leur soutien sans faille, ma reconnaissance pour vous est éternelle.

J'adresse une pensée particulière à mon époux Anis. Sans son enthousiasme, son encouragement infaillible et son soutien indéfectible, tout ceci n'aurait pas pu être possible. Je tiens à te dire merci d'avoir été toujours là, pour la patience et l'affection que tu m'a manifestée durant ces années et pour ton aide morale.

Enfin, plein de bisous pour ma petite Saja. Je dédie cette thèse à toi ma belle. Tu es le bonheur et l'inspiration dans ma vie.

"La reconnaissance est la mémoire du cœur"
Hans Christian Andersen

Table des Matières

Table des figures xiii
Liste des tableaux xv

Introduction Générale **1**

1 État de l'art **7**
1 Introduction 8
2 Typologie de processus 9
2.1 Classification selon la finalité 10
2.2 Classification selon la stabilité 10
2.3 Classification selon la structure 11
3 Notion de processus métier 13
3.1 Définition 13
4 Business Process Management : BPM 16
4.1 Définition de BPM 16
4.2 Cycle de vie de BPM 17
4.3 BPMS 21
5 Synthèse 22
6 Construit de l'agilité dans la littérature 24
6.1 Définition 24
6.2 Intérêt de l'agilité de processus 26
6.3 Typologie de l'agilité 27
7 Approches pour supporter l'agilité 36
7.1 Au support de l'agilité organisationnelle 36
7.2 Au support de l'agilité technique 39
8 Efficience des solutions existantes et lacunes d'aujourd'hui 43
8.1 Comparaison des travaux 43
8.2 Synthèse 46
9 Conclusion 47

2 Caractérisation de notre approche **49**
1 Introduction 50
2 Cadre de travail de thèse 50
2.1 Positionnement de notre travail par rapport à l'état de l'art . 50
2.2 Référentiel sur l'agilité organisationnelle 52
2.3 Cadre général de notre approche 54
3 Notre approche pour une gestion agile de processus 55
3.1 Objectifs 55
3.2 Architecture de l'approche 57
4 Conclusion 61

3 Annotation et sélection de compétences requises 62
1 Introduction . . . 63
2 Expression du besoin . . . 64
2.1 Rôles principaux . . . 64
2.2 Informations à fournir lors de l'expression du besoin . . . 64
2.3 Spécification de la sémantique du besoin . . . 66
3 Recherche de compétences . . . 69
3.1 Référentiel de compétences requises : RCR . . . 71
3.2 Sélection de compétences requises à partir de l'ontologie de compétences requises . . . 81
4 Conclusion . . . 91

4 Organisation et identification des compétences acquises 94
1 Introduction . . . 95
2 Présentation générale du processus de recherche de compétences acquises . . . 96
3 Organisation des profils d'acteurs . . . 97
3.1 Profil d'acteur . . . 97
3.2 Classification des profils par le treillis de Galois . . . 100
4 Recherche d'acteurs pertinents . . . 107
4.1 Insertion . . . 109
4.2 Sélection . . . 111
5 Conclusion . . . 116

5 Déploiement de compétences 117
1 Introduction . . . 118
2 Approche de déploiement de compétence . . . 119
3 Evaluation & Filtrage . . . 120
3.1 Modèle de préférences du manager du processus . . . 120
3.2 Récupération des informations contextuelles . . . 122
3.3 Evaluation et sélection finale . . . 126
4 Reconfiguration dynamique . . . 139
4.1 Définition du modèle du processus . . . 141
4.2 Adaptation de l'instance en cours d'exécution . . . 143
4.3 Prise de décision et adaptation du modèle du processus . . . 147
5 Conclusion . . . 152

Conclusions et perspectives 153

A Cadre conceptuel de l'AO 182
1 Introduction . . . 182
2 Réponse réactive . . . 184
3 Réponse proactive . . . 186

B Axiomes définis pour l'OCR **188**
1 Définition des axiomes 188
2 Axiome lié au concept compétence 189
3 Axiome lié au concept situation 189
4 Axiome lié au concept Ressource 190
5 Raisonnements sur les relations de compétences 190
5.1 Relation de similarité 191
5.2 Relation de composition 192
5.3 Relation de dépendance 192

C Suite de l'exemple de chapitre 5 **193**
1 Dégradation du niveau de maitrise acquis 193
2 Evaluations de l'exemple support 194
2.1 Collecte de données et évaluation 194
2.2 Sélection finale 198

Table des figures

1 Importance de la gestion des compétences [185] 3
2 Positionnement de nos contributions de thèse 5

1.1 Vues d'entreprise [184] 8
1.2 Typologie de processus selon la finalité [56] 10
1.3 Typologie de processus selon la stabilité [11] 11
1.4 Typologie de processus selon la structure 12
1.5 Cycle de vie de [50] 18
1.6 Cycle de vie de [56] 19
1.7 Cycle de vie de [79] 20
1.8 Sans BPMS vs Avec BPMS 22
1.9 Résultats de recherches sur Google Scholar à partir de 1990 26
1.10 Travaux connexes à l'agilité 27

2.1 Positionnement des approches de l'état de l'art 51
2.2 Agilité organisationnelle 53
2.3 Principales phases d'une gestion agile du processus 54
2.4 Notre approche pour une gestion agile de processus 57
2.5 Architecture de notre approche 58

3.1 Etapes principales de notre approche 63
3.2 Identification des concepts représentatifs de la requête 68
3.3 Exemple de requête analysée 69
3.4 Processus de recherche de CRs 70
3.5 Processus de construction d'une ontologie selon [112] 74
3.6 Ontologie de compétences 78
3.7 Exemple de chemin entre concepts 82
3.8 Exemple de localisation du concept représentatif 84
3.9 Organisation de catégorie de compétence 86
3.10 Exemple d'association entre compétences 86
3.11 Exemple d'organisation de compétences similaires 87
3.12 Processus d'extraction de compétence 89
3.13 Localisation du concept représentatif 90
3.14 Sélection des compétences requises 92

4.1 Etapes principales de notre approche 95
4.2 Processus de recherche de compétences acquises 96
4.3 Filtrage des index de compétences acquises 98
4.4 Principe de construction du treillis 105
4.5 Diagramme correspondant au tableau 4.3 107
4.6 Treillis de Galois correspondant à la relation du Tableau 4.5 108
4.7 Correspondance compétence requise-acquise 109
4.8 Exemple du vecteur de compétences requises 110
4.9 Localisation de $E(t_{localise})$ 111

4.10 Processus de sélection d'acteurs 113
4.11 Caractéristiques de compétences 114
4.12 Sélection des acteurs depuis le treillis 115

5.1 Etapes principales de notre approche 118
5.2 Déploiement de compétences 119
5.3 Echelle de réponses 122
5.4 Echelle de réactivité 124
5.5 Modèle hiérarchique 127
5.6 Correspondance Requis-Acquis 128
5.7 Régles de remplissage de la matrice de décision 129
5.8 Capture des réponses du manager du processus 131
5.9 Degré de détermination 133
5.10 Correspondance graphe et matrice adjacente 134
5.11 Résultat de l'exemple du chapitre 3 et 4 138
5.12 Approche de déploiement de compétences 140
5.13 Processus d'adaptation 141
5.14 Sauvegarde et prise de décision 148
5.15 Caractéristiques activités émergentes 150
5.16 Processus de changement de matériau d'un contacteur électromagnétique 151
5.17 Processus de la Figure 5.6 après la satisfaction du besoin de changement 152
5.18 Architecture de communauté de compétences 161

A.1 Compréhension intime de l'environnement de travail 183
A.2 Réponse réactive 185
A.3 Réponse Réponse proactive 187

Liste des tableaux

1.1 Définitions de processus métier 13
1.2 Définition de l'agilité 24
1.3 Nombre d'articles sur les principales bases de données académiques depuis 1990 26
1.4 Efficience des méthodes de gestion agile de processus 44

3.1 Modèles de compétences 74
3.5 Liste des compétences requises 91

4.2 Niveaux de maitrise selon le référentiel ROME [36] 100
4.3 Exemple d'une matrice de profils 104
4.4 Nouvelle matrice de profils 106
4.5 Représentation matricielle des profils d'acteurs 108

5.1 Informations contextuelles utilisées 123
5.2 Echelle de Saaty 129
5.3 Données utilisées pour quantifier la relation sociale 132
5.4 Degré de satisfaction total pour chaque acteur 139

B.1 Opérateurs de base de la logique de description 189
B.3 Degré de similarité entre compétences 191

C.1 Valeurs des attributs des alternatives 194
C.2 Valeurs des attributs de compétences requises 195
C.3 Degré de satisfaction global pour chaque acteur 198

Introduction Générale

Introduction

L'approche processus a été largement adoptée dans les entreprises ces dernières années. L'organisation du travail à travers les processus facilite la compréhension, le partage et l'évolution des activités de l'entreprise. Ces processus doivent être contrôlés et améliorés vue l'évolution quasi constante de l'environnement du travail. Ces aspects sont abordés par les approches de gestion des processus d'entreprise (Business Process Management) en permettant d'avoir une vision transversale de chaque processus. Le BPM est une approche centrée processus qui place les processus au centre d'une réflexion globale d'intégration "Process centric" afin d'être en mesure de les optimiser en abordant la question de l'amélioration continue et, dans la mesure du possible, de les automatiser au maximum et favoriser l'efficacité opérationnelle. La réalisation des objectifs du BPM est assurée par les trois principales phases formant son cycle de vie. 1) *La modélisation* : durant cette étape, grâce à un langage de modélisation la plupart du temps graphique, les modèles de processus sont définis. Une fois les modèles de processus élaborés, ils sont prêts à être intégrés, déployés et exécutés ce qui constitue les objectifs de la phase 2) *Exécution*. Le dernier objectif des approches BPM, procurer un contrôle et une amélioration constants des processus métier, est assuré durant la phase 3) *Contrôle*.

Cependant, beaucoup d'entreprises font le constat que les approches classiques de BPM ne suffisent plus à rendre les processus performants et à assurer leur pérennité. Ces processus traversent les frontières organisationnelles internes de l'entreprise et les frontières de l'entreprise pour collaborer avec les partenaires. En plus de la multitude des partenaires, l'évolution continue des exigences de ces partenaires (évolution des besoins, nouvelles exigences règlementaires...), un ensemble d'aléas qui affecte le fonctionnement de l'entreprise (absence des employés, panne des machines, retard de livraisons...), et l'implication de plusieurs employés avec différents niveaux d'expertise dans la réalisation des processus limitent le périmètre d'application des approches classiques de BPM aux processus stables et simples. De ce fait, les approches BPM existantes ne sont pas satisfaisantes pour faire face à l'environnement instable dans lequel évoluent les entreprises. Ces approches doivent être complétées par le concept d'agilité pour faire face à cet environnement complexe, incertain et en constante évolution. L'agilité est un paradigme qui a été introduit au début des années 90 par un groupe de chercheurs de l'institut Iacocca à l'université de Lehigh, Pennsylvanie [65].

De l'agilité à la gestion de compétences

La prise en compte de l'incertitude ne date pas seulement des années 1990. Dans le travail de [199], selon une étude qu'il a réalisée sur les travaux de [172] et

[66], la gestion de l'incertitude et la réponse aux changements est devenue une préoccupation primordiale des organisations. Si la nécessité de gérer des changements n'est pas nouvelle pour l'entreprise, ce qui l'est davantage en revanche, c'est l'augmentation quasi-constante de la fréquence avec laquelle ces changements doivent être menés. Ces changements touchent tous les niveaux dans l'entreprise (technologique, fonctionnel, organisationnel...), et peuvent surgir très rapidement. Face aux changements intervenant d'une manière quasi constante, le concept d'Industrie Agile a émergé pour la première fois en 1991 [65]. Ce concept s'est étendu à celui d'une organisation flexible jusqu'à arriver à la notion d'entreprise agile qui peut être définie comme la capacité d'une organisation à répondre à un changement dans son environnement en s'y adaptant en interne [68]. Gérer d'une manière agile consiste à piloter l'entreprise en rendant précis les objectifs auxquels il faut parvenir et en sélectionnant puis en mettant en œuvre les ressources efficientes et pertinentes qui permettront de les atteindre. Notre étude a révélé qu'il existe plusieurs manières de mettre en place une solution agile. Au sein de l'entreprise, l'agilité a été étudiée selon deux domaines (i.e agilité d'entreprise et agilité du processus) et selon deux dimensions (i.e organisationnelle et technique). Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons à la gestion agile des processus. L'agilité permet d'agir sur toutes les perspectives de processus (i.e organisationnelle, informationnelle, opérationnelle, comportementale et fonctionnelle). Malgré la diversité des approches développées pour aider les entreprises à améliorer leur efficacité et à devenir plus agiles, l'agilité des processus d'entreprise reste un vrai défi encore de nos jours. Dans la littérature, le concept d'agilité a été considéré sous un prisme particulier sans l'aborder dans sa globalité. La plupart des travaux se sont intéressés à la dimension technique de l'agilité (permettant d'agir sur les perspectives opérationnelle, fonctionnelle et comportementale du processus). Alors que la prise en considération de la dimension organisationnelle de l'agilité reste encore peu étudiée aujourd'hui. Nous proposons d'étudier la gestion agile des processus métier selon la dimension organisationnelle et dans la perspective d'étendre par la suite les solutions BPM. Nos travaux s'inscrivent dans une optique complémentaire aux travaux sur l'agilité technique en fournissant une approche et des mécanismes traitant de l'agilité organisationnelle des processus métier.

Une des pratiques importantes de l'agilité organisationnelle est la valorisation des ressources humaines. Avec leurs capacités, aptitudes et attitudes, autrement dit leurs compétences, ces ressources humaines ont une position déterminante pour l'agilité de l'entreprise. La notion de compétence est aujourd'hui une préoccupation pour des organisations. La performance de l'entreprise réside dans la maîtrise de ses processus de création de valeur et dans la maîtrise des processus de gestion de compétences. La notion de compétence est entrée dans les organisations il y a plus d'une vingtaine d'années. Les auteurs dans [39] suggèrent que la notion de compétence dans les entreprises permet de définir de nouvelles règles de gestion d'organisation. En outre, on peut noter que le contexte dans lequel évoluent les processus est caractérisé par leur nature émergente. Ce type de processus connu sous l'appellation anglophone "knowledge intensive process" demande une capacité de répondre en un temps minimum à des besoins évoluant rapidement. Comme il est souligné dans [66] "la compétence

est notre source de richesse, appliquée aux tâches que nous savons déjà faire elle est productivité, appliquée aux tâches nouvelles elle devient innovation". Ainsi, une entreprise agile est à la base une entreprise de savoir gérée avec comme seul point focal la maîtrise de ses connaissances et compétences aboutissant à la maîtrise de ses processus. La compétence est une notion pluridisciplinaire qui peut être définie selon différentes granularités qui va jusqu'à définir les savoir-faire d'entreprise. Selon une étude réalisée par [185], cette discipline (i.e gestion de compétences) a une importance tant stratégique qu'opérationnelle (Figure 1). En effet, la réussite des entreprises s'explique par les ressources dont elles disposent et la coordination entre ces ressources et la mobilisation de leurs compétences qu'elles exigent.

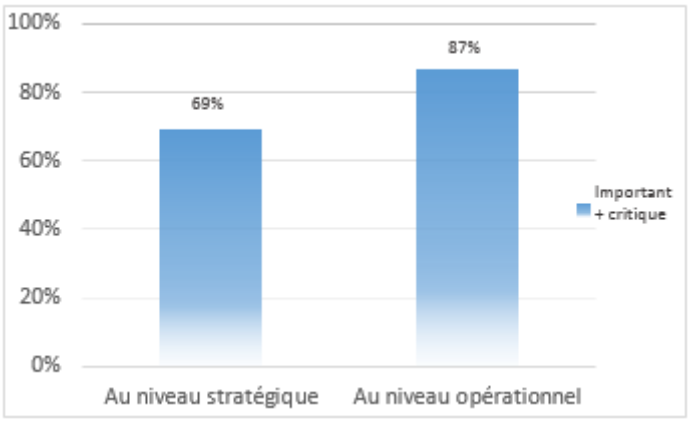


FIGURE 1 – Importance de la gestion des compétences [185]

Actuellement, les approches BPM classiques ne permettent de gérer que des processus métier qui sont les processus représentatifs des activités de l'entreprise indépendamment de la notion de compétence. Les outils d'automatisation des processus métier ont été conçus pour fournir un soutien aux acteurs impliqués pour répondre aux questions : Qu'est-ce qui doit être fait ? Qui est en charge de le faire ? Quand faut-il être effectué ? La plupart du temps ces systèmes sont prescriptifs. Les acteurs sont forcés d'effectuer les tâches dans des séquences spécifiées. Cela va à l'encontre de la valorisation des ressources humaines et la prise en compte de leurs compétences, largement supportée par l'agilité organisationnelle. La gestion des processus nécessite d'être aujourd'hui couplée avec la gestion des capitaux intellectuels et humains. Le principal intérêt est de pouvoir adapter les processus métier selon le contexte d'utilisation et les évolutions du métier et de l'environnement. Ainsi, la responsabilisation, la décentralisation de la prise de décision et l'autonomie sont des facteurs primordiaux pour le développement de la participation dans la prise de décision. D'où l'objectif de notre travail de thèse, de supporter l'agilité des processus métier durant son exécution en proposant *une approche permettant d'identifier la/les compétence(s) adéquate(s) lors de la survenue d'un aléa, un besoin de changer et d'adapter le modèle et/ou instance du processus concerné si besoin.* Nous parlons dans ce manuscrit d'un aléa ou un besoin de changement pour caractériser tous types de perturbations. Un aléa est défini dans le dictionnaire Larousse comme un tour imprévisible et le plus défavorable pris par les événements et lié à une activité,

action. Il s'agit d'événements de type discret qui entraînent des modifications dans le modèle lui-même (la panne d'une machine ou la rupture d'un approvisionnement par exemple).

Questions de recherche

Dans ce contexte, notre travail de recherche pointe en particulier les limites des méthodes existantes et les besoins en termes d'outils et de méthodes pour supporter l'agilité des processus métier en prenant en compte la gestion des compétences. L'objectif industriel de cette thèse est de proposer une méthode de gestion dynamique de processus qui permet de prendre en considération toute évolution imprévue survenue pendant l'exécution du processus dans son environnement interne ou externe. Les questions de recherche qui sont traitées dans le cadre de cette thèse sont les suivantes :

1. Comment prendre en charge des changements qui interviennent en cours d'exécution du processus ?
2. Face à un aléa, un besoin de changement, comment un besoin de compétences peut être exprimé pour résoudre l'aléa/le besoin de changement ?
3. Comment gérer le problème d'hétérogénéité de description de compétences ? Comment être capable de partager des compétences quand le vocabulaire qui est utilisé n'a pas le même sens pour tous ? Comment caractériser les compétences disponibles dans l'entreprise et comment créer des annuaires de compétences efficaces afin d'offrir la possibilité de les rechercher le plus rapidement possible ?
4. Comment une entreprise peut-elle considérer qu'un acteur est plus approprié pour implémenter les compétences requises qu'un autre (en fonction de son niveau de maitrise, sa disponibilité, etc.) ? Comment exploiter au mieux le potentiel de chaque acteur ?
5. Comment intégrer les changements survenus au niveau de l'instance du processus en cours d'exécution ? Et est ce que ces changements ont un impact local (intégrés qu'au niveau instance) ou un impact global (doivent être intégrés au niveau modèle de processus) ?

Nos contributions

Les contributions proposées répondent aux interrogations précédentes :

1. Nous proposons un cadre conceptuel pour l'agilité organisationnelle des processus. Ce cadre définit et positionne l'ensemble des concepts nécessaires à la mise en place d'une approche agile. En effet, l'agilité n'est pas une solution ultime, mais un ensemble de concepts et de principes respectés dans l'entreprise.
2. Nous proposons d'avoir une structure basée sur la responsabilisation des acteurs (les employés peuvent être autonomes) et sur la décentralisation de la prise de décision qui sont des principes de l'agilité organisationnelle. Notre travail est inspiré du système de recherche d'information. Ainsi, les acteurs

prennent l'initiative et sont responsables de l'expression du besoin en lien avec le changement sous la forme d'une requête. Cette requête que nous avons choisie de définir en langage naturel est le point de départ de notre approche.

3. Afin de surmonter la problématique liée à l'hétérogénéité de description de compétences, nous proposons une ontologie de compétences requises appelée OCR. Cette ontologie permet de structurer et d'identifier les compétences requises sans prendre en considération la dimension individuelle. D'où le besoin de l'utilisation d'un treillis de compétences acquises lié à l'ontologie de compétences requises pour extraire les acteurs susceptibles d'implémenter les compétences requises avec un niveau de maîtrise spécifique.
4. Afin de fournir un bon déploiement de compétences, nous étudions les informations contextuelles qui sont à considérer au moment de l'exécution du processus. Nous utilisons une méthode d'aide à la décision en se basant sur des éléments de dimension différente (métier, temporelle, financière, sociale...) classés selon trois critères principaux que nous jugeons pertinents : *efficacité, efficience et vélocité*. Cette méthode permet d'évaluer l'importance de chaque critère dans l'atteinte de l'objectif, d'attribuer un poids pour chaque alternative et de sélectionner la meilleure alternative par catégories de compétences.
5. Durant l'exécution, l'adaptation est parfois déclenchée au moment où la sélection finale des compétences est établie. Elle consiste à identifier et à intégrer les activités émergentes. Des actions d'adaptation sont définies en se référant aux travaux traitant de l'agilité technique du processus.

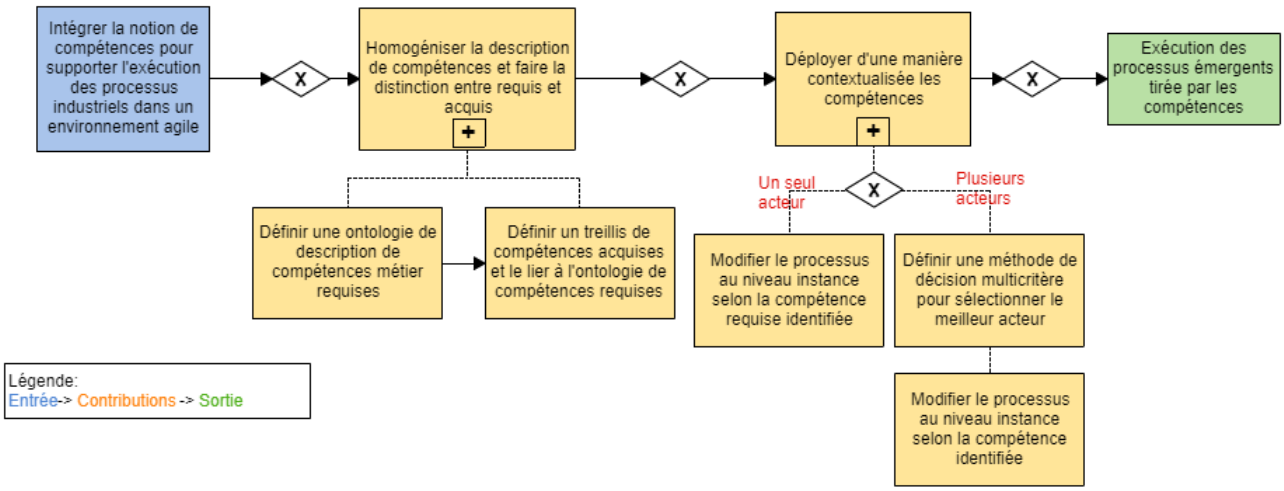


FIGURE 2 – Positionnement de nos contributions de thèse

Organisation du manuscrit

Le travail de cette thèse se présente en chapitres et est organisée comme décrit dans cette section. Après un premier chapitre qui présente une introduction générale avec le contexte, la problématique et les objectifs, ce manuscrit est organisé en 5 chapitres.

- Dans le **chapitre 1** nous présentons l'état de l'art qui inventorie les concepts de bases manipulés. Il comprend trois parties : (i) la première partie présente au lecteur le processus métier et l'approche de gestion de processus d'entreprise, BPM, avec ses différents objectifs et son cycle de vie. Il présente aussi ce qui est une solution pour la gestion des processus (BPMS). (ii) La deuxième partie présente la notion d'agilité avec ses deux dimensions (i.e organisationnelle et technique) et selon ses deux domaines (i.e agilité d'entreprise et agilité des processus). (iii) L'objectif de cette partie est d'introduire les solutions existantes pour supporter l'agilité. Après une présentation de solutions et approches existantes, nous discutons leurs limites permettant d'exposer les solutions qu'apporte notre approche. Les analyses menées dans cet état de l'art nous conduisent vers la question de recherche suivante : "*Comment supporter la gestion dynamique des processus industriels avec ses différentes parties prenantes en prenant en considération toute évolution survenue pendant l'exécution en utilisant les compétences ?*".
- Le **chapitre 2** est composé de deux parties. (i) Dans la première partie nous présentons le cadre conceptuel que nous avons proposé pour définir l'agilité organisationnelle des processus métier. (ii) Ensuite, nous présentons l'architecture globale et les différentes étapes de notre approche tirée par les compétences.
- Le **chapitre 3** présente les deux premières étapes de notre approche : *l'expression du besoin* en lien avec le changement et *la recherche de compétences requises*. Nous avons utilisé une requête en langage naturel pour faciliter la tâche d'expression du besoin et de diffusion de l'information lors de la survenue d'un aléa, un besoin de changement pendant l'exécution du processus. La définition de la requête est sous la responsabilité du manager du processus. Quant à *la recherche de compétences requises*, nous avons défini une ontologie de compétences requises que nous l'appelons OCR. La démarche que nous avons définie pour identifier les compétences requises en utilisant l'OCR est détaillée dans ce chapitre et suivie d'une illustration sur un exemple.
- Le **chapitre 4** détaille la troisième étape de notre approche : *la recherche de compétences acquises*. Pour cela, nous présentons le deuxième référentiel que nous avons défini pour organiser les profils d'acteurs en utilisant l'approche de Galois. La démarche définie pour sélectionner toute alternative susceptible de réaliser une compétence requise est décrite dans ce chapitre et suivie d'une illustration sur un exemple.
- Le **chapitre 5** présente la dernière étape de notre approche : *le déploiement de compétences*. Nous présentons la méthode que nous exploitons pour sélectionner les meilleures alternatives. Enfin, nous décrivons notre méthode d'adaptation de l'instance du processus concerné par le changement. Des actions d'adaptation sont définies en se référant aux travaux traitant de l'agilité technique du processus. La validation de l'intégration de ces changements au niveau modèle du processus est sous la responsabilité de l'expert du processus.

La conclusion et les perspectives clôturent ce manuscrit de thèse en présentant nos contributions et les limites et en proposant des perspectives possibles de poursuite pour ces recherches.

Chapitre 1

État de l'art

Contents

1 Introduction 8

2 Typologie de processus 9

2.1 Classification selon la finalité 10

2.2 Classification selon la stabilité 10

2.3 Classification selon la structure 11

3 Notion de processus métier 13

3.1 Définition 13

4 Business Process Management : BPM 16

4.1 Définition de BPM 16

4.2 Cycle de vie de BPM 17

4.3 BPMS 21

5 Synthèse 22

6 Construit de l'agilité dans la littérature 24

6.1 Définition 24

6.2 Intérêt de l'agilité de processus 26

6.3 Typologie de l'agilité 27

7 Approches pour supporter l'agilité 36

7.1 Au support de l'agilité organisationnelle 36

7.2 Au support de l'agilité technique 39

8 Efficience des solutions existantes et lacunes d'aujourd'hui 43

8.1 Comparaison des travaux 43

8.2 Synthèse 46

9 Conclusion 47

1 Introduction

L'entreprise est considérée comme un système produisant un produit ou un service. Sa modélisation permet de mieux analyser et expliquer sa structure, son organisation et son fonctionnement ou son comportement [134]. Elle peut être représentée selon différents points de vue qui doivent être pris en compte pour comprendre les interactions existantes entre ses différents processus. Les vues sont définies par [92] comme une représentation de tout un système selon la perspective d'un point d'intérêt. Quatre vues fondamentales sont identifiées dans la littérature pour définir l'entreprise [94] :

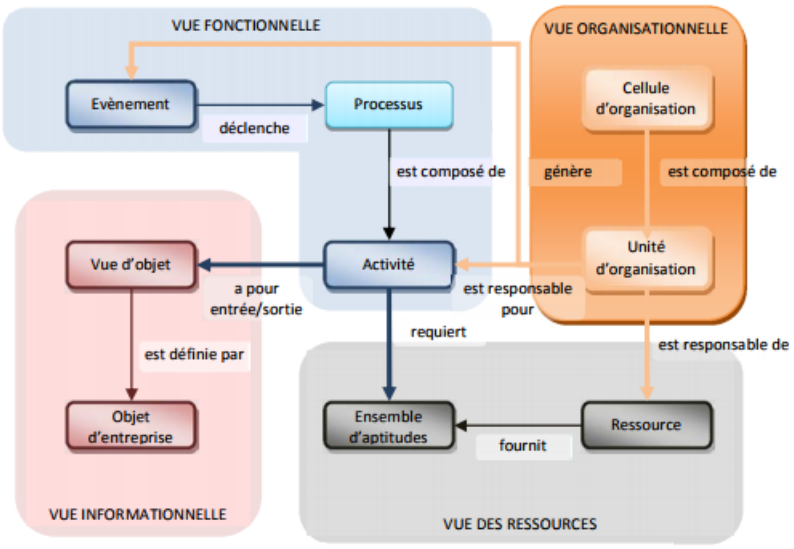


FIGURE 1.1 – Vues d'entreprise [184]

- **La vue fonctionnelle** permet de décrire les fonctionnalités de l'entreprise réalisées par ses processus. Elle permet de spécifier les finalités de différents processus de l'entreprise justifiant leurs réalisations en précisant leur structure, leur nom, leur but et les actions à suivre.
- **La vue informationnelle** définit l'ensemble des informations et des données qui sont produites ou manipulées par les processus et qui sont associées aux activités de l'entreprise. Elle représente le data-flow en décrivant les relations entre les objets manipulés en spécifiant leur type et leur structure.
- **La vue organisationnelle** permet d'établir les liens hiérarchiques entre les ressources qui ont la responsabilité d'assurer les fonctionnalités de l'entreprise ainsi que les relations entre les entités organisationnelles ou départements.
- **La vue opérationnelle**, ou vue des ressources sert à élaborer le comment en spécifiant les outils et les systèmes permettant de réaliser le quoi de la vue fonctionnelle.

Chacune de ces vues possèdent une importance particulière selon la démarche de modélisation d'entreprise adoptée. Selon le travail de [184] la vue fonctionnelle se

positionne au centre des autres vues comme il est illustré dans Figure 1.1. Le processus est l'élément central de la vue fonctionnelle, il lie les différentes vues à travers la notion d'activité. L'approche processus, consistant à considérer l'entreprise comme un ensemble de processus qui mettent en œuvre des ressources, créant des livrables permettant d'identifier des valeurs et engendrant des coûts, peut s'imposer comme l'approche fondamentale garantissant la performance requise pour l'entreprise. Le client est l'origine (la cause) et le destinataire (la finalité) du processus [56]. Ce client peut être externe (marché) ou interne à l'entreprise (services, sites). Afin de satisfaire le client et créer la valeur ajoutée, l'entreprise est engagée à identifier et à piloter les différentes chaines d'activités, i.e. processus [94]. En entrée de chaque processus, on pourra retrouver des données venant d'autres processus, issus de divers domaines de connaissance. Et le fait d'avoir des techniques ou des outils pour la gestion de processus permettra d'obtenir les bonnes valeurs – ou données – de sortie, permettant ainsi d'améliorer les processus. Dans le but d'évaluer l'importance de gestion de processus d'entreprise (BPM : Business Process Management), CXP a réalisé en 2013 une enquête sous la demande de Bonitasoft. Cette enquête a montré que l'amélioration des processus est la vision de 91% des entreprises. Ils ont affirmé que l'amélioration des processus permet d'améliorer la satisfaction des clients et l'amélioration des performances ou la réduction des coûts. En outre, les entreprises opèrent aujourd'hui dans un environnement changeant, incertain et complexe caractérisé par une forte concurrence avec l'ouverture des marchés et l'accélération des cycles d'approvisionnement, de production et de mise sur le marché. Au-delà des enjeux décisifs (l'amélioration des processus), les entreprises doivent être capables de s'adapter aux changements d'une manière flexible, évolutive, et donc agile pour survivre dans cet environnement. Le BPM est défini par une application informatique qui permet l'intégration des données, des gens et des applications à travers un processus métier commun. Ainsi, deux domaines bien distincts peuvent être identifiés dans une démarche BPM : métier et IT. De ce fait, l'agilité doit être fondée d'une part sur la maîtrise et le contrôle des processus et d'autre part la disposition d'un support informatique agile ou tout du moins la possibilité de l'utiliser d'une façon agile. Dans ce chapitre, nous allons faire un tour d'horizon sur les domaines connexes de ce travail de thèse. Nous commençons par définir les notions de base de l'approche processus en présentant les différentes typologies existantes. Ensuite, nous étudions les démarches de gestion des processus en présentant les différents cycles de vie BPM proposés. Ce qui nous permet de mieux cerner les enjeux en termes d'agilité. Nous verrons après comment les approches existantes, malgré leurs importances, ne permettent pas de satisfaire ce besoin d'agilité. La mise en évidence d'éléments issus de l'étude comparative nous permettra d'introduire le besoin qui a conduit nos travaux de recherche.

2 Typologie de processus

La catégorisation au niveau du processus présente un avantage important pour répartir l'effort de la cartographie. Selon la littérature, les processus peuvent être classés selon trois critères : la finalité, la structure et la stabilité dans le temps.

2.1 Classification selon la finalité

Généralement, la typologie de [56] pour différencier les processus d'entreprise selon les trois catégories présentées dans Figure 1.2 est la plus adoptée. C'est la typologie basée sur la norme ISO 9001-2000 qui propose la structuration suivante :

- **Processus de pilotage** : les fils conducteurs de tous les processus (i.e les processus de réalisation et de support) en représentant les stratégies, les objectifs et les méthodes de l'entreprise. Ces processus ont pour objectif de contrôler le fonctionnement d'autres processus afin d'assurer leur bon déroulement.
- **Processus opérationnels** : ou processus de réalisation, sont ceux qui génèrent de la valeur vu qu'ils sont liés à la fourniture des produits ou services dès la détection du besoin de client à sa satisfaction. Ils correspondent aux processus métier de l'entreprise (conception, étude, fabrication...).
- **Processus support** : Ils améliorent l'efficacité de l'entreprise et ne participent qu'indirectement à l'accomplissement d'un objectif métier. Ils fournissent les moyens, informations et ressources nécessaires au bon fonctionnement de tous les autres processus.

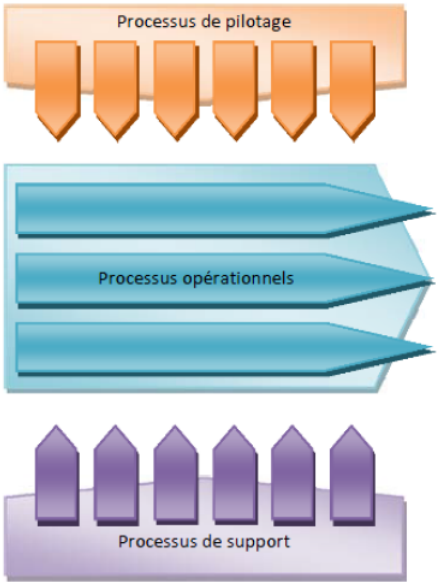


FIGURE 1.2 – Typologie de processus selon la finalité [56]

2.2 Classification selon la stabilité

Cette classification est orientée outil du workflow (qui automatise les différentes catégories du processus). Elle prend en considération la nature de processus en termes de son caractère plus au moins répétitif et selon leur importance (la valeur ajoutée) pour l'entreprise comme illustré dans Figure 1.3 :

- **Processus administratifs** : Ils concernent les processus de support. Ils contribuent au bon déroulement des autres processus en leur apportant les

ressources nécessaires. (Exemple : maîtrise de la documentation, gestion de demande de congés, maintenance ...). Ce sont des processus répétitifs et à faible valeur ajoutée. Ce sont généralement des processus administratifs internes, simples et stables dans le temps

- **Processus de production** : ce sont les processus de réalisation de l'entreprise représentant le cœur métier de l'entreprise. Ils sont répétitifs et à forte valeur ajoutée en mettant en œuvre une succession d'acteurs.
- **Processus collaboratifs** : ce sont des processus composés des activités itératives et décrivant une forme décentralisée de travail collaboratif supporté par les technologies de l'information et de la communication. Ils sont des processus uniques et à forte valeur ajoutée.
- **Processus ad-hoc** : ce sont des processus non-structurés et supportés par des mécanismes de communication pour assurer l'acheminement des données et coordonner le travail. La structure de ces processus dépend de l'action elle-même "design by doing". Ils sont des processus uniques et à faible valeur ajoutée.

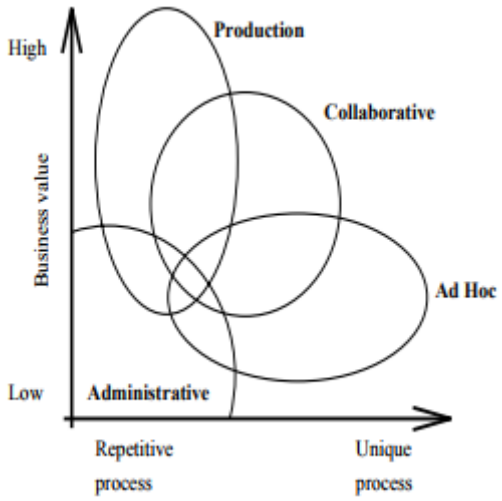


FIGURE 1.3 – Typologie de processus selon la stabilité [11]

2.3 Classification selon la structure

Les processus peuvent être classés dans un espace à deux dimensions suivant le temps nécessaire à leur exécution complète et suivant la complexité de ceux-ci (de simple et direct à hautement complexe). De ce fait, un processus peut être classé en trois catégories : processus structuré, processus semi-structuré et processus non-structuré. Passer d'une catégorie à l'autre implique une augmentation de la probabilité de changement et une diminution de la spécificité du modèle du processus :

- **Processus structuré** : il est défini comme une séquence d'activités prédéfinies et exécutées pour atteindre un objectif.

- **Processus semi-structuré** : il est composé d'un ensemble d'activités partiellement ordonnées et destinées à atteindre un objectif métier.
- **Processus non-structuré** : il est défini comme un ensemble d'activités internes réalisées pour servir un client. Ces activités créent une sortie valorisée par le client et qui ne sont pas définies en amont mais découvert pendant l'exécution du processus.

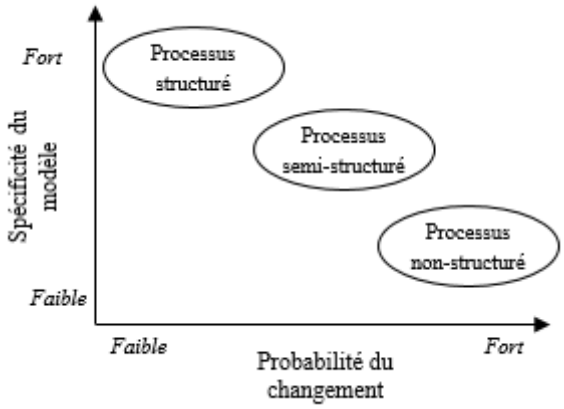


FIGURE 1.4 – Typologie de processus selon la structure

On remarque que chaque catégorie de processus sera traitée de façon particulière, lors de l'identification du processus comme lors de la modélisation. Les processus opérationnels/de production demandent davantage d'attention et sont en général décomposés en sous processus et donnent lieu à une modélisation détaillée en prenant en considération toutes les perspectives identifiées précédemment. L'implémentation de ces processus fournit un résultat correspondant à la raison d'être de l'entreprise. Ils créent une grande valeur ajoutée pour l'entreprise en produisant des résultats pour un client ou un partenaire externe. Les processus de support produisent des résultats nécessaires pour que les processus opérationnels puissent s'exécuter (états comptables, paye...). Ainsi que les processus de pilotage/administratifs ont pour but de contrôler l'atteinte des objectifs de l'entreprise et la mise en œuvre de sa stratégie. Ces deux catégories de processus (i.e support et administratifs) sont des processus modélisés que sommairement, ne nécessitent pas une modélisation complète intégrant toutes les perspectives. Dans la plupart des organisations, ces classes de processus coexistent (ceux nécessitant une modélisation détaillée et ceux nécessitant une modélisation sommaire). En effet, la modélisation n'offre pas nécessairement tous les concepts pour couvrir les quatre perspectives pour tous les processus. Elle peut insister sur certaines perspectives plus que d'autres en fonction des objectifs de modélisation fixés. Elle peut servir à mieux comprendre des processus existants, à faire des choix d'organisation, à déterminer les activités à informatiser ou à offrir une référence pour une gestion cohérente. En outre, le processus doit être observé sous l'angle de son évolution dans le temps et non seulement sous l'angle de sa structure. Cette évolution peut être soumise à un objectif d'amélioration et d'adaptation.

Dans la suite du manuscrit, notre travail est basé sur les processus métier. Ces derniers interfèrent d'une manière transversale dans le système d'information et peuvent même traverser les frontières organisationnelles internes de l'entreprise et ses limites pour collaborer avec les partenaires (e.g les fournisseurs et les distributeurs) où on les appelle des processus collaboratifs.

3 Notion de processus métier

3.1 Définition

Le tableau ci-dessous présente quelques définitions liées au contexte des processus métier (i.e les processus représentatifs des activités de l'entreprise).

Tableau 1.1 – Définitions de processus métier

Référence	**Définition**	**Perspective**
[171]	Un ensemble d'activités partiellement ordonnées, qui sont implémentées à l'aide des moyens humains et techniques. Elles consomment des éléments d'entrée et produisent des éléments de sortie afin d'atteindre un objectif dans le cadre d'une stratégie donnée.	Organisationnelle Opérationnelle
[193]	Un ensemble de plusieurs procédures ou activités liées qui permettent de réaliser un objectif commun normalement dans une structure organisationnelle définissant les rôles fonctionnels et les relations.	Organisationnelle Opérationnelle
[184]	Un processus est un ensemble partiellement ordonné d'étapes exécutées en vue de réaliser au moins un objectif	Comportementale Opérationnelle
[9]	Un processus utilise différents types de ressources (humaines, matérielles, informationnelles) pour exécuter une série d'activités et dans le but de fournir un produit correspondant à son résultat final.	Organisationnelle Comportementale Fonctionnelle Opérationnelle
[56]	Un ensemble de moyens et activités mis en œuvre par l'entreprise pour atteindre ses objectifs. La définition du processus dépend du besoin considéré qui permet de définir sa finalité.	Opérationnelle

Tableau 1.1 – Définitions de processus métier (suite)

Référence	**Définition**	**Perspective**
[6]	Le processus est un plan d'ensemble indiquant comment les acteurs collaborent au moyen des informations gérées pour accomplir l'objectif de production.	Organisationnelle
[117]	Un enchainement d'activités exécutées par un ou plusieurs acteurs. Chaque acteur possède un rôle et participe à la satisfaction d'un objectif. Les liaisons entre les activités définissent la structure du processus. Le déroulement de ce dernier utilise des ressources et peut être conditionné par des événements internes ou externes.	Organisationnelle Opérationnelle Comportementale
[79]	Un ensemble ordonné d'activités, qui peuvent être manuelles (exécutées par des personnes) ou automatisées (exécutées par des applications) et entreprises dans un objectif déterminé. Les activités se déroulent en série ou en parallèle spécifiant la structure du processus qui peut être conditionné par des évènements.	Organisationnelle Opérationnelle Comportementale
[180]	Le terme métier est couramment utilisé dans le domaine industriel et il représente un ensemble d'activités d'un domaine donné nécessitant des compétences et savoir-faire des acteurs de l'entreprise.	Opérationnelle Organisationnelle
[54]	Un ensemble de tâches reliées d'une manière logique et réalisées pour parvenir à un résultat métier défini.	Comportementale Opérationnelle
[53]	Les processus d'entreprise permettent de créer des produits ou services créant de la valeur ajoutée interne et/ou externe. Pour assurer le bon déroulement de processus, des déviations du processus du contexte réel peuvent se produire.	Fonctionnelle

Tableau 1.1 – Définitions de processus métier (suite)

Référence	**Définition**	**Perspective**
[90]	Un ensemble fini d'activités ou un enchaînement d'opérations qui transforment des éléments d'entrée en vue d'obtenir des élément de sortie.	Comportementale Opérationnelle
[50]	Une boite noire qui a une finalité (les données de sortie) et qui, pour atteindre cette finalité, utilise des éléments extérieurs (les données d'entrée) et les transforme (en leur donnant une valeur ajoutée) par du travail et des outils (activités et ressources).	Fonctionnelle Opérationnelle

L'examen du concept de processus montre d'une part une convergence autour de quelques caractéristiques fondamentales :

- *Les activités* et/ou tâches à exécuter : peuvent être manuelles ou automatisées.
- *La structure* : l'ordonnancement total ou partiel des éléments de processus (i.e. activités)
- *L'objectif* : Le résultat à atteindre en exécutant les activités
- *Les acteurs* : les ressources responsables de l'exécution des activités

Et d'autre part on remarque que la définition de processus métier dépend de la finalité de sa définition. Selon [51], ces dernières peuvent être définies selon les perspectives suivantes :

- **La perspective fonctionnelle** : Elle représente les dépendances fonctionnelles entre les composants d'un processus (activité élémentaire, complexe, tâche) résultant de la relation consommateur-producteur.
- **La perspective comportementale** : Elle fournit l'ordonnancement des activités en spécifiant quand sont-elles exécutées et quelles sont les contraintes à respecter. Elle permet également de répondre à deux questions : quand certaines activités sont-elles exécutées (synchronisation, conditions préalables) et comment sont-elles exécutées (par exemple, en spécifiant la logique d'exécution). Elle représente la vue dynamique du processus.
- **La perspective organisationnelle** : définit le "qui" en décrivant les acteurs et rôles responsables de l'exécution de chaque activité ou tâche.
- **La perspective opérationnelle** : décrit les éléments qui sont produits, consommés ou manipulés par le processus (e.g des données, des artefacts, des produits).
- **La perspective informationnelle** : décrit les données (entrées et sorties) et les documents qu'un processus utilise ou produit.

La définition d'un processus métier selon [117] qui prend en compte toutes ces perspectives nous semble être la plus adéquate. Nous retenons la définition suivante

d'un processus métier : c'est un ensemble partiellement ordonné d'activités, entreprises dans un objectif déterminé à l'aide des moyens techniques et humains. Il concerne à proprement parler la dynamique de l'organisation en décrivant l'agencement pertinent d'activités selon une dynamique orientée vers la satisfaction du client. Chaque participant dans l'exécution de tout ou partie des activités est associé à un rôle. Le bon déroulement du processus nécessite des ressources et peut être conditionné par des évènements. Les activités d'un processus peuvent être liées par des dépendances de ressource (dépendances de producteur consommateur) ou des dépendances de commande (une activité déclenche une autre). Les processus métier permettent d'organiser et de répartir les tâches entre les différents acteurs d'une entreprise. Quel que soit leur type, ces processus peuvent impliquer des tâches humaines, des interactions avec des logiciels plus ou moins modernes, des échanges avec des réseaux externes (EDI, réseaux sociaux, mail...), des routages plus ou moins complexes, de la production de documents, des fonctions de recyclage de l'information, etc. Ils doivent être gérés en s'appuyant sur des méthodologies de mise en œuvre afin d'intégrer l'ensemble des éléments du processus, à savoir les acteurs, les tâches et leurs enchaînements, les informations à l'entrée et la sortie des tâches, sans oublier l'optimisation et la performance de l'ensemble, dans un souci constant de création de valeur. Cependant, l'approche processus s'inscrit dans une dynamique d'évolution et d'amélioration selon la démarche BPM. Une démarche BPM complète devrait englober toutes les catégories de processus puisque chacune d'elle joue un rôle approprié et nécessaire dans l'entreprise. Nous présentons dans la section suivante la gestion de processus d'entreprise plus connue sous l'appellation anglophone BPM (Business Process Management).

4 Business Process Management : BPM

4.1 Définition de BPM

Le Business Process Management "BPM" est le plus souvent considéré comme une évolution des technologies workflow [1] des années 90. Le BPM est défini par [3] comme : "l'utilisation de méthodes, techniques et systèmes logiciels pour gérer les processus depuis son identification jusqu'à son amélioration en intégrant toutes les ressources nécessaires à son implémentation". Grâce à une meilleure coordination entre ces composants le BPM aide les entreprises à améliorer leur efficacité [32]. Il permet d'optimiser les processus industriels et procure une visibilité accrue concernant les opérations métier. C'est la discipline qui s'intéresse à la gestion des processus d'entreprise à l'aide des technologies de l'information comme il était affirmé par [56]. C'est une approche centrée processus qui place les processus au centre d'une réflexion globale d'intégration "Process centric" afin d'être en mesure de les optimiser en abordant la question de l'amélioration continue et, dans la mesure du possible, de les automatiser au maximum et favoriser l'efficacité opérationnelle. Il permet de satisfaire les besoins des clients en assurant un alignement métier/IT. Selon une étude publiée par TIBCO [173], les entreprises qui adoptent les méthodologies et les

[1] Processus d'automatisation des tâches

technologies BPM obtiennent un ROI [2] rapide. L'introduction du BPM dans une entreprise est perçue comme une remise en cause, pouvant être fondamentale, des processus de l'entreprise. Ses objectifs principaux sont :

- L'automatisation des processus de l'entreprise,
- La diffusion en temps réel des informations pertinentes aux bonnes personnes aboutissant à l'accélération de la prise de décision,
- L'élimination des retards et délais d'attentes pouvant être perçus à l'intérieur des processus,
- Et l'amélioration de la satisfaction des parties prenantes (collaborateurs, clients, fournisseurs, partenaires, etc).

Cette approche permet de gérer les processus métier : (i) Sur un plan global en cherchant à avoir une meilleure vue de l'ensemble des processus et de leurs interactions en analysant le fonctionnement réel de l'entreprise depuis la chaine d'approvisionnement jusqu'aux activités internes et externes. (ii) Sur un plan opérationnel pour traiter de manière itérative la totalité du cycle de gestion du processus en s'intéressant aux différentes étapes de son cycle de vie depuis sa modélisation jusqu'à son exécution et son amélioration.

4.2 Cycle de vie de BPM

Dans un objectif d'amélioration continue, le BPM est abordé selon un cycle itératif. Dans la littérature, il n'y a pas de vue uniforme sur le nombre de phases du cycle de vie de BPM. Il varie en fonction de la granularité choisie pour l'identification des phases [79], [50], [56]. Dans cette section, nous présentons trois cycles les plus cités dans la littérature couvrant les principales étapes du BPM.

a- Cycle de vie de Crusson

Le premier cycle de vie considéré dans cette section est défini par [50] et la société INTALIO. Comme illustré dans la Figure 1.5, ce cycle, supportant la solution de gestion de processus qu'ils ont proposée, comporte les quatre phases suivantes :

- *a.1- Phase de modélisation :* l'objectif de cette phase est de décrire la structure et le contenu du processus sous la forme d'un modèle fonctionnel BPMN défini par les analystes métier.
- *a.2- Phase de déploiement :* Après sa modélisation, le processus métier conçu est complété en introduisant les extensions nécessaires pour le rendre exécutable.
- *a.3- Phase d'exécution :* Les capacités de modélisation des outils, à un niveau métier et technique, permettent de déployer directement les processus modélisés sans passer par une phase d'implémentation. Ce modèle sera importé directement pour être exécuté.
- *a.4- Phase d'interaction :* l'objectif de cette phase est de gérer les interactions du processus avec les acteurs qui participent à son exécution en enregistrant les

[2] Return On Investment

paramètres de suivi. Elle permet d'identifier les modifications nécessaires suite à l'analyse de ces paramètres pour générer une autre phase de modélisation et donc une répétition du cycle.

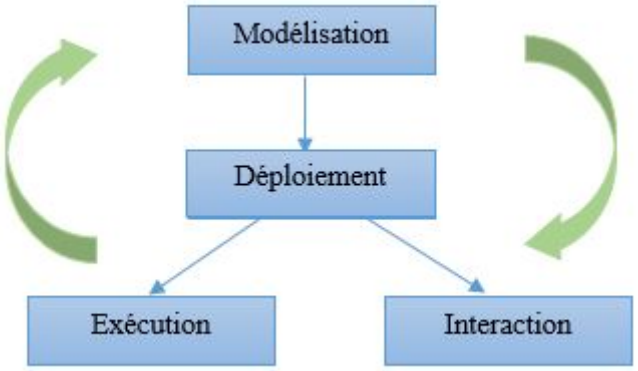


FIGURE 1.5 – Cycle de vie de [50]

b- Cycle de vie de Débauche

Le cycle de vie BPM proposé par [56] est composé de trois phases fondamentales comme décrit ci-dessous (voir la Figure 1.6) :

- *b.1- Phase d'analyse* connue sous l'appellation BPA (Business Process Analysis) permet de définir et modéliser les processus métier. Les processus modélisés peuvent être améliorés durant cette phase par les experts métier.
- *b.2- Phase d'implémentation* connue sous l'appellation BPI (Business Process Integration) supporte le déploiement et l'exécution des processus métier.
- *b.3- Phase de contrôle* connue sous l'appellation BAM (Business Activity Monitoring) permet de contrôler l'exécution opérationnelle des processus métier et les analyser selon des indicateurs de performance calculés à partir des données collectées. L'objectif du pilotage de processus est de contrôler que l'instance de processus se déroule correctement et n'est pas bloquée ou retardée.

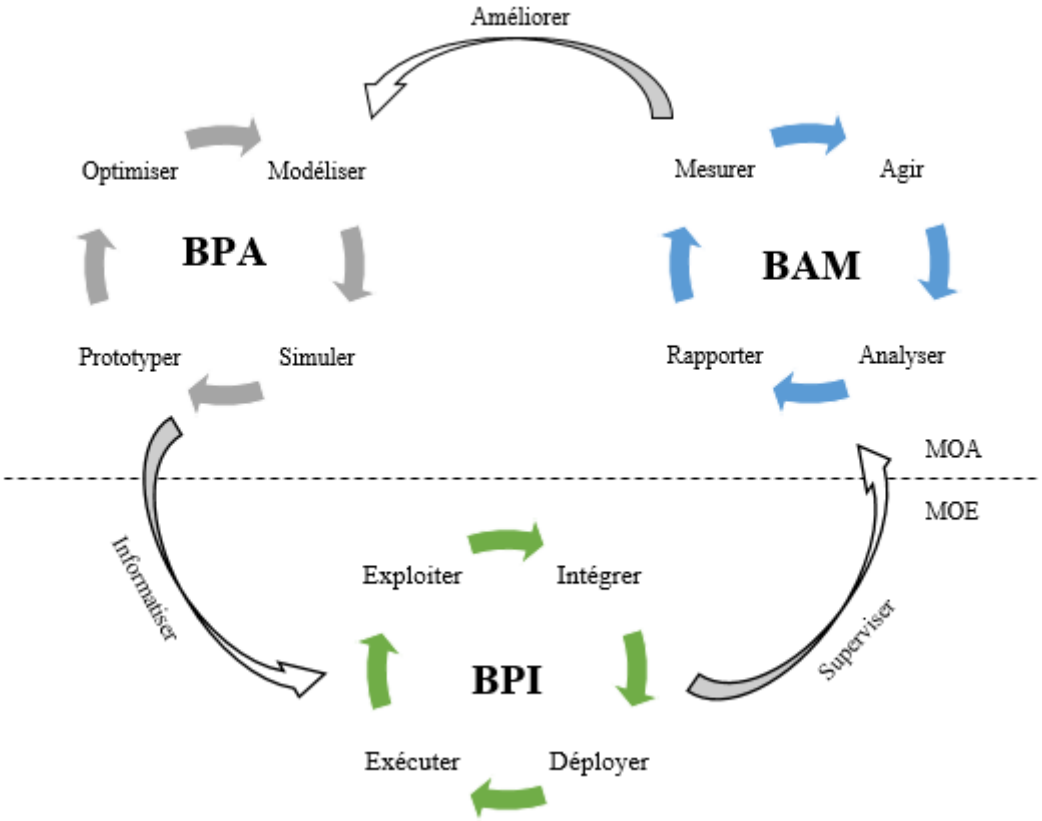


FIGURE 1.6 – Cycle de vie de [56]

Chacune de ces 3 phases est composée de quatre sous phases constituant des sous cycles à leur tour. La richesse du cycle de Débauche donne une vision complète sur le cycle de vie BPM en spécifiant les fonctionnalités assurées par les domaines (métier et IT) intégrés dans ce cycle.

c- Cycle de vie de Gillot

Le dernier cycle considéré est celui de [79] qui est un cycle itératif supportant l'évolution des processus métier selon quatre phases principales comme le montre la Figure 1.7.

- *c.1- Phase de design et de formalisation* supportée par des outils graphiques, cette phase permet la conception des processus métier. Les activités et les règles métier associées sont identifiées pour fournir une documentation complète des processus partagée par les différents acteurs.
- *c.2- Phase d'exécution* permet l'intégration des modèles de processus aux systèmes d'information. Une fois les modèles intégrés et les règles métier mises en œuvre, les processus seront exécutés.
- *c.3- Phase de management et de supervision* durant leurs exécutions, les processus métier sont gérés et supervisés afin d'identifier rapidement les anomalies pour ne pas impacter l'activité de l'entreprise. La surveillance des processus

métier est réalisée selon deux parties : la surveillance de l'exécution des processus et la surveillance de la performance des processus.

- *c.4- Phase d'analyse et d'optimisation* les données collectées pendant l'étape de supervision permettent d'identifier les zones d'amélioration possibles tels que l'élimination des tâches répétitives qui peuvent être automatisées ou supprimées. Cette étape permet d'identifier l'écart s'il existe entre ce qui est prévu et ce qui est réalisé.

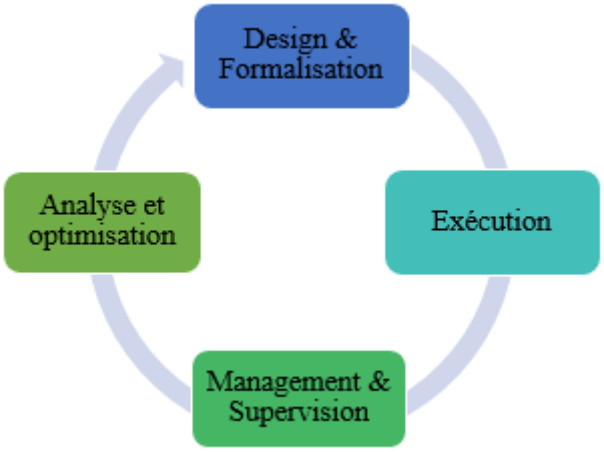


FIGURE 1.7 – Cycle de vie de [79]

Les trois cycles de vie BPM présentés précédemment convergent sur trois phases principales : la modélisation, l'exécution et le contrôle. L'amélioration de processus n'est prise en compte que dans certaines propositions [79] et [56]. Alors que certains auteurs commencent le cycle avec la phase de modélisation, d'autres intègrent une phase préalable de conception. La responsabilité de ces phases est partagée entre deux domaines bien distincts : le domaine métier et le domaine IT. En effet, le BPM permet de supporter la coopération des analystes métier avec les experts IT. De leur part les analystes métier conçoivent les processus par l'intermédiaire d'une interface facile d'utilisation et ne requiert pas des connaissances techniques. Cette phase (conception) est étroitement associée à la phase de modélisation des processus. Le résultat (modèle de processus) fourni par les analystes métier est utilisé par les experts IT. Ils reçoivent des descriptions informelles ou semi-formelles des processus métier et les rendent exploitables par un SI en ajoutant des informations techniques nécessaires à son implémentation (comme les applications impliquées dans le processus, l'intégration des utilisateurs comme participants du processus, le format des messages échangés, etc.). Pour mettre en place et suivre une démarche BPM, les environnements suivants doivent être présents :

- *Un environnement de modélisation* où les processus sont construits et modifiés de manière graphique permettant de spécifier les perspectives fonctionnelle et comportementale de processus

- *Un environnement d'exécution.* Une fois les modèles de processus sont élaborés, ils sont prêts à être intégrés, déployés et exécutés.
- *Un environnement de contrôle.* Les processus doivent être suivis en temps réel. Leurs exécutions contrôlées génèrent une source considérable de mesures telles que les délais, les ressources et les coûts. Ces résultats fournis aux analystes métier, leurs permettent de comparer le déroulement des processus par rapport aux résultats attendus. Ainsi des pistes d'amélioration sont identifiées vis-à-vis de l'efficacité de processus.

Le BPMS (Business Process Management System) est le support informatique qui permet d'offrir ces environnements et mettre en œuvre le cycle complet de BPM est présenté dans la section suivante.

4.3 BPMS

Comme souligné précédemment, le BPMS (BPM System) permet de mettre en œuvre le cycle de vie BPM en offrant les outils et techniques nécessaires au développement et exécution des processus métier. C'est une plateforme permettant de gérer le processus métier en s'appuyant sur des applications, des technologies d'interface et de partage du contenu. Au départ, les outils BPMS étaient vendus sous forme de modules séparés pour supporter quelques phases de cycle de vie BPM. La combinaison de ces modules (module de modélisation des processus, module d'exécution des processus...) permet de supporter la totalité de cycle de vie BPM. Ensuite, une nouvelle génération d'outils BPM était développée par l'entreprise de conseil américaine Gartner en 2003. Cette nouvelle génération est devenue rapidement concurrentielle et remplace les outils de gestion de workflow. Le marché de BPMS a regroupé des éditeurs workflows et d'Intégration d'Applications d'Entreprise (EAI) et des éditeurs d'architecture et de modélisation d'entreprise. Il considère une entreprise comme un ensemble de processus et/ou de workflows en séparant la logique du processus des applications qui le soutiennent. Il fournit les éléments nécessaires à l'exécution du processus en gérant les relations entre les différents intervenants. Plusieurs éditeurs spécialisés offrent aujourd'hui des solutions supportant toutes les fonctionnalités requises pour gérer les processus métier comme, INTALIO, Bizagi, Oracle, IBM Telelogic, MEGA, etc. S'il existe, à ce jour, de nombreux éditeurs de BPMS de maturité différente, la structure de cette plateforme intégrée reste identique. En effet, pour gérer les processus métier, le BPMS utilise des éditeurs pour permettre la définition de ces processus, un moteur de processus pour l'exécution des activités du processus en collectant les données d'exécution et un analyseur pour contrôler et constituer les métriques nécessaires à l'amélioration itérative des processus.

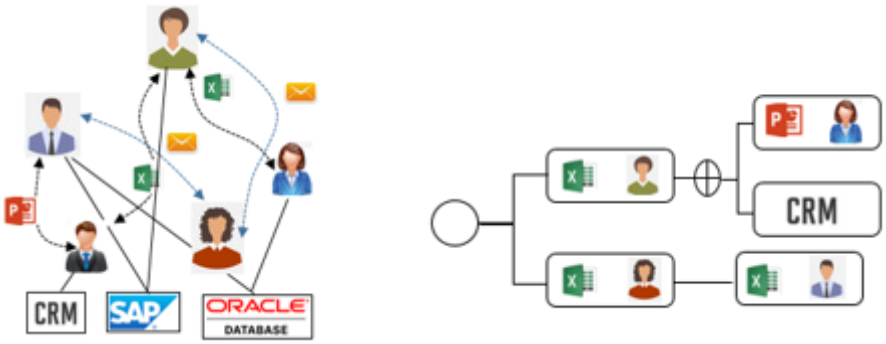


FIGURE 1.8 – Sans BPMS vs Avec BPMS

Selon [163], deux type de processus doivent être distingués dans un BPMS : les processus "integration centric" et les processus "human centric". Les activités d'un processus human centric sont réalisées par des employés (où on peut trouver les activités suivantes : créer, améliorer, approuver...) alors que les activités d'un processus integration centric sont réalisées par des systèmes (comme les activités suivantes : supprimer, générer, copier...). Le BPMS orienté human integration permet d'allouer les activités et de mesurer la performance alors qu'un BPMS orienté system integration favorise la communication entre les différentes applications de l'entreprise : ERP, CRM, etc. Mais, il revient de considérer que la majorité des processus contiennent à la fois des tâches humaines et de tâches supportées par les applications. En effet, le BPMS permet de transférer les informations entre les individus et les applications impliqués dans la réalisation du processus comme il est illustré dans la Figure 1.8.

5 Synthèse

Lorsqu'une entreprise entame une démarche de recentrage sur ses processus, et que l'adaptation de son infrastructure IT pour les supporter est complètement achevée, de nombreux bénéfices sont perçus tels que [71] :

- Un déroulement et une gestion en temps réel des transactions.
- Une disponibilité des informations pour des prises de décision plus rapides et mieux ciblées.
- Une meilleure coordination des activités et ressources.
- Une meilleure visibilité des processus et de leurs interactions afin de les améliorer et les optimiser.
- Une intégration avec des outils pour une gestion décentralisée facilitée avec des données toujours à jour.

En outre, le cycle de vie de BPM inclut des étapes qui dépendent de deux dimensions : métier (en mettant à disposition des analystes métier des méthodes pour une modélisation facilitée et précise des processus et des mesures pour améliorer ces processus) et IT (en apportant aux experts IT une aide pour l'implémentation, l'exécution et le contrôle des processus métier). Il permet de :

- Assurer une cohérence globale des besoins métier et identifier les points non couverts par le SI.
- Documenter les processus pour aider les analystes métier à prendre des décisions.
- Contrôler et améliorer les processus et les sous-processus, pour faire progresser de manière continue les processus de l'entreprise.
- Automatiser autant que possible l'activité et supprimer les tâches sans réelle valeur pour l'entreprise.
- Améliorer la collaboration entre les structures fonctionnelles d'une même organisation et entre plusieurs organisations.

Différents outils et méthodes ont été développés pour supporter le BPM. Il existe à présent plus d'une centaine d'applications de gestion, d'automatisation, d'intégration des processus métier et de workflows. Vu l'évolution quasi-constante de l'environnement de travail, maîtriser l'impact du changement sur les processus est primordial pour toute organisation. Cet impact peut toucher la structure, les fonctionnalités et même l'organisation de l'entreprise. De ce fait, les outils utilisés pour mettre en oeuvre le cycle BPM (i.e BPMS) doivent garder le contrôle de l'adaptation du processus tout en conservant son intégrité et sa logique. L'enjeu du BPM est d'assurer l'alignement continu entre le métier qui spécifie les principales étapes du processus et impacte l'organisation de l'entreprise et le niveau technique qui implémente ce qui est défini par le métier. Toute évolution au niveau métier sera suivie d'une adaptation au niveau technique. Durant son cycle de vie, un processus peut être graduellement modifié d'une manière incrémentale comme il peut nécessiter un changement de manière radicale. Le cadre collaboratif des processus qui interfèrent de manière transversale le SI prouve une complexité et une incertitude dans leurs gestions. Ces processus traversent les frontières organisationnelles internes de l'entreprise et les frontières de l'entreprise pour collaborer avec les partenaires. En plus de la multitude des partenaires, il y a l'évolution continue des exigences des partenaires (évolution des besoins, nouvelles exigences réglementaires...), un ensemble d'aléas qui affecte le fonctionnement de l'entreprise (absence des employés, panne des machines, retard des livraisons...), le progrès des technologies et l'implication de plusieurs employés qui limitent le périmètre d'application de BPM aux processus stables et simples. Alors que l'entreprise n'est performante que si elle est capable de répondre et prendre en compte les changements et progression imposés par leur environnement. Toutes ces conditions font que les solutions BPM existantes manquent de réactivité face à l'évolution rapide du contexte de l'entreprise [3], [124], [71]. Les raisons qui expliquent pourquoi il est difficile d'assurer une cohérence continue entre les modèles de processus métier et la réalité opérationnelle et l'évolution des demandes de marché peuvent dépendre de plusieurs facteurs (humains, technologiques, culturelle...). Mais très souvent, ce sont des raisons liées à l'infrastructure IT qui rendent difficiles ces changements. Les outils d'automatisation des processus métier ont été conçus pour fournir un soutien aux acteurs impliqués pour répondre aux questions : Qu'est-ce qui doit être fait ? Qui est en charge de le faire ? Quand cela doit-il être effectué ? La plupart du temps ces systèmes sont prescriptifs et les acteurs impliqués ne sont pas seulement supportés, ils sont forcés d'effectuer les tâches dans des séquences spécifiées. De ce fait, l'approche BPM doit être complétée

par le concept d'agilité pour faire face à cet environnement complexe, incertain et en constante évolution. Ceci nous ramène à étudier la notion d'agilité dans les sections suivantes et comment les solutions et approches existantes ont essayé d'améliorer la capacité d'adaptation aux changements des processus.

6 Construit de l'agilité dans la littérature

6.1 Définition

Le terme agilité vient du latin "agere" qui signifie "pousser devant soi" et "être actif". Dans le dictionnaire Larousse, elle est définie comme une légèreté, souplesse dans les mouvements du corps en changeant la position de son corps avec une combinaison d'équilibre, de coordination, de réflexes et de force (e.g l'agilité d'un acrobate, des doigts de pianiste, de la vivacité intellectuelle). Dans le contexte industriel, l'Agile Manufacturing a émergé pour la première fois en 1990 aux États-Unis. Plus de 150 industriels et chercheurs du Iaccoca Institue de la Lehigh University ont développé le rapport "21st Century Manufacturing Enterprise Strategy" [119] décrivant comment la compétitivité industrielle américaine devrait évoluer [197]. Suite au rapport de [119], suivront de nombreuses définitions de l'agilité comme le résume le tableau suivant :

Tableau 1.2 – Définition de l'agilité

Référence	**Définition**
[80] [65] [95]	Ces auteurs se sont mis d'accord sur la définition de l'agilité comme étant la capacité d'adaptation permanente de l'entreprise en réponse à un environnement complexe, turbulent et incertain. Elle est définie comme étant l'habilité de réagir rapidement aux changements en le maîtrisant grâce à d'importantes capacités d'anticipation, d'innovation et d'apprentissage.
[14] [197] [34]	Ces auteurs suggèrent que l'entreprise agile est caractérisée par une aptitude de répondre au changement continu et imprévisible d'un marché aux exigences excessives : qualité supérieure, coût réduit, services personnalisés et de haute performance.
[161]	Ces auteurs affirment qu'une réponse agile est une réponse rapide et efficace au changement interne et externe permettant à l'entreprise de s'adapter en continu.

Tableau 1.2 – Définitions de l'agilité (suite)

Référence	**Définition**
[160]	Selon ces auteurs une réponse agile consiste à ajuster, modifier et reconfigurer avec aisance les composants existants. Cette adaptation ne provoque pas des changements déstabilisants mais une dynamique de faire des affaires conformément à la demande.
[15]	La même définition a été adoptée par Barrand qui considère une entreprise agile comme étant une organisation capable de s'adapter rapidement aux changements environnementaux. Il a souligné que pour être agile, une bonne combinaison de rapidité, flexibilité, anticipation et innovation doit être définie en se basant sur des pratiques de collaboration avec l'ensemble des acteurs internes et externes de l'entreprise.
[156]	Sanchez caractérise l'entreprise agile par son aptitude à ajuster et reconfigurer ses éléments constitutifs (structure, processus, ressources) à la demande afin d'intégrer les changements survenus dans leur environnement interne ou externe. Selon lui l'organisation agile est une organisation de connaissances et compétences formant la base des actions et générant ainsi une flexibilité opérationnelle et stratégique.
[16]	Il a défini l'agilité comme une perpétuelle recherche d'équilibre entre une dimension active (faire et prouver que l'on sait faire), une dimension réactive (être opportuniste face aux changements observés pour fidéliser) et une dimension proactive (recherche d'innovation)

En somme, les entreprises agiles sont constamment en train d'analyser l'environnement pour repérer les opportunités du marché et prendre des décisions à partir des informations acquises, au travers de la réorganisation et/ou l'acquisition de ses actifs [148]. De ce fait, l'agilité est constituée de deux capacités qui sont celles de reconnaître les opportunités du marché, et d'y répondre, et ce, dans un délai raisonnable. Elle est définie par Day comme une approche de "sense and respond" qui englobe la dimension réactive. En outre, avoir un avantage concurrentiel requiert un alignement entre ces deux capacités [55]. Elle apparaît comme l'aptitude d'une entreprise à répondre aux différentes évolutions de son environnement avec aisance et à se différencier en proposant des produits et des services personnalisés. Elle apparaît aussi comme l'adaptation rapide et proactive des éléments de l'entreprise aux changements imprévus et inattendus.

6.2 Intérêt de l'agilité de processus

Depuis les années 1990, l'agilité, et plus particulièrement l'agilité des processus, est un sujet fréquemment discuté au sein de la littérature scientifique. Le nombre de publications portant sur ce thème a explosé, comme le montrent le tableau 1.3 et la Figure 1.9, en synthèse des recherches menées sur les principales bases de données académiques scientifiques : Google Scholar, ScienceDirect, Web Of Knowledge et SpringerLink (recherches menées sur les champs auteur, titre, résumé, mots-clés). Cette agilité est devenue primordiale pour le succès et la pérennité des entreprises modernes. Le tableau 1.3 permet de voir l'importance des travaux menés sur ce concept durant ces dernières années.

Mots-clés	**Google Scholar**	**Science Direct**	**Web of knowledge**	**Springer Link**
Enterprise agility	103 000	61	1	51
Process agility	183 000	21 456	1 501	16 810
Organizational agility	77 100	12 596	335	6 785

Tableau 1.3 – Nombre d'articles sur les principales bases de données académiques depuis 1990

L'intérêt à l'agilité des processus ne cesse d'évoluer notamment durant les cinq dernières années. Ce qui rend ce sujet un thème d'actualité pour la communauté scientifique.

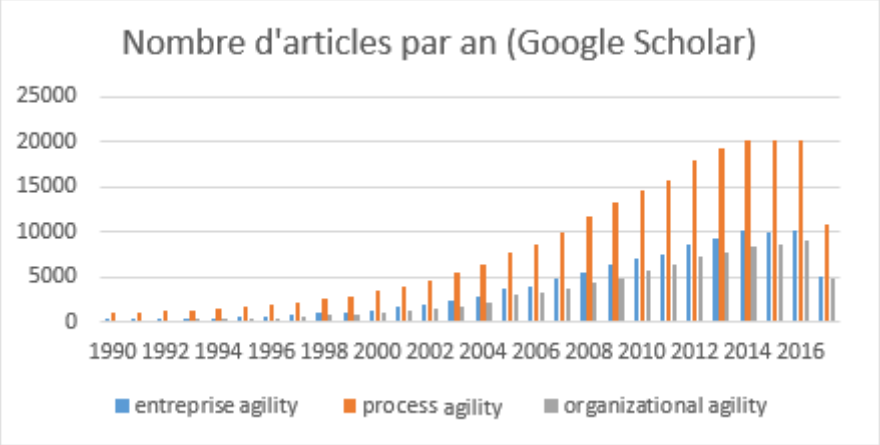


FIGURE 1.9 – Résultats de recherches sur Google Scholar à partir de 1990

Cette agilité (i.e l'agilité de processus) a été définie par [159] comme étant la capacité d'un système à détecter les changements survenus dans l'environnement dans lequel il évolue et à y adapter. Ainsi dans le travail de [142] elle est vue comme la capacité de reconfigurer un processus en ajoutant rapidement de nouvelles activités à l'ensemble de ses activités afin de répondre aux besoins du métier.

6.3 Typologie de l'agilité

L'agilité permet à l'entreprise d'avoir, d'une part une adaptation continue de ses objectifs à son environnement et, d'autre part un alignement continu de ses moyens et ressources à ses objectifs. Par ailleurs, l'essor de l'entreprise étendue et la complexité des organisations industrielles ont renforcé le besoin de recourir à des applications informatiques pour supporter les processus métier. L'adaptation de l'entreprise à son environnement nécessite alors non seulement l'adaptation de ses processus mais également celle de ses applications informatiques. De ce fait, l'agilité est basée à la fois sur l'agilité de l'organisation de ses processus métier et sur l'agilité de ses applications informatiques. Ces deux dimensions de l'agilité de processus nous les appelons : Organisationnelle (AO : capacité à redéployer l'organisation et la structure à la demande) et technique (AT : réajustement du système d'information). Elles ont été abordées dans la littérature séparément et selon diverses méthodes et solutions. Dans cette étude, nous nous intéressons aux travaux caractérisant l'AO et l'AT selon les deux domaines : entreprise agile et processus agile. Les concepts agiles identifiés dans chacune des références citées dans la Figure 1.10 sont présentés suivi d'une synthèse sur les concepts agiles clés adaptés à notre étude bibliographique.

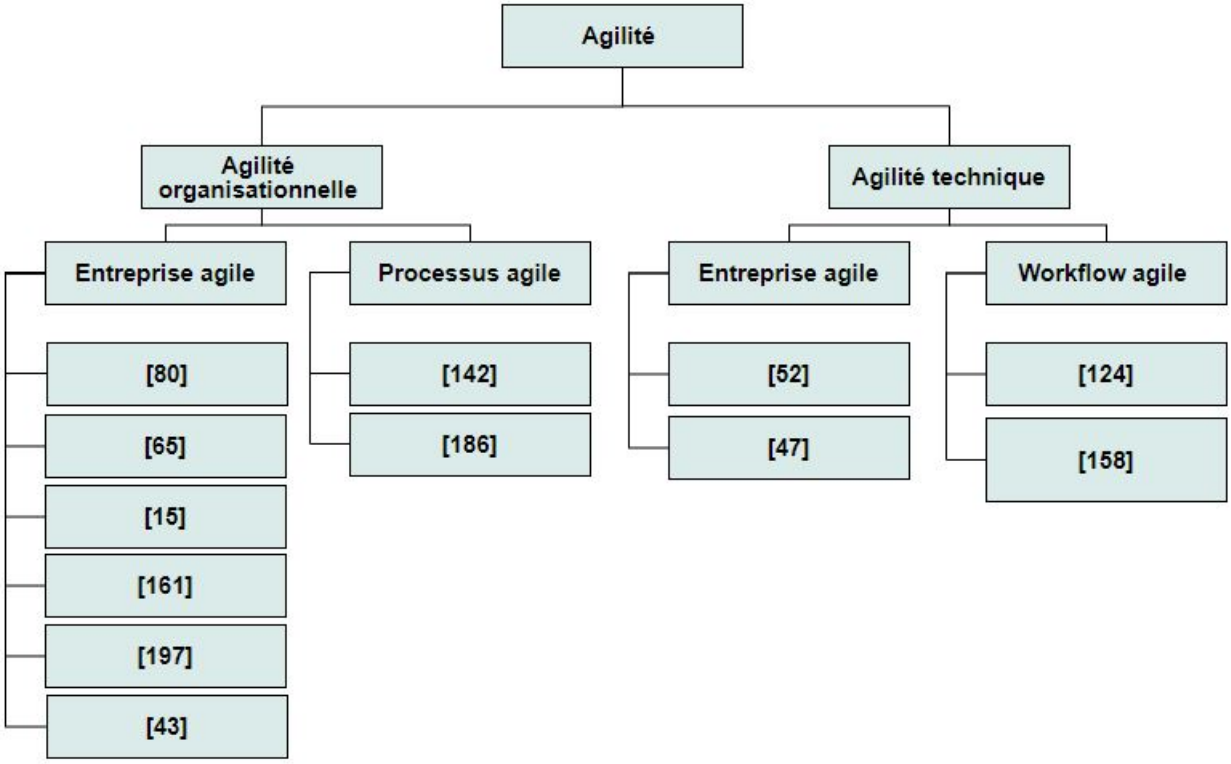


FIGURE 1.10 – Travaux connexes à l'agilité

Agilité organisationnelle

La littérature académique en agilité organisationnelle possède ses propres ténors comme Rick Dove, Steven Goldman, Kenneth Preiss aux USA ou encore Yves Doz,

Olivier Badot, et Jérôme Barrand en France. Plusieurs travaux de recherche à la fois conceptuels et empiriques ont essayé de spécifier les consensus fondamentaux sur la spécification de l'agilité organisationnelle.

a- Entreprise agile

a.1- Proposition de Dove

Pour [65], l'agilité est l'aptitude d'une entreprise à s'adapter au changement continu et inattendu afin de pouvoir prospérer dans un environnement complexe, évolutif et incertain. Il affirme que le moteur principal des changements et mutations environnementaux est l'explosion de connaissances. Ce qui est à l'encontre des conclusions élaborées en 1990 à la Lehigh University, où la technologie et la mondialisation sont considérés les conducteurs du changement. Dove affirme qu'une organisation agile est à la base une organisation de connaissances et de compétences. Il a identifié deux éléments clés de l'agilité d'entreprise :

- La bonne gestion de connaissances en veillant sur les savoirs et les décisions stratégiques de l'entreprise.
- L'application de ces connaissances en se référant sur les bonnes compétences (dans la littérature la connaissance est liée à la théorie et la compétence est liée à l'action).

En synthèse, l'auteur redéfinit l'agilité selon deux capacités : une capacité de réponse (savoir agir) et une capacité de gestion (trouver les bons éléments pour agir). La capacité de réponse requiert deux éléments clés :

- Permettre le changement : en utilisant des éléments réutilisables et reconfigurables permettant de faire le changement sans déstabiliser le système de référence et donc répondre aux différents besoins émergents et évolutifs.
- Faciliter le changement : dépend de la culture de l'organisation en développant les valeurs et appliquant les pratiques de l'agilité.

a.2- Proposition de Kidd

Pour kidd, une entreprise agile est une entreprise flexible, adaptable et robuste. Elle est caractérisée par une reconfiguration rapide pour s'adapter à tout changement soudain éventuel. Il a identifié cinq concepts clés de l'agilité d'entreprise :

- Organisation en réseau de ressources humaines : Elle supporte la communication directe entre les différents membres. Ainsi, elle favorise la décentralisation de la prise de décision et l'accessibilité de l'information.
- Des ressources humaines compétentes et motivées : L'agilité favorise la collaboration et la diversité des individus en renforçant leur motivation par l'autonomie.
- Entreprise virtuelle : est un réseau agile plus ou moins temporaire des entreprises. Dans le cadre d'un travail collaboratif, ces entreprises contribuent à l'ajout de la valeur au produit ou service grâce à leurs compétences.

- Innovation et apprentissage : L'innovation est vue comme une condition nécessaire pour assurer une croissance durable de l'organisation et gagner un avantage concurrentiel permettant de se différencier sur le marché.
- Gestion de connaissances et de compétences : les compétences un des actifs les plus intangible de l'entreprise constitue un avantage compétitif de l'entreprise agile.

a.5- Proposition de Nagel

Pour [119] les concepts clés d'une entreprise agile sont :

- Information accessible : en encourageant la transparence et la mise à disposition de l'information, via les démarches de management visuel, de démonstration etc.
- Gestion de compétences : dans une entreprise agile, des outils pertinents doivent être utilisés pour avoir une gestion efficiente de son capital humain.
- Prise de décision décentralisée : La décentralisation de la prise de décision est une démarche qui motive le personnel et influe sur les performances de l'entreprise.
- Innovation : elle est au coeur de l'entreprise agile. Grâce à ses capacités d'anticipation et d'innovation, elle cherche à apporter des solutions concrètes et personnalisées à ses clients.

a.6- Proposition de Yusuf

Les concepts de base de l'entreprise agile identifiés par [197] sont :

- Gestion des compétences : pour faciliter l'identification, l'amélioration et l'affectation de l'ensemble disponible de compétences.
- Entreprise virtuelle : ce concept fait largement écho aux travaux fondateurs de [81]. L'entreprise virtuelle implique des entreprises partenaires, des coopérations à la fois stratégiques, et également opérationnelles.
- Capacité de reconfiguration : vise à garantir à l'organisation la capacité de pouvoir rapidement changer d'objectifs, de se diversifier, de se reconfigurer, et de réaligner ses processus afin de pouvoir répondre aux changements et attentes souvent imprévisibles des marchés.
- Entreprise axée sur le savoir : fait largement appel aux travaux de [65] présentés précédemment.

a.7- Proposition de Sharifi

Le modèle de Sharifi structure l'entreprise agile autour de trois points forts : "agility drivers" (ce qui amène une entreprise à l'agilité), "agility capabilities" (ce qui est au cœur de l'entreprise agile), et "agility providers" (là où développer l'agilité). La première étape permettant à une entreprise d'être agile est l'identification des changements nécessitant une adaptation rapide. Pour bien identifier les différentes mutations (fines ou complexes) qui peuvent survenir dans l'environnement de travail, [161] ont proposé une classification de ces changements selon trois domaines

essentiels : (1) la dimension comportementale de l'entreprise représentant les activités utilisées pour satisfaire ses objectifs, (2) englobe les plans stratégiques et les objectifs de l'entreprise suivis par les éléments du domaine 1. Et (3) correspond à la démarche stratégique de développement de l'entreprise qui contrôle les deux domaines précédents. La capacité d'une entreprise à répondre aux différents changements de son écosystème dépend de la stratégie d'agilité. Cette stratégie dépend selon [161] de quatre capacités fondamentales :

- *Réactivité de l'entreprise :* il s'agit de sa capacité à identifier et répondre rapidement à des changements environnementaux. La dimension réactive de la réponse agile permet de détecter rapidement le changement et de s'y adapter ou de l'anticiper en développant une réponse créant de la valeur.
- *Compétences à mettre en oeuvre pour s'adapter :* l'aspect humain est un élément basique dans le développement de la réponse agile. Au-delà des compétences individuelles et collectives, des compétences d'ordre structurel tel que la stratégie, les technologies utilisées et les changements managériaux sont nécessaires à l'adaptation au changement.
- *Flexibilité de l'entreprise :* cette flexibilité peut être décomposée en flexibilité structurelle, organisationnelle opérationnelle et d'autres. Elle présente la capacité du système (processus, ressources, objectifs) à faire évoluer sa définition et sa structure afin de redevenir pertinent (en terme de moyens et d'objectifs) vis-à-vis du positionnement courant.
- *Rapidité pour s'adapter en interne :* il s'agit de temps mis en place dès la détection du changement jusqu'au développement de la nouvelle situation.

a.8- Proposition de Voirin

Sur la base des modèles proposés, Charbonnier-Voirin a identifié les caractéristiques essentielles de l'agilité organisationnelle qui sont : les leviers agiles, les capacités agiles et les pratiques agiles. Les leviers agiles représentent l'infrastructure de l'organisation constituée de leviers reconfigurables : la structure, les processus, les technologies et ressources humaines. Cette dernière est composée de leviers stables assurant la continuité de l'organisation : vision, valeur et critères de performance partagés. Outre, les pratiques agiles connues aussi les attributs agiles sont classées en quatre catégories principales :

1. pratiques visant à maîtriser le changement,
2. pratiques valorisant l'aspect humain et spécifiquement les compétences en se basant sur des capacités d'autonomie et de responsabilité
3. pratiques coopératives en interne et en externe de l'entreprise essentielles pour raccourcir le temps de réponse et améliorer le potentiel d'innovation
4. et enfin des pratiques pour la création de valeur aux clients qui sont essentiellement axés sur leurs satisfactions.

Quant aux capacités agiles, elles sont rassemblées en trois aptitudes importantes :

1. L'aptitude à mobiliser une réponse rapide au changement reposant sur la réactivité, flexibilité et optimisation des ressources existantes,

2. L'aptitude à lire le marché afin d'explorer et détecter les développements émergents
3. L'aptitude à apprendre en ajustant les capacités et les alignant avec les perspectives stratégiques de l'organisation.

b- Processus agile

b.1- Proposition de Von Rosing

[186] a appliqué les principes et valeurs de méthodes de développement de logiciels agiles à l'approche BPM. Il a défini cinq phases agiles de BPM :

- Analyse agile : elle correspond à l'identification des exigences de processus à travers un travail collaboratif et itératif. Les exigences sont priorisées et organisées en versions courtes.
- Planification agile : une planification de haut niveau est définie, y compris les ressources, coûts et risques.
- Conception agile : une conception de processus globale est faite.
- Construction agile : à travers les itérations, les petits états de transition permettent de compléter la conception.
- Test agile : le test est effectué de manière itérative pour chaque version de processus.

b.2- Proposition de Rasche

Pour [142], quatre composantes sont identifiées comme des concepts clés d'un processus agile :

- Reconfiguration : capacité de modifier la structure de processus dans le but de l'adapter aux changements survenus.
- Réactivité : la capacité d'identifier et de réagir dans le laps de temps le plus court aux événements, opportunités et aléas pour créer et maintenir un avantage concurrentiel.
- Ressources humaines flexibles : La capacité des ressources à s'adapter aux changements. Ces ressources humaines sont caractérisées par une multitude de compétences et d'une autonomie et responsabilité.
- Process-centric-view : la gestion de processus est centrée processus contrairement à celle orientée activité (vue fonctionnelle). La vue centrée processus permet de s'adapter plus rapidement aux changements que la vue fonctionnelle.

c- Synthèse sur l'agilité organisationnelle

Malgré certaines différences qui existent entre les définitions de l'agilité organisationnelle, les éléments qui la composent sont communs, quelle que soit la proposition. Les travaux dans le domaine du processus agile ne sont pas encore matures. Les concepts de l'agilité organisationnelle sont principalement identifiés dans le domaine de l'entreprise agile. L'entreprise agile est un ensemble d'unités opérationnelles de taille

réduite, très proches du client et au cœur des mouvements de l'environnement. Au sein d'une entreprise agile, les ressources humaines ne sont pas considérées comme d'autres ressources utilisables dans l'entreprise mais que ces ressources humaines ont des ressources. Avec leurs capacités, aptitudes et attitudes, autrement leurs compétences, ces ressources humaines peuvent être à la fois ceux qui construisent le système, lui assurent une certaine permanence et lui permettent d'évoluer. Nous remarquons toutefois que parmi toutes ces définitions, certains thèmes reviennent plus souvent que d'autres. Nous avons dégagé les principaux concepts identifiés à partir de ce panorama de recherche.

C1 : Reconfiguration de processus et de ressources : C'est le point le plus consensuel entre les auteurs. L'entreprise agile peut être considérée comme un réseau de différentes unités opérationnelles en constante interaction pour atteindre un objectif commun. Ces unités sont en constante adaptation et reconfiguration selon les besoins du métier.

C2 : Autonomie : chacun produit une profonde conscience de son environnement et cherche à capter des signaux de son environnement et participent à leur diffusion à tous ceux qui peut y être sensibles. La responsabilisation et l'autonomie sont des facteurs primordiaux pour le développement de la participation dans la prise de décision.

C3 : Décentralisation de la prise de décision : dans une entreprise agile, l'aspect humain est un facteur clé de performance. L'implication de chacun dans la prise de décision s'inscrit dans une optique d'accélération de la prise de décision et donc de la détection de changement et d'y adapter. La délégation du pouvoir dans la mesure où chacun prend des décisions propres à ses responsabilités permet une meilleure intégration à l'organisation et impose un important effort de sensibilisation et de formation d'une part, une mise à disposition des informations pertinentes d'autre part.

C4 : Bonne gestion de compétences : la notion de compétence est une constante indéniable de l'agilité organisationnelle. En effet, une entreprise agile est à la base une entreprise de savoir et de savoir-faire où le capital humain prend une place centrale dans la mise en œuvre des principes de l'agilité. Connaissance de l'ensemble des compétences disponibles, amélioration continue et son affectation à la position de travail adéquate,

C5 : Collaboration et communication : il est nécessaire de stimuler la collaboration et la coopération entre les personnes. Ces mécanismes doivent être en mesure de s'exprimer tant en interne qu'en externe.

Agilité technique

Toutefois, le processus métier, pour qu'ils soient implémentés, sont traduits dans des applications systèmes informatiques hétérogènes. De ce fait, il est difficile de les faire évoluer rapidement et en cohérence comme l'exigerait l'évolution des besoins métier et les attentes du marché. D'où le besoin d'avoir un support informatique

agile. Pour disposer d'un support informatique agile, deux problématiques majeures ont apparue au début des années 90 :

1. Entreprise agile : La capacité des systèmes hétérogènes à échanger des informations et à fonctionner ensemble, connue sous l'interopérabilité.
2. Processus agile : La capacité à modifier les workflows selon deux perspectives : fonctionnelle (on parle de flexibilité du contenu du workflow) et comportementale (on parle de flexibilité de la structure du workflow).

a- Entreprise agile

L'interopérabilité est la possibilité pour différents systèmes de communiquer entre eux sans dépendre d'un acteur particulier. Elle repose sur la présence d'un standard ouvert et l'échange des informations permettant à plusieurs systèmes d'agir ensemble [93], [91], [1], [96], [129], [22]. Dans le domaine industriel, elle est définie comme l'habilité d'interaction entre les applications d'entreprise. La couverture de tous les niveaux d'interopérabilité contribue à la mise en place d'une démarche Lean puisque les sources de gaspillages liées au manque d'interopérabilité seront de fait supprimées.

a.1- Proposition de Daclin

Selon les travaux de [91] et [52], l'interopérabilité dans l'entreprise se réalise sur trois niveaux :

- Conceptuel : permettant de modéliser l'information de haut niveau d'abstraction telle que la cohérence stratégique.
- Organisationnel : lié à la définition et la gestion des rôles, des facteurs humains et des comportements organisationnels de l'entreprise.
- Technologique : associé à l'incompatibilité des technologies de l'information. Pour résoudre les problèmes de normes de traitement des données il faut organiser et maîtriser l'hétérogénéité des données et des logiciels et rationaliser la mise en commun d'informations à travers des référentiels.

a.2- Proposition de Chen

Une autre classification a été proposée par [47] qui a défini quatre niveaux d'interopérabilité :

- L'interopérabilité de donnée : lié à la modélisation des données.
- L'interopérabilité des services concerne la définition des fonctions communes à diverses applications pour résoudre les problèmes syntaxiques et sémantiques.
- L'interopérabilité des processus permettant de relier des processus internes de deux entreprises pour produire un processus commun et faire travailler divers processus pour répondre à un besoin particulier.
- L'interopérabilité des affaires permettant de développer des activités conjointes en harmonisant l'organisation globale de l'entreprise (prise de décision, méthode de travail.)

b- Processus agile

Plusieurs travaux ont été menés pour tenter de proposer une taxonomie générique de la flexibilité du processus. La flexibilité peut être garantie de différentes manières et à différents endroits dans le cycle de vie d'un processus métier. Elle peut être sollicitée en phase de modélisation (vise à offrir une modélisation du processus métier avec possibilité, pour les analystes métier, de changement facile en phase de définition ou de redéfinition après exécution et analyse du processus. La modularité et la granularité de la modélisation facilitent la redéfinition des parties à modifier du processus métier sans perturber tout le système [164], [24], et [105]) ou d'exécution (vise à apporter une facilité de changement automatique en cours d'exécution [45], [17]). Dans ce contexte deux grandes taxonomies ont été proposées :

b.1- Proposition de Nurcan

La taxonomie proposée par [124], distingue ces deux types de flexibilité selon le moment de la prise en compte de la flexibilité, c-à-d au moment de la conception ou au moment de l'exécution.

- *Flexbilité par sélection* : appelée aussi a priori. La capacité de flexibilité de ces processus devrait être incorporée dans leurs définitions pendant la phase de modélisation de manière à ce que les instances de processus soient toujours conformes à la définition de ces processus. Ceci est garanti par la détermination d'un nombre d'alternatives d'exécution dans la description du processus définie préalablement en phase de conception. Ce type de flexibilité est recommandé dans les cas de processus bien définis, pour lesquels tous les cas d'exécution possibles peuvent être connus à l'avance [67], [124].
- *Flexibilité par adaptation* : appelée aussi a posteriori, permet l'adaptation du modèle de processus métier ou ses instances durant leurs exécutions. La nature du changement indique pour quelle raison l'adaptabilité du processus est souhaitée. Le changement dit ad-hoc se fait de manière dynamique sur une ou plusieurs instances, lorsque le modèle de processus est jugé incompatible avec le contexte d'exécution [4], [44], [102] ; son impact est local. Le changement dit correctif a pour but de corriger une erreur de conception ou de réagir à une exception durant l'exécution du processus [101] [124] ; son impact peut être local ou global. Le changement dit évolutif s'effectue suite à une reconfiguration du processus [151], [4], son impact est global. Le principal défi consiste à savoir : 1) quand et selon quels critères l'adaptation devrait être faite ? 2) sur quel niveau doit elle être appliquée c-à-d au niveau du modèle du processus ou au niveau de ses instances ? 3) comment peut on faire face aux instances qui sont en cours d'exécution ?

b.2- Proposition de Schonenberg

Dans le travail de [158], il s'intéresse à la flexibilité du point de vue opérationnel. Il a distingué quatre types de flexibilité :

- *Flexibilité par changement* : ce type concerne la possibilité de modifier la

définition du processus en permettant aux instances du processus de migrer vers la nouvelle définition.
- *Flexibilité par déviation* : concerne la possibilité de dévier l'exécution d'une instance du processus de sa définition initiale en permettant par exemple de défaire ou de court-circuiter certaines activités
- *Flexibilité par spécification partielle* : concerne la possibilité d'exécuter un processus partiellement spécifié c-à-d la possibilité de définir certaines structures de processus dans la phase d'exécution en permettant la sélection tardive d'un fragment de processus parmi plusieurs fragments alternatives
- *Flexibilité par conception* : concerne la possibilité d'exprimer des chemins alternatifs lors de la modélisation du processus et cela en permettant d'exprimer le parallélisme entre les activités, le choix de l'exécution d'une activité parmi plusieurs, l'instanciation multiple d'une activité dans la même exécution ou encore l'annulation de l'exécution d'une activité

Synthèse sur l'agilité technique

Nous pouvons constater que l'agilité technique joue le rôle d'un facilitateur de l'agilité organisationnelle, car elle permet aux entreprises de rendre leurs processus plus réactifs et flexibles. L'agilité technique facilite la reconfiguration de processus, accélère la prise de décision en diffusant des informations sur le fonctionnement de processus... La flexibilité et l'interopérabilité comme mentionné sont deux concepts fondamentaux de l'agilité technique dont nous identifions trois capacités primordiales :

$C'1$: Flexibilité par adaptation : Capacité à ajuster le modèle de processus pendant son exécution. La flexibilité introduite au niveau instances (i.e une exécution donnée) du processus est réalisée selon deux pratiques (par changement et par spécification partielle).

$C'2$: Flexibilité par sélection : Capacité à ajuster le modèle de processus pendant sa modélisation. La flexibilité introduite au niveau définition du processus (i.e modèle) est réalisée selon deux pratiques (par déviation et par conception). Elle implique le besoin d'anticiper toutes les versions possibles du processus.

$C'3$: Intéropérabilité : Capacité à échanger des informations hétérogènes et faire fonctionner plusieurs systèmes ensemble sans conflit de contenu.

Pour conclure, la notion d'agilité des processus impacte nécessairement la perspective comportementale et fonctionnelle ainsi que la perspective organisationnelle et informationnelle. Elle se manifeste sur deux niveaux : organisationnel et technique. D'une part l'agilité organisationnelle permet d'accélérer la détection du changement grâce aux principes d'autonomie et de décision décentralisée ainsi qu'une bonne mobilisation de compétences. Pour mettre en œuvre l'adaptation nécessaire, l'agilité technique vient au support de l'agilité organisationnelle en intégrant les changements requis sans devoir redéfinir les processus dés le début et en diffusant les informations requises à la bonne prise de décision. Ceci nous ramène à étudier dans la section suivante, les approches proposées pour supporter l'agilité de processus selon ces deux niveaux.

7 Approches pour supporter l'agilité

Dans la littérature, le concept d'agilité a été considéré sous un prisme particulier sans l'aborder dans sa globalité. Cette partie présente les approches proposées dans la littérature pour supporter l'agilité organisationnelle et technique et les situe par rapport aux critères cités précédemment.

7.1 Au support de l'agilité organisationnelle

Nous pouvons classifier ces approches selon deux catégories : des solutions permettant de supporter la gestion de projet informatique et de développement agile et d'autres permettant de supporter l'agilité des processus métier. Les méthodes de gestion de projet informatiques ont été développées suite à l'élaboration du Manifeste Agile pour aider les entreprises à améliorer leur efficacité et à devenir plus agiles face aux contraintes de leur environnement de travail. Des méthodes dites itératives ont été développées permettant d'associer les utilisateurs aux livraisons successives du produit opérationnel. Ces démarches itératives, incrémentales et adaptables tendent à éliminer les travaux sans apport de valeur insistant sur le travail d'équipe plutôt que sur la procédure et sur la collaboration avec le client plutôt que la relation contractuelle (tels que RAD, XP, SCRUM..). Au-delà des méthodes agiles, des méthodes hybrides ont été développées (comme Scrumban et ScrumXP) pour résoudre les faiblesses de quelques méthodes en intégrant des principes d'autres méthodes. Malgré que ces méthodologies possèdent leurs caractéristiques propres, elles ont été conçues en ayant comme référence les mêmes lignes directrices, soit les valeurs et les principes du Manifeste Agile [74]. Dans la suite, nous allons principalement étudier les approches au support de l'agilité de processus. Ces approches sont plus représentatives de l'agilité organisationnelle. Le besoin d'agilité et l'évolution du mode de travail dans l'entreprise sont à l'origine de l'émergence de Social BPM (SBPM). L'élément clé du SBPM est l'engagement des utilisateurs [127], [133], de même ce qui semble être commun et essentiel dans le SBPM selon [127], [48], [128], [33], [133], [139] sont : la collaboration, l'engagement/la participation des utilisateurs, l'amélioration continue du processus. Tous ces pratiques sont des facteurs clés de l'agilité organisationnelle.

Social BPM

La recherche en SBPM a commencé officiellement en 2008 [157] et elle a évolué depuis. Elle consiste en l'intégration de social software (SS) et de BPM. Dans le but d'assurer une exécution souple et efficace des processus métier, SBPM supporte l'idée que [169] a nommé sous l'appellation de "wisdom of crowd", en d'autres termes sur l'exploration des connaissances tacites apparaissant de plus en plus comme une composante essentielle de l'apprentissage organisationnel et représentant un des principaux substrats de portefeuille de compétences clés d'une organisation. Le SBPM permet de regrouper une grande variété d'utilisateurs ayant de degrés de formation différents pour contribuer avec leurs connaissances dans l'amélioration de processus [133]. Bien qu'il existe un certain nombre de définitions

sur le concept de SBPM, il n'y a pas une vision standardisée sur la manière dont le SBPM fonctionne. Nous proposons la définition suivante englobant les caractéristiques primordiales du SBPM : *une méthode permettant la collaboration et la participation libre des utilisateurs par le biais de SS dans le but d'améliorer le cycle de vie du BPM.* . Ceci est réalisé en créant une architecture de participation collective dans laquelle tout le monde participe dans la définition, l'exécution et l'amélioration du processus [70].

Le succès de médias et logiciels sociaux est basé spécifiquement sur 4 principes comme il est affirmé dans la littérature [157].

- Egalitarianism : C'est une doctrine prônant l'égalité en fusionnant les rôles de fournisseurs et consommateurs et en introduisant une culture de confiance mutuelle au lieu des procédures formelles. Tous les membres de l'organisation ont le droit de contribuer et exprimer leurs idées librement [35]. Certaines entreprises utilisent l'intelligence collective des internautes dans le service recherche et développement par exemple.
- Social production : Ce concept est défini comme la création des artefacts en combinant les entrées de différents contributeurs indépendants sans prédéfinir la manière de le faire [170]. Ces chercheurs ont affirmé que la libre circulation de l'information est une condition préalable à un développement durable de l'économie et d'une entreprise cohésive unique.
- Weak tie : Un sociologue américain, considéré comme l'un des principaux représentants de la sociologie des réseaux sociaux, a inventé sa théorie connue sous le nom de la "force des liens faibles" [82]. Pour lui un réseau se compose de liens forts et de liens faibles. Les liens faibles permettent de créer un pont (bridge) entre deux agents. Sa théorie se résume comme suit : S'il existe un lien fort entre l'agent A et l'agent B et que l'agent A et l'agent C sont eux aussi liés par une forte relation, B et C sont au moins unis par un lien faible.
- Service dominant logic : Cette approche se fonde sur la co-création de services à mettre à disposition au client. Parmi les caractéristiques fondatrices de SDL, nous pouvons citer la transparence et la participation égalitaire dans le processus de création de valeur, le partage et la diffusion rapide des informations personnalisées dans un contexte sociotechnique ainsi que l'adaptation de la composition des ressources selon le contexte.

Les principes de SS sont principalement implémentés dans la phase de modélisation et dans la phase d'exécution. Dans ce qui suit, nous examinons les propositions et les approches élaborées pour supporter ces deux phases.

a- SBPM pour supporter la phase de modélisation

L'objectif principal de cette catégorie est l'implication des acteurs techniques et non techniques dans la découverte, la conception et la modélisation des processus métier afin d'assurer une acceptation totale des modèles de processus. La première approche est développée par [33] connue sous l'appellation BPMN4PEOPLE en utilisant BPMN 2.0, une extension sociale du BPMN avec des designs pattern. Son objectif principal est d'atténuer le problème du "model reality divide" (l'écart entre

le modèle métier du processus et le processus réellement exécuté) en utilisant des moyens de communication supportant le partage et l'échange des informations et des connaissances. Parmi les design patterns utilisés, on trouve, la rétroaction sociale, les publications, les commentaires, le vote, la recherche des personnes... Une autre proposition a été développée par [87] basée sur l'utilisation de Wiki qui permet de supporter la modélisation collaborative. Dans un projet collaboratif et communautaire, la discussion est indispensable. Ainsi, l'utilisation des pages wiki permet de coordonner le travail, discuter d'éléments en fournissant une visibilité totale sur l'enchainement des activités. Dans le même contexte de modélisation collaborative, [64] a proposé un outil connu sous l'appellation CoMoMod. Cet outil soutient principalement la définition et la modélisation collaborative des processus métier mais il est limité au langage de modélisation Petri nets et aux processus pilotés par des événements. Dans le but de soutenir la réutilisation et l'acceptation des modèles conçus collaborativement, [104] suggèrent un système qui soutient la conception des processus avec des fonctionnalités sociales. Alors que dans le travail de [60] une approche dirigée par but, a été proposée. Le principe de base est l'utilisation des outils de communication et de modélisation par tâche pour améliorer la communication et l'interaction. En outre dans le travail de [137], une application web est développée dans le but de la rendre accessible pour les acteurs techniques et non techniques favorisant la collaboration et l'amélioration de la standardisation et l'optimisation des processus. C'est un wiki collaboratif, appelé Cyano, qui permet aux différents utilisateurs de devenir créateur de processus.

b- SBPM pour supporter la phase d'exécution

Les approches développées pour supporter la phase d'exécution sont limitées. Dans ce contexte, trois approches ont été proposées. La première approche est une approche centrée utilisateur, où la participation humaine est requise pour l'exploitation des activités. Elle est connue sous l'appellation AGILIPO développée par [162] qui suit le principe de développement agile de logiciels [98], de la conception organisationnelle et l'ingénierie [162]. Elle permet de prendre en considération les exceptions non planifiées pendant l'exécution de processus où les utilisateurs participent à la définition et la conception des activités cas par cas. La distinction avec les autres approches est le couplage de la modélisation avec l'exécution [162]. En se basant sur une folksonomie associée (un système de classification collaborative décentralisée), les modélisateurs analysent l'ensemble des cas génériques d'activités et généralisent les exceptions sur le modèle existant de processus, en synthétisant une nouvelle version du modèle. Une autre proposition pour améliorer les fonctionnalités de SBPM pendant la phase d'exécution est développée par [181]. Cette approche permet aux différentes parties prenantes d'échanger des idées et connaissances en créant des groupes de discussions ou en posant des questions au public d'un processus opérationnel spécifique. Les réponses développées ne sont pas restreintes à une personne mais plutôt visibles par tous les membres du groupe créé. C'est un modèle sophistiqué d'une plateforme de gestion de processus qui applique le marquage menant à l'étiquette des problèmes et les solutions correspondantes afin de permettre une identification et matching rapide de chaque problème avec les solutions proposées. Ainsi, dans le travail de [139], la même technique de marquage (tag) a été utilisée

pour supporter l'exécution du processus dans un environnement social. Le tag social permet d'indexer les connaissances nécessaires à l'exécution d'une tâche émergente ou d'identifier les activités/tâches requises pour satisfaire un besoin émergent. En effet, l'utilisation et l'échange des connaissances durant l'exécution de processus est un moyen efficace pour améliorer sa performance. L'objectif de cette approche est donc de réutiliser les connaissances saisies dans les exécutions précédentes.

7.2 Au support de l'agilité technique

Plusieurs travaux ont essayé de résoudre le problème de rigidité des processus et de proposer des nouvelles approches pour leur gestion. Ils ont essayé de répondre au problème concernant la détection du moment et des causes d'inadéquation des processus collaboratifs exécutés par rapport aux objectifs prédéfinis et comment redéfinir la meilleure réponse possible au même instant d'inadéquation. Nous classifions ces approches en deux catégories : des approches pour améliorer la flexibilité des workflows et d'autres pour résoudre le problème d'interopérabilité des systèmes.

a- Approches pour améliorer la flexibilité de processus

Ces dernières années, nombreux travaux ont été faits pour proposer des solutions au problème de l'adaptation des processus. Les approches proposées pour assurer l'adaptation des processus permettent de compléter la modélisation des processus avec des alternatives déjà définies durant l'exécution, ou de retourner à la phase de conception lors de l'exécution pour compléter la modélisation. Nous présentons dans la suite les solutions existantes pour améliorer la flexibilité des workflows :

- **Les Worklets :** de [8] qui a été implémentée dans un environnement YAWL (Yet Another Workflow Language) [8] [5] consiste à diviser les activités en un ensemble de tâches (actions). En effet, un Worklet est un workflow atomique et autonome qui gère une tâche (action) spécifique dans un processus composite de plus grande ampleur (activité). Un modèle de processus est défini et son implémentation (la sélection des worklets) est réalisée durant son exécution en tant que workflow : la flexibilité de cette approche réside dans la définition de worklets candidats associés à chaque action et la définition de l'instance de processus est choisie pendant son exécution. La sélection de worklet adéquat pour chaque action dépend du contexte d'exécution ce qui traduit une adaptation selon le contexte.
- **ADEPT :** est créé par [106] était commercialisée pour la première fois en 2008 sous le nom AristaFlow BPM Suite [106]. Le principe du projet ADEPT est de laisser l'utilisateur intervenir directement sur les instances en cours d'exécution pour effectuer des changements (suppression, ajout, annulation des instances). L'utilisateur peut réagir sur le contenu du processus en ajoutant ou supprimant des activités comme il peut modifier la structure du processus en réordonnant les séquences d'activités. Chaque modification réalisée par l'utilisateur est validée selon des règles de contrôle pour vérifier la cohérence des instances du workflow.

- **Les Workflows Inter-Organisationnels (WIO) :** supportent la coopération entre différentes organisations hétérogènes, autonomes et distribuées. Ces organisations mettent à disposition leurs processus pour atteindre un but commun. En effet, les WIO sont composés de plusieurs workflows individuels exécutés au sein de ces organisations. Des collaborations occasionnelles et faiblement structurées sont assurées en utilisant les WIO lâches où les organisations ne sont pas spécifiées à priori. Les WIO peuvent être échangés en pleine exécution. [40] a implémenté le principe de WIO dans un environnement collaboratif en utilisant deux ontologies pour rechercher et après sélectionner les candidats (organisations partenaires) adéquats. La solution de [41] est basée sur l'utilisation du Web Services permettant l'intégration des services des partenaires dans les WIO.
- **Case Handling :** est une autre approche destinée à améliorer la flexibilité des workflows développée par [5]. Le principe de cette approche est de choisir les activités à exécuter selon les données disponibles à un instant donné. En supposant qu'il possède les droits d'accès requis, le CHS (Case Handling System) met à disposition de l'utilisateur toutes les données issues du contexte d'exécution. Il orchestre l'exécution des activités sur la base des données liées à chaque cas et disponibles à un instant t. Cette approche a été implémentée dans FLOWer [3], qui a depuis été renommée en BPM—one (il s'agit d'un produit commercial).

Il y a aussi des approches dites par évolution, abordent l'évolution des processus et la migration de ses instances tels que les travaux faits par VerFlexFlow [42]. D'autres travaux ont essayé de généraliser le processus en exprimant différentes situations à traiter et donc résolvant le problème d'adaptation de processus en spécifiant tous les chemins possibles lors de la phase de modélisation. L'idée principale de ces méthodes consiste à traiter en amont l'adaptation de processus en proposant des solutions : avec l'héritage [4], les variantes [151], les alternatives [41] et d'autres par des liaisons tardives [5]. D'autres travaux définissent l'enchainement des activités à travers des règles, où on parle des approches par contraintes tels que le travail de [110], [28] et [2].

Si la modélisation partielle des processus ne paraît pas complexe (où les alternatives sont déjà définies), l'exécution de workflows partiellement définis semble plus délicate à réaliser. Pour surmonter ces problèmes, l'utilisation de composant modulaire (couplage flexible) qui fonctionne de façon indépendante permet aux entreprises d'interagir entre elles et d'adapter leur structure sans pour autant nécessiter un travail de réingénierie. Ce qui explique l'arrivée de SOA en 1996 [196]. Nous présentons l'approche orientée service dans la section suivante.

b- Approche orientée service

Plusieurs travaux ont essayé de transposer les avantages de SOA au monde de l'entreprise. Les processus collaboratifs peuvent être définis en utilisant des services et/ou des services composites (le couplage de services, selon les fonctionnalités offertes, mis à disposition par divers fournisseurs). Un des principaux avantages de l'approche SOA est le faible couplage entre les services. En effet, chaque service

est indépendant de l'état et du contexte d'exécution d'autres services. Dans la littérature, il n'y a pas une définition universelle de l'architecture orientée service dont la plupart se concentrent sur l'aspect technique de la SOA. Elles dépendent du domaine et des objectifs de la mise en œuvre d'une telle démarche. Seules quelques-unes prennent en considération la dimension métier. En somme, les définitions existantes dans la littérature [77], [126], [63], [166], [187], [88], [166], [120], [12], [130] et [19] s'accordent à dire que les approches orientées services ne présentent pas une technologie mais un style architectural pour (re)concevoir et (re)déployer le système d'information. Elle permet d'encapsuler les fonctionnalités élémentaires contenues dans le système d'information en un ensemble de services réutilisables et rapidement reconfigurables. Le service l'unité élémentaire de construction du système doit être publié par le fournisseur dans un registre de service pour qu'il puisse être invoqué par d'autres utilisateurs. Une fois les fonctionnalités offertes par certains services identifiées par le client afin de satisfaire son besoin, ces services seront assemblés à travers des primitives de contrôle et d'échange pour atteindre l'objectif global. Ils ont l'avantage d'être facilement composables. Cette composition est définie comme étant la capacité de combiner des services disponibles offerts par divers fournisseurs pour offrir des services à valeur ajoutée. Il s'agit en d'autres termes de spécifier la perspective opérationnelle (quels sont les services invoqués) et comportementale (dans quel ordre) des processus. [73] décomposent la composition du service en composition manuelle (élaborée par le client (l'utilisateur) qui spécifie son besoin en termes de composition de services en consultant le registre et en se basant essentiellement sur sa connaissance de domaine) et composition automatique (il n'y a pas d'intervention utilisateur pour réaliser la composition).

L'objectif global de la mise en place de la SOA est d'automatiser les processus et de conserver l'alignement métier/IT et répondant par la même aux besoins des clients. Elle consiste à orchestrer convenablement les services de différente granularité et en parfaite adéquation avec les besoins exprimés pour exécuter les processus en fournissant la flexibilité nécessaire pour résoudre le problème de rigidité du processus tant pour sa définition que pour son exécution. Le travail de [135] a donné une certaine flexibilité structurelle du modèle de processus en cours d'exécution. Son approche nommée Diapason, offre la possibilité de faire évoluer dynamiquement une orchestration de services web grâce au concept de mobilité introduit par le π- calcul. En effet, la notion de mobilité supportée par le π-calcul, permet de faire transiter un processus à travers un canal, afin de fournir un nouveau comportement à un processus en cours d'exécution. Toute autorisation de modification spécifiée pendant la phase de modélisation est dite évolution planifiée. L'évolution planifiée réduit la flexibilité de la structure de processus si une évolution n'était pas pensée avant l'exécution. Pour résoudre ce problème, [135] définit autre type d'évolution dite non planifiée. L'évolution non planifiée est la responsabilité de l'architecte de l'orchestration. S'il accepte d'effectuer des changements sur la structure du processus, il envoie la nouvelle orchestration à la machine virtuelle pour vérifier la faisabilité de l'exécution. Une autre approche a été proposée par [27] où on trouve une intégration de la notion de contexte pour améliorer la flexibilité du processus. Un modèle de processus généralisé est défini

pendant la phase de modélisation et sera complété durant son exécution en utilisant les services enregistrés dans le registre de service. En effet, le modèle de processus contient les différents GoalTemplates à atteindre pour satisfaire les objectifs du processus. Selon les paramètres de contexte préalablement définis dans chaque GoalTemplate les services adéquats sont découverts et sélectionnés dynamiquement. De ce fait, nous pouvons trouver différentes instanciations pour le même modèle de processus généralisé. Et donc cette approche permet d'assurer une certaine flexibilité selon la perspective fonctionnelle du processus. Elle permet de changer le contenu du processus selon le contexte mais ne permet pas d'agir sur sa structure s'il y a besoin (la structure du processus est définie pendant sa modélisation et ne peut pas être modifiée).

En plus de l'amélioration de la flexibilité du processus, un des principaux facteurs de l'engouement envers la SOA est sa capacité à supporter l'interopérabilité nécessaire [111]. En effet, avec l'augmentation et l'évolution quasi-constante des technologies et applications informatiques, résoudre la complexification des flux de données dans les systèmes d'information est l'objectif de l'ESB (Entreprise Service Bus). Il joue le rôle d'un médiateur entre les clients et les fournisseurs de services en assurant la récupération et la distribution des messages en totale cohérence avec tous les processus métier de l'entreprise. L'harmonisation des référentiels de données et la normalisation des échanges d'informations permettent d'assurer les objectifs d'agilité, où des applications hétérogènes peuvent fonctionner ensemble. Elle est utilisée pour interconnecter différents composants du système d'information, tels que les ERP, CRM, SCM...

En outre, avec l'augmentation des fournisseurs mettant à disposition des services ayant les mêmes fonctionnalités, le problème de la découverte et de la sélection est devenu crucial. La notion d'annuaire (registre) est centrale : elle permet aux consommateurs de trouver rapidement et efficacement le service dont ils ont besoin [146]. Selon la disponibilité du service et ses critères de préférence, le client peut choisir un ou plusieurs service(s). Des propriétés fonctionnelles qui décrivent les opérations accomplies par chaque service et d'autres non-fonctionnelles (telles que le temps de réponse, la disponibilité, la sécurité, etc.) sont spécifiées pour enrichir et améliorer le résultat de la phase de découverte et donc différencier les services partageant les mêmes propriétés fonctionnelles.

Une intégration du contexte du client est réalisée dans le travail de [97] qui l'a décomposé en cinq catégories. Ainsi un processus de quatre étapes est défini pour assurer l'adaptation des services à ces catégories de contexte. L'objectif de la première étape est de récupérer le contexte inclus dans la requête du client pour effectuer une pré-sélection des services correspondants à ce contexte. Ensuite, ces services seront filtrés à travers le gestionnaire de contexte qui assure la comparaison avec les attentes du client. Et la dernière étape permet d'envoyer le résultat au client. Une autre définition du contexte a été élaborée par [136]. Ils ont proposé une extension d'OWL-S pour modéliser le contexte du service, du client et de l'environnement. Trois catégories de contexte ont été définies et représentées par une ontologie, et à

leur tour, intégrées aux ontologies d'OWL-S. Ces catégories permettent de spécifier des informations sur le contexte statique de l'utilisateur (son profil, ses préférences et ses intérêts) et son contexte dynamique (son activité en cours, son emplacement), de regrouper des informations non fonctionnelles des services (prix, durée d'exécution, temps de réponse) et de représenter des informations sur l'environnement de l'utilisateur (temps, date etc.). Trois couches de base permettent de définir une méthode de planification pour composer des services adaptés au contexte. La première comporte trois modules qui permettent de gérer le contexte. La deuxième permet de réceptionner la requête du client et les informations du contexte afin d'identifier des services candidats et générer les plans d'actions. Enfin, la dernière étape est la mise en œuvre des services choisis par le moteur d'exécution.

8 Efficience des solutions existantes et lacunes d'aujourd'hui

8.1 Comparaison des travaux

Afin d'identifier les lacunes d'aujourd'hui nous analysons dans la suite les apports des approches étudiées par rapport aux critères d'agilité précédemment identifiés. Cette comparaison doit nous permettre d'identifier les moyens à mettre en œuvre dans la définition de notre solution pour favoriser l'agilité des processus métier.

SBPM : Nous pouvons constater que la majorité des approches proposées ont intégré principalement des techniques de collaboration et communication pour améliorer l'agilité des processus. Ces chercheurs ont essayé d'intégrer la discussion entre les différentes parties prenantes du processus métier pendant la phase de modélisation et d'exécution. Dans le travail de [139], le socle de base est la participation volontaire des acteurs pour identifier les tâches ou les acteurs compétents pour satisfaire tout objectif émergent. Pour supporter l'exécution du processus, le travail de [181] supporte la communication et le partage de connaissances entre les différents acteurs en créant des groupes de discussion ou en posant des questions aux membres du processus. Par ailleurs, les réponses reçues sont visibles à tous les membres du processus. Trouver les moyens pertinents pour encourager les acteurs métier à participer dans la définition et l'exécution du processus reste une limite majeure de ces approches. En outre, la participation égalitaire des parties prenantes dans la définition et l'amélioration du processus afin de réduire le "model-reality-divide", est l'un des principaux objectifs de différentes approches proposées. Plusieurs modèles de processus peuvent être définis et ne pourront pas être acceptés et partagés par tous les acteurs. De plus, les modifications ouvertes et les contributions volontaires peuvent conduire à dévier le processus de son objectif initial. Une telle déviation ne peut pas être communiquée et utilisée par les experts pour réajuster le modèle de processus. En fait, SBPM est fondé sur l'idée que le groupe possède un nombre d'informations supérieur et de meilleure qualité que celui d'un individu seul peut générer. Des difficultés surgissent parfois, l'une des plus importantes tenant au fait que les participations

Tableau 1.4 – Efficience des méthodes de gestion agile de processus

		Agilité organisationnelle					Agilité technique		
		C1	C2	C3	C4	C5	$C'1$	$C'2$	$C'3$
SBPM	[33]		x			x			
	[87]		x			x			
	[64]		x	x		x			
	[104]		x			x			
	[60]		x			x			
	[137]		x	x		x	x		
	[162]		x	x		x		x	
	[181]			x	x		x	x	
	[139]		x	x	x			x	
SOA	[97]								x
	[136]								x
	[27]						x	x	
	[135]						x	x	
G-F-W	Worklets [8]						x		
	ADEPT [106]		x	x			x	x	
	WIO [40]					x		x	
	Case Handling [5]							x	
	VerFlexFlow						x	x	
	[151]						x	x	
	[40]						x	x	
	[110]						x	x	
	[28]						x	x	
	[2]						x	x	

ne sont pas contextualisées. Les outils de collaboration et de communication utilisés ne supportent pas l'échange des services personnalisés et la diffusion des informations pertinentes durant l'exécution du processus. Les informations relatives au run-time constituent une base pour évaluer la performance globale du processus et prendre les bonnes décisions opérationnelles. Malgré leurs importances, les approches proposées ne sont pas matures. Aucune d'elles n'a réussi à intégrer la notion de compétence en offrant le support adéquat pour extraire et exploiter les compétences pendant le cycle de vie de processus et principalement pendant son exécution. En effet, la valorisation des ressources humaines et la prise en compte de leurs compétences, sont des valeurs principales de l'agilité organisationnelle où la conception du travail, la manière dont les tâches et les missions sont partagées et coordonnées, dans les organisations agiles se veut fluide et flexible afin de privilégier la responsabilisation des acteurs impliqués et la concession d'une large autonomie.

Gestion flexible de workflows et SOA : nous pouvons constater qu'il y a une dissociation entre la structure du processus et l'aspect humain (les compétences) ce qui conduit à freiner et/ou obstruer l'adaptation au changement. L'objectif principal de l'émergence des approches orientées services et de gestion flexible de processus est d'améliorer la flexibilité de processus sur deux niveaux (structurel et fonctionnel) et selon deux phases : modélisation et exécution (à priori et à posteriori). La totalité des approches proposées sont orientées vers l'amélioration de l'agilité technique et principalement résoudre le problème de rigidité des processus en offrant la flexibilité nécessaire. Cette flexibilité permet de les faire évoluer rapidement et en cohérence comme l'exigerait l'évolution des besoins métier et les attentes du marché. Dans le travail de [27] la modélisation abstraite des processus en décrivant le contexte d'utilisation de chaque activité offre une flexibilité à posteriori en découvrant dynamiquement les services requis et adéquats au contexte pendant le run time. Ainsi, le travail de [135] avec ces deux types d'évolutions (planifiée et non planifiée) permet d'introduire une adaptation de la structure de processus ou de son contenu au niveau de l'instance de processus. Ce qui n'était pas pris en compte dans le travail de [110] et [40] qui ont introduit une flexibilité à priori au niveau de la structure du processus. Le principe consiste à anticiper toutes les alternatives possibles dès la phase de modélisation soit en utilisant des règles de transitions ([110]) ou avec des versions contextuelles ([40]). Nous constatons aussi que Worklets, ADEPT, WIO, Case handling et VerFlexFlow ne permettent que de traiter des changements conformes aux exceptions définies dès la phase de modélisation. Toutefois, si une exception n'est pas prise en considération, l'adaptation ne peut pas être effectuée pendant le run time. Au-delà de la flexibilité du processus, la SOA permet d'améliorer le système d'information de l'entreprise en offrant un couplage faible entre ses divers composants et une adaptabilité continue face au changement. Un de ses objectifs principaux est d'améliorer l'interopérabilité des systèmes (capacité des différents composants du système d'information de communiquer d'une manière transparente.). De ce fait, les entreprises peuvent faire interagir plusieurs composants de leur système d'information sans avoir besoin des efforts

particulier des utilisateurs des systèmes. Ce pendant toutes ces solutions restent dans la vision d'une représentation orientée activité et prescriptive des processus d'entreprise.

8.2 Synthèse

Nous avons souligné dans ce chapitre que l'agilité de processus est assurée selon deux niveaux. D'une part l'agilité de la structure se fonde sur l'utilisation des bons composants permettant de supporter la flexibilité du modèle. D'autre part, l'agilité des ressources humaines caractérisée par un meilleur engagement des équipes avec une forte responsabilisation, motivation, autonomie et une prise de décision décentralisée. Une prise en considération des différentes perspectives de l'approche processus dans la mise en place d'une solution agile améliorera clairement la gestion du processus. Cette dernière est fréquemment perturbée selon deux niveaux : niveau comportemental définissant la structure du processus (l'enchainement des activités mises en œuvre) et niveau organisationnel spécifiant les ressources humaines requises à son implémentation, le manque de spécification a priori et l'absence d'un outil support adéquat rendent le management difficile en termes de prévision de charges, d'allocation de ressources et d'adaptation de la structure. Ce manque de visibilité sur les compétences à mobiliser pour chaque activité est particulièrement critique pour certaines industries. Dans une entreprise agile, les ressources humaines ne sont plus considérées comme d'autres ressources utilisables dans l'entreprise mais qu'elles ont des ressources. Avec leurs capacités, aptitudes et attitudes, autrement leurs compétences, elles peuvent être à la fois ceux qui construisent le système, lui assurent une certaine permanence et lui permettent d'évoluer. La plupart des auteurs abordent le concept d'agilité sous un prisme particulier sans l'aborder dans sa globalité et la majorité des solutions proposées sont centrées fonctions et ne sont pas basées sur les capacités et l'intelligence humaine principalement valorisée par l'agilité organisationnelle. Malgré l'importance des deux dimensions d'agilité et leur complémentarité, il n'y a aucune approche qui combine les caractéristiques de deux dimensions pour supporter le cycle de vie de processus. Une importance particulière est accordée à l'agilité technique depuis plus d'une vingtaine d'année. Alors que la prise en considération de l'agilité organisationnelle date depuis l'année 2008 et les fonctionnalités des approches de SBPM ne sont pas encore finalisées dont certains caractéristiques de l'agilité organisationnelle ne sont pas entièrement intégrés.
De ces constats, découle l'objectif de notre travail de thèse, celui de proposer une méthode et un environnement permettant de prendre en considération toutes évolutions peuvent survenir pendant l'exécution du processus. L'objectif de notre travail est d'améliorer l'agilité des processus industriels et de procurer une visibilité accrue dans le domaine des opérations métier, tenant compte à la fois de la nature incertaine, imprévisible et dynamique de processus et de concept compétence. Nous soulignons l'importance d'entremêler les phases de conception et d'exécution pour assurer une adaptation continue du modèle de processus aux évolutions survenues.

9 Conclusion

Ce chapitre a permis de situer le contexte de notre travail. Nous avons fait un tour d'horizon sur l'approche processus, le besoin en agilité ainsi que les solutions les plus connues développées pour la supporter selon les deux dimensions identifiées : organisationnelle et technique. Nous avons présenté en premier lieu l'importance de la notion de processus métier, la pierre angulaire de la mise en œuvre d'un système d'information. La gestion de ces processus est assurée par la BPM. Cette dernière accompagne le processus dans sa démarche d'amélioration continue. La phase de pilotage récolte en effet un ensemble de données depuis la phase d'exécution afin de constituer des métriques permettant l'évaluation du processus implémenté. Ces données ensuite utilisées dans la phase de modélisation permettent de modifier et d'optimiser ces derniers. Un des objectifs de la démarche BPM est de réduire les difficultés rencontrées lors du passage entre la modélisation et l'exécution des processus. La séparation entre la vision métier et celle IT souffre toujours d'un manque de synchronisation et d'alignement. Les modèles de processus définis sont généralement trop simplistes, voire incohérents avec la réalité opérationnelle et deviennent utilisés comme des référentiels de connaissances. Nous avons pu observer que les approches proposées pour supporter la gestion des processus sont orientées vers les activités et leur ordonnancement ayant comme inconvénient d'être prescriptives. Même dans un environnement très structuré, il semble difficile, voire impossible, de représenter toutes les activités et toutes les séquences possibles dans un modèle de processus statique et figé. Face aux changements imprévus, les BPMS ne permettent de les intégrer qu'en redéfinissant les processus dès le début. Ceci explique l'intérêt croissant pour les recherches qui portent sur l'agilité des processus métier. La WfMC a publié une étude en 2007 en soulignant que 75% des enquêtés sont en train d'améliorer leurs processus existants.), 56% sont impliqués dans la refonte d'un processus jugé essentiel pour l'entreprise et 45% dans une modélisation de processus qui touche toute l'entreprise [128]. Ces statistiques soulignent la fréquence des changements organisationnels ainsi que la nécessité et l'urgence d'offrir des approches et des mécanismes assurant l'adaptation continue de processus.

L'agilité est la capacité d'avoir une organisation pouvant : agir efficacement face au changement, s'adapter rapidement et en permanence avec une durée de réaction la plus courte possible, identifier les opportunités offertes par ce changement, avoir une capacité d'anticipation et d'innovation et de bénéficier d'un apprentissage continu avec une forte optimisation et réduction des pertes. Nous avons étudié les différentes méthodes développées pour améliorer l'agilité. Ces méthodes agiles sont généralement décrites comme étant itératives, incrémentales, encourageant l'auto-organisation et s'adaptant au changement. Notre étude a révélé qu'il existe plusieurs manières de mettre en place une solution agile. En effet, l'agilité des processus peut être définie selon les diverses vues de l'approche processus. L'examen des travaux existants a montré la diversité des approches et des techniques utilisés. En outre, il a détecté certaines limites : d'une part, aucune des solutions étudiées ne s'intéresse à la vue organisationnelle de l'approche processus en fournissant l'outil adéquat

permettant de gérer le capital humain. La plupart des solutions présentées dans ce chapitre s'intéressent principalement à la vue fonctionnelle (la liste des composants à choisir pour définir le processus) et la vue comportementale (l'ordre logique d'exécution de ces composants). Une vue détaillée des solutions et approches qui supportent la mise en place d'une solution agile a souligné l'importance de l'approche service. La réactivité de service passe par la prise en compte de la notion de contexte tout au long de son cycle de vie. D'autre part, les approches développées pour améliorer l'agilité organisationnelle de processus s'intéressent principalement à la phase de modélisation de processus. Nous considérons qu'améliorer l'agilité de processus pendant son exécution est un point prépondérant dans le contexte actuel de travail collaboratif et émergent. Ainsi, une dissociation entre la dimension organisationnelle et fonctionnelle de processus conduit à une perte de contrôle du bon déroulement de processus. Pour faire face à cette problématique, nous avons examiné dans ce chapitre le concept d'agilité avec ses différentes dimensions. Notre choix s'est focalisé sur la dimension organisationnelle. En effet, l'agilité organisationnelle permet de supporter les processus métier en tenant en considération la dimension humaine et plus spécifiquement les compétences (la perspective organisationnelle de l'approche processus) qui sont rarement prises en considération dans les travaux étudiés.

Chapitre 2

Caractérisation de notre approche

Contents

1 Introduction 50

2 Cadre de travail de thèse 50

2.1 Positionnement de notre travail par rapport à l'état de l'art 50

2.2 Référentiel sur l'agilité organisationnelle 52

2.3 Cadre général de notre approche 54

3 Notre approche pour une gestion agile de processus . . 55

3.1 Objectifs 55

3.2 Architecture de l'approche 57

4 Conclusion 61

1 Introduction

Dans le chapitre précédent (chapitre 1), nous avons fait un tour d'horizon sur l'approche processus, le besoin en agilité ainsi que nous avons présenté les solutions développées pour supporter l'agilité des processus selon les deux dimensions identifiées : organisationnelle et technique. Notre étude a révélé qu'il existe plusieurs manières de mettre en place une solution agile. Certaines limites ont également été identifiées ; la plus importante à notre avis est qu'aucune des solutions étudiées ne s'intéresse à la vue organisationnelle de l'approche processus et en particulier ne couvre la gestion de compétences. La plupart des travaux étudiés se sont intéressés à la dimension technique de l'agilité. Nous proposons d'étudier la gestion agile des processus métier dans une perspective organisationnelle et complémentaire aux travaux sur l'agilité technique.

Le présent chapitre est consacré à la définition et la présentation des objectifs et caractéristiques de notre approche. Nos travaux ont pour objectif de gérer la réorganisation du processus pendant son exécution pour répondre à toute situation imprévue. Ce chapitre est organisé en deux parties. La première partie a pour objectif de présenter le cadre du travail en se référant à notre cadre conceptuel pour l'agilité organisationnelle afin de décliner les éléments clés d'une gestion agile du processus. Nous présentons dans la deuxième partie notre approche pour supporter l'agilité des processus métier. En marge de notre cadre conceptuel, a émergé la notion de compétence que nous mobilisons dans notre approche pour répondre à tout besoin de changement.

2 Cadre de travail de thèse

2.1 Positionnement de notre travail par rapport à l'état de l'art

Dans l'organisation, tous les processus peuvent être sujets à des perturbations. Nous parlons dans ce manuscrit d'un aléa ou un besoin de changement pour caractériser tous types de perturbations. Un aléa est défini dans le dictionnaire Larousse comme "un tour imprévisible et le plus défavorable pris par les événements et lié à une activité, action". Il s'agit d'événements qui affectent toutes les perspectives de l'approche processus présentées dans le chapitre précédent. Chacune de ces perspectives permet de décrire un aspect important des modèles du processus et peut être un objet du changement tout au long de son cycle de vie [143]. Dans le travail de [199], selon une étude qu'il a réalisé sur les travaux de [172] et [66], la gestion de l'incertitude et la réponse aux changements est devenue une préoccupation primordiale des organisations. Si la nécessité de gérer des changements n'est pas nouvelle pour l'entreprise, ce qui l'est davantage en revanche, c'est l'augmentation quasi-constante de la fréquence avec laquelle ces changements doivent être menés. Ceci explique l'intérêt croissant pour les recherches qui portent sur l'agilité. En effet, dans le but de répondre aux changements, l'agilité avec ses deux dimensions (i.e organisationnelle et technique)

permet d'agir sur toutes les perspectives du processus : (i) l'agilité technique agit sur la perspective informationnelle avec la résolution des différences syntaxiques et sémantiques et garantir l'interopérabilité d'entreprise, (ii) l'agilité organisationnelle permet d'agir au niveau de la perspective organisationnelle avec une mobilisation et restructuration dynamique de ressources et (iii) les deux dimensions (i.e organisationnelle et technique) agissent sur la perspective fonctionnelle, opérationnelle et comportementale avec une reconfiguration dynamique du processus.

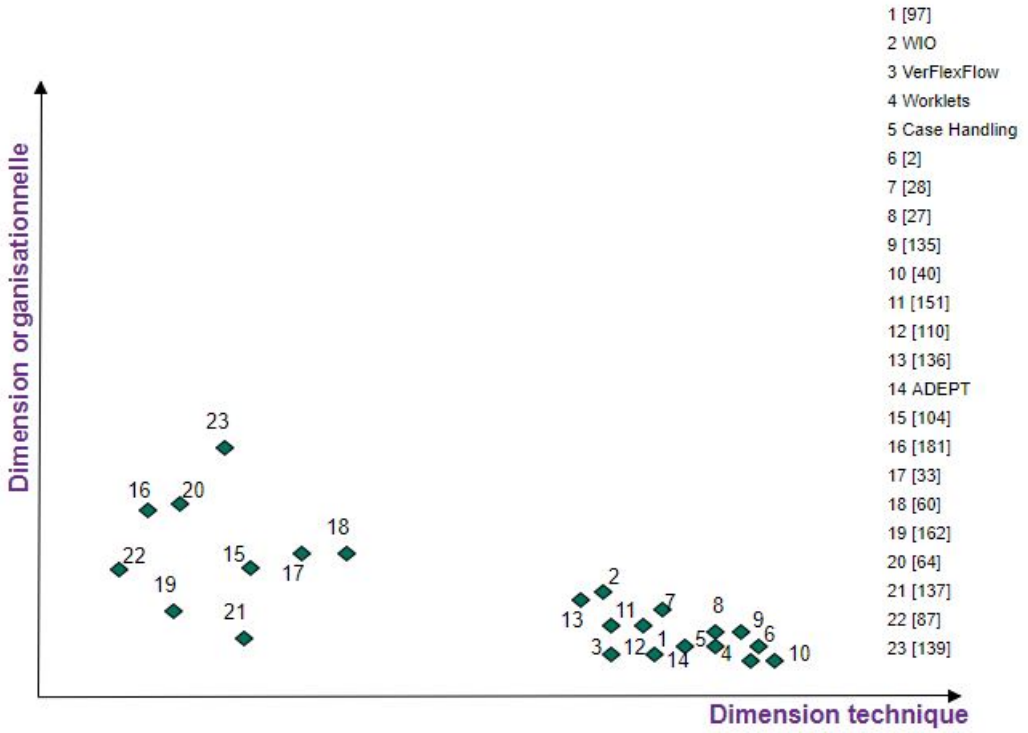


FIGURE 2.1 – Positionnement des approches de l'état de l'art

Comme souligné dans le chapitre précédent, l'agilité est étudiée selon deux domaines (i.e agilité d'entreprise et agilité du processus) et selon deux dimensions (i.e organisationnelle et technique). Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons à la gestion agile des processus. Malgré la diversité des approches développées pour aider les entreprises à améliorer leur efficacité et à devenir plus agiles, l'agilité des processus d'entreprise reste un vrai défi encore de nos jours. Dans la littérature, le concept d'agilité a été considéré sous un prisme particulier sans l'aborder dans sa globalité. La plupart des travaux se sont intéressés à la dimension technique (assurée par des langages de description, des systèmes d'exécution permettant de la reconfiguration dynamique, etc.). Des travaux récents s'intéressent aussi, toujours dans l'axe technique, à comment inférer et analyser des processus (notamment à partir de l'exploitation de données tracées, l'utilisation des techniques pertinentes comme le processus mining, etc.). Alors que la prise en considération de la dimension organisationnelle de l'agilité est encore peu étudiée aujourd'hui (voir la Figure 2.1). Nous proposons d'étudier la gestion agile des processus

métier dans une perspective organisationnelle. Nos travaux s'inscrivent dans une optique complémentaire aux travaux sur l'agilité technique en fournissant une approche et des mécanismes traitant de l'agilité organisationnelle des processus métier.

Aujourd'hui dans un contexte en forte évolution, rares sont les processus qui n'ont pas subi des modifications durant leur cycle de vie. En effet, les processus métier sont appelés à suivre l'évolution et à être plus réactifs aux changements fréquents. Dans ce cadre, la question est de savoir comment prendre en charge des changements qui interviennent en cours d'exécution du processus ? A notre connaissance il n'y a pas de travaux qui ont identifié les concepts clés de l'agilité organisationnelle dans le domaine de gestion de processus d'entreprise. Ce qui nous a conduit à proposer un cadre conceptuel sur l'agilité organisationnelle en s'appuyant sur les travaux étudiés. Ce cadre conceptuel [176], présenté brièvement dans la section suivante et plus en détails dans Annexe A, permet de caractériser et d'identifier les éléments clés caractérisant l'agilité organisationnelle.

2.2 Référentiel sur l'agilité organisationnelle

La plupart des travaux menés sur l'agilité organisationnelle se sont concentrés sur les descriptions théoriques de sa définition, concepts et principes. En fait, l'agilité n'est pas une solution ultime, mais un ensemble de concepts et de principes respectés dans l'entreprise. L'étude que nous avons menée précédemment et la somme des travaux que nous avons analysés nous ont permis de construire un cadre conceptuel sur l'agilité organisationnelle dans le domaine de la gestion du processus. Le concept d'agilité se présente comme la capacité à mettre en oeuvre des ajustements rapides et efficaces sans pour autant procéder à des changements intenses et déstabilisants. Le changement, le facteur déclencheur de la réponse agile, peut se produire dans l'environnement du travail interne (dirigés par la culture de l'organisation, les savoir-faire différenciateurs, les ressources humaines...) ou externe (les mutations des clients, les concurrents qui se développent, l'ouverture de nouveaux marchés, les partenaires, la nouvelle technologie, réglementation...).
La maîtrise du changement s'appuie fortement sur les capacités et l'intelligence humaine pour analyser et comprendre l'environnement dans lequel l'entreprise évolue. Quel que soit le type du changement, il doit être détecté grâce aux pratiques clés de l'agilité organisationnelle, à savoir :

- la collaboration (responsabilité globale et collective),
- la communication (échange de données),
- la coopération (poursuite d'un objectif commun),
- l'apprentissage organisationnel (processus collectif de développement et de modification des connaissances),
- et le suivi continu.

L'analyse et la compréhension de l'environnement implique une détection rapide du changement où il sera exploité pour développer une réponse réactive ; ou une anticipation du changement pour ne pas se laisser toujours à la recherche de la solution et être capable de faire face aux imprévus en développant une réponse proactive.

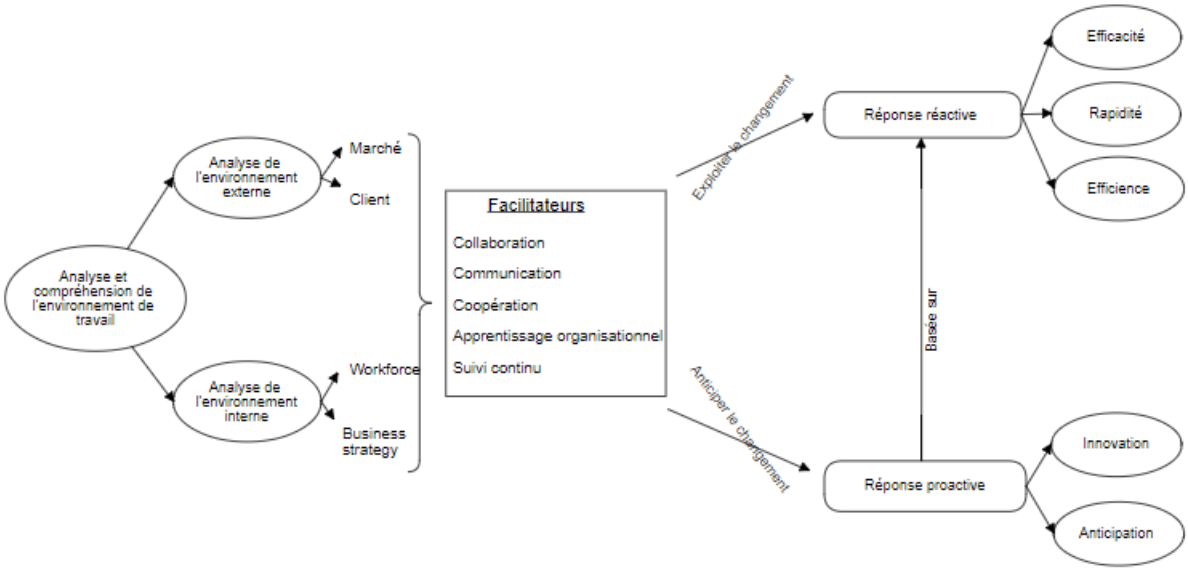


FIGURE 2.2 – Agilité organisationnelle

La réactivité relie les notions de détection et d'adaptation à la dimension temporelle. C'est la capacité d'un système à réaliser, dans le laps du temps le plus court possible, la détection de son inadéquation à l'environnement dans lequel il évolue et la mise en œuvre de l'adaptation nécessaire. Pour la caractériser, nous avons identifiés trois facteurs clés qui doivent être alignés (i.e synchronisés les uns avec les autres) :

- *Vélocité* : représente la différence entre le moment de détection du changement et le moment d'adaptation à la nouvelle situation. Elle se traduit par une réelle plasticité de l'organisation sur deux champs d'action : processus et ressources : (i) d'une part le processus doit doter de la flexibilité nécessaire pour adapter sa structure et son contenu selon les évolutions du métier et de l'environnement. (ii) Quant à l'adaptation de ressources humaines, elle est fondée sur la responsabilisation et la décentralisation de la prise de décision. Et l'utilisation de la technologie pour faire circuler l'information de manière instantanée et accélérer et amplifier la prise de décision.
- *Efficacité* : permet de mesurer la capacité des processus à évoluer en fonction du contexte afin de toujours satisfaire les objectifs. L'amélioration de la qualité des résultats obtenus par les processus suivis dépend de l'amélioration de la qualité des activités exécutées et des compétences allouées.
- *Efficience* : liée aux ressources et moyens utilisés pour assurer l'adaptation nécessaire. Elle repose sur des pratiques issues du Lean management (e.g gérer sans gaspillage...) et du management japonais (e.g flux tendu, juste à temps...).

La proactivité repose sur la capacité de lecture du marché, qui suppose une pos-

ture d'anticipation. Elle est basée sur les trois critères de la réactivité combinée avec une capacité d'anticipation et d'innovation.

- *Anticipation :* permet de réduire le temps entre observation et décision en transformant les changements en opportunités. Elle prévient une situation évolutive et l'exploite pour fournir un avantage compétitif.
- *Innovation :* l'anticipation du changement est suivie par le développement d'une réponse réactive qui suppose une posture d'innovation. La recherche d'innovation permet de créer de la valeur d'une part pour le client à travers une résolution proactive de ses problèmes et d'autre part pour l'entreprise avec le développement de compétences et la diffusion d'une culture d'amélioration continue.

2.3 Cadre général de notre approche

Comme le suggère le cadre conceptuel, plusieurs concepts soutiennent la dimension organisationnelle de l'agilité. Développer et maintenir ces concepts dépend du contexte dans lequel l'agilité est adoptée. Comme notre problématique est de traiter un besoin de changement dans un processus selon la dimension organisationnelle et en complémentarité de la dimension technique, nous proposons qu'une gestion agile du processus requiert la prise en compte des étapes suivantes :

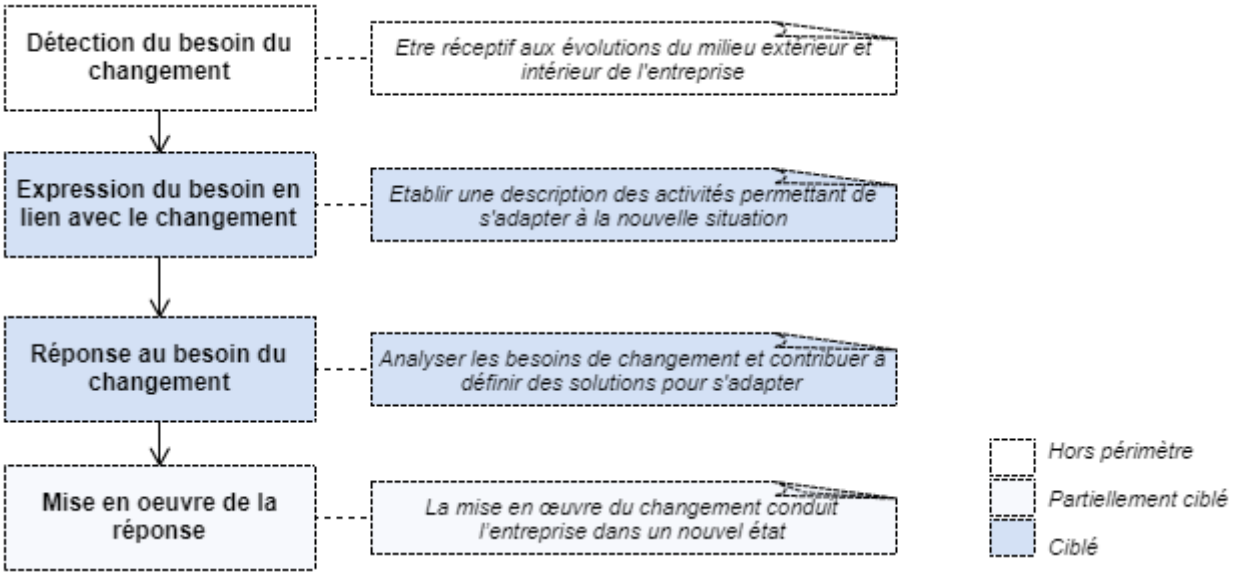


FIGURE 2.3 – Principales phases d'une gestion agile du processus

1. La première phase cible la détection du besoin du changement : Elle correspond à une modification qui s'opèrera au sein d'une organisation touchant tous les niveaux dans l'entreprise (technologique, fonctionnel, organisationnel...). Elle permet de diagnostiquer une divergence significative qui ne peut être traitée par le système en place et qui rend le système inadéquat vis-à-vis de son état

courant. Elle peut être réalisée d'une manière automatisée ou manuelle. Dans le cadre de nos travaux, cette phase n'est pas prise en compte.

2. Expression du besoin en lien avec le changement : a pour but d'établir une description des fonctions ou activités à accomplir pour assurer la transition d'un état initial à un nouvel état permettant de s'adapter au changement.
3. Réponse au besoin du changement : postérieure à la survenue d'un aléa ou un besoin de changement, vise à définir les actions nécessaires pour faire évoluer le système afin de redevenir pertinent.
4. Mise en œuvre de la réponse : consiste à mettre en place l'ensemble des actions définies dans l'étape précédente (i.e réponse) qui agira sur le système pour qu'il atteigne le nouvel état.

Dans le cadre de nos travaux, nous nous intéresserons essentiellement à la phase expression du besoin et réponse au changement et partiellement à la phase mise en œuvre de la réponse au changement. Notre travail s'inscrit dans une dimension réactive. Seuls les concepts de la dimension réactive de l'agilité organisationnelle sont pris en considération. Notre approche favorise et repose sur la responsabilisation des acteurs et leurs capacités de prise de décision. Comme présenté précédemment, la mise en place d'une organisation réseau au sein de l'entreprise favorise sa réactivité. Plusieurs éléments expliquent l'attrait de ce modèle organisationnel : (i) une accélération dans la prise de décision dans la mesure où les décisions sont prises par l'opérationnel, des décisions guidées par l'action. (ii) une motivation des employés ayant une grande connaissance de leur environnement du travail et donc une efficacité dans la recherche de solution initiée par l'employé : Adaptation pour l'action. Par exemple, ce mode d'organisation a été adopté chez Air Liquide et a entraîné la suppression de plusieurs niveaux hiérarchiques intermédiaires apportant plus de souplesse et de réactivité à son fonctionnement.

Notre travail est inspiré du système de recherche d'information. Ainsi, les acteurs prennent l'initiative et sont responsables de l'expression du besoin en lien avec le changement. Ce besoin exprimé par l'acteur est le point de départ de notre approche. Après avoir définir le contexte général de nos travaux, nous procédons maintenant à la présentation de notre approche.

3 Notre approche pour une gestion agile de processus

3.1 Objectifs

Pour répondre à toute situation imprévue survenue pendant l'exécution du processus, nos travaux ont pour objectif de :

- Entremêler la modélisation et l'exécution du processus pour l'adapter à la nouvelle situation survenue pendant son exécution. Toute évolution au niveau métier résultant d'un changement des attentes de clients, d'une nouvelle réglementation ou d'une exception doit être prise en compte. Pour cela, comme

nous avons souligné dans notre cadre conceptuel pour l'agilité organisationnelle, les processus métier doivent être flexibles. La flexibilité des processus est définie comme étant la déclinaison technique de la notion d'agilité [46]. Un processus est considéré flexible s'il est possible de localiser les éléments impactés ce qui permet d'agir directement sur ceux-ci tout en gardant la stabilité des autres parties du processus. Dans notre contexte, par défaut c'est une adaptation au niveau instance du processus pour supporter les changements ad-hoc. La validation de ces changements sur le modèle du processus correspondant est sous la responsabilité de l'expert du processus (voir chapitre 5).

- Supporter la diffusion de l'information pendant l'exécution du processus pour prendre la bonne décision au bon moment. Dans le travail de [174], ils ont souligné que les réseaux internes permettent de réduire les freins liés à la hiérarchie et d'ouvrir l'organisation à son environnement. Nous proposons d'avoir une structure basée sur l'autogestion (les employés sont autonomes) et sur la décentralisation de la prise de décision qui sont des principes valorisés par l'agilité organisationnelle.
- En marge de notre cadre conceptuel pour l'agilité organisationnelle, a émergé la notion de compétence que nous mobilisons dans notre approche. La capacité de gérer les compétences et l'expérience des acteurs représente un facteur clé pour faire face à l'incertitude de l'environnement du travail. Notons qu'il est difficile voire impossible pour un opérateur humain et même pour un expert du domaine de résoudre le problème de sélection et d'allocation des ressources adéquates. Pour ce faire, il doit y avoir un moyen systématique permettant d'identifier les acteurs adéquats pour réussir l'exécution des activités émergentes et vérifier si un acteur possède une compétence particulière. Un tel moyen doit permettre de capitaliser et donner l'accès à la bonne information selon les besoins de recherche d'expertise.

Ces objectifs, que nous nous sommes fixés, entrent dans le cadre d'une approche de gestion agile de processus. La position des ressources humaines est déterminante pour notre approche où le volet gestion des compétences est retenu comme l'un des piliers prioritaires de la stratégie de toute organisation agile. Ce sont les ressources humaines sur lesquelles vont s'appuyer les processus de résolution des aléas. Ces dernières ont une capacité à s'organiser en structure autonome construite par l'ensemble de toutes les compétences disponibles dans l'entreprise. Ce type d'organisation permet d'apporter une grande précision dans les affectations des différents acteurs. Le scénario d'exécution dicte qui devrait être impliqué et qui est la personne adéquate pour répondre à tout besoin émergent. Un processus dans notre contexte peut avoir une ou plusieurs activités non définies pendant sa modélisation. Ces activités sont émergées pendant la phase d'exécution et doivent être intégrées pour adapter le processus au nouveau contexte qui permet de réduire l'écart entre ce qui est modélisé et ce qui est réellement effectué.

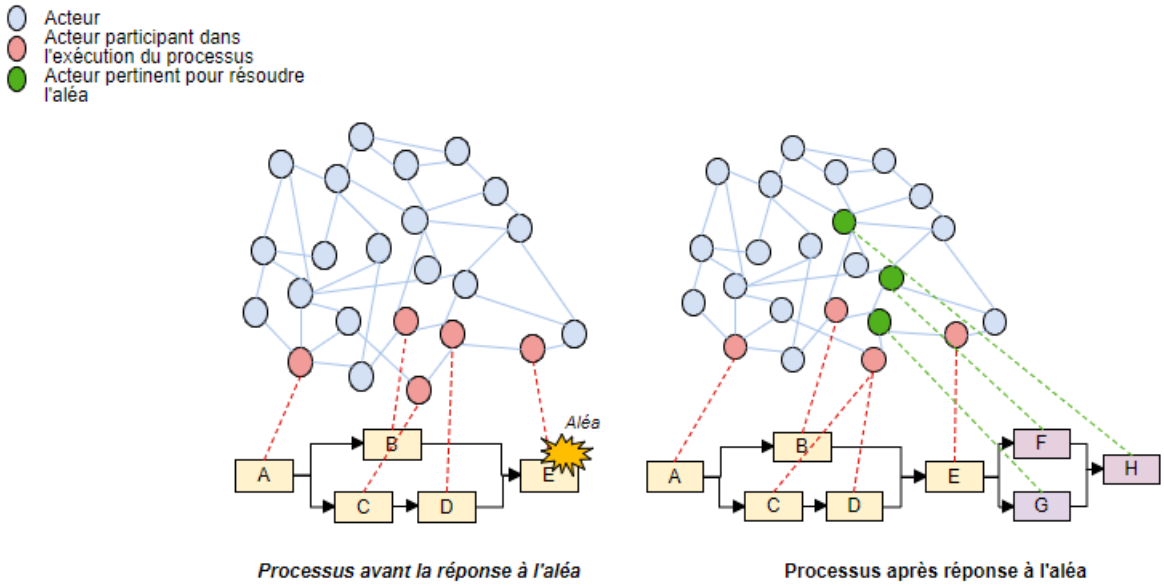


FIGURE 2.4 – Notre approche pour une gestion agile de processus

3.2 Architecture de l'approche

Afin d'exploiter les compétences de l'organisation, nous proposons de les annoter sémantiquement pour faciliter leur accès et augmenter la pertinence des réponses aux besoins. Il faut noter que dans un environnement d'échange de compétences, plusieurs défis peuvent exister. D'une part, l'identification de compétences pose des problèmes d'hétérogénéité de description, d'évaluation, d'extraction... et d'autre part les besoins des acteurs sont différents et dépendent du contexte d'utilisation. Dans le cadre de notre travail, ces aspects sont pris en considération. L'identification des compétences pour satisfaire tout besoin émergent se fait selon deux étapes. D'une part, la recherche des compétences permet de comparer le besoin et les compétences à fournir. Elle est indépendante de caractéristiques de compétence sélectionnée et de statut du fournisseur (i.e acteur) correspondant. De l'autre part, le déploiement de compétence dépend de plusieurs critères que nous appelons des critères non-fonctionnels permettant de personnaliser les contributions et satisfaire le besoin émergent. Nous considérons que le déploiement de compétence dépend du contexte d'exécution. Parfois, un besoin critique de recherche d'expertise requiert une mise en pratique rapide d'une compétence donnée (dans ce cas la disponibilité est le plus important critère). Dans un autre temps, le niveau de maitrise est un critère incontournable dans la réalisation des activités pour des clients exigeants. A titre d'exemple, un temps d'attente est toléré pour affecter la demande à un expert (dans ce cas la qualité du résultat est plus importante que la disponibilité). Ainsi, pour sélectionner l'acteur adéquat, nous avons besoin de construire le modèle des préférences de l'utilisateur (i.e l'acteur qui a exprimé le besoin de recherche de compétences). Ce modèle de préférences peut être traduit par des poids d'importance attribués à chacun des critères que nous jugeons pertinents dans la sélection finale des acteurs. Pour ces fins, nos travaux sont basés sur deux filtres : (i) le premier filtre permet d'automa-

tiser le passage de la déclinaison de la demande à l'identification d'une ou plusieurs compétences. (ii) L'utilisation des préférences du demandeur permet d'affiner cette liste et de sélectionner l'alternative adéquate (i.e l'acteur adéquat). L'architecture de notre approche comporte trois niveaux comme le montre la Figure 2.5.

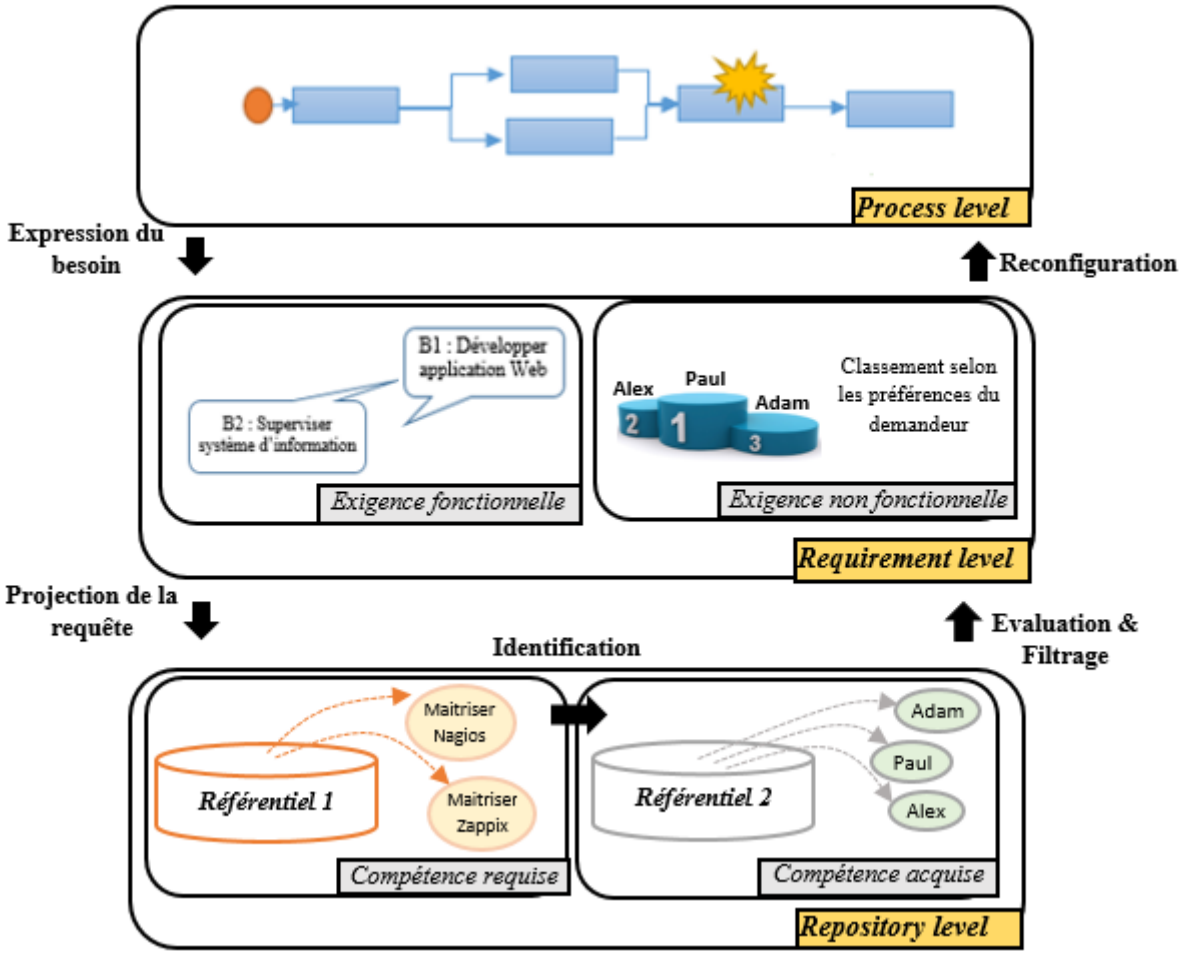


FIGURE 2.5 – Architecture de notre approche

- *Process level* : constitue une représentation haut niveau des processus métier. Elle est indépendante des aspects techniques. Un processus dans notre contexte peut avoir une ou plusieurs activités non définies pendant sa modélisation. Ces activités sont émergées pendant son exécution et doivent être intégrées pour adapter le processus au nouveau contexte. L'adaptation est par défaut établie au niveau instance.
- *Requirement level* : contient la spécification des besoins du demandeur. Nous allons découvrir dans le chapitre 3 que chaque besoin de recherche de compétences exprimé contient deux éléments essentiels (exigence fonctionnelle et exigence non fonctionnelle). L'exigence fonctionnelle permet d'associer pour le besoin correspondant toutes les compétences candidates à sa satisfaction. Pour affiner encore le résultat, l'utilisation de l'exigence non fonctionnelle

permet d'améliorer la réactivité de processus de sélection en intégrant les préférences de l'utilisateur et retournant la meilleure alternative pour chaque compétence requise.

- *Repository level* : La méthode de définition de compétence adoptée dans notre approche est par caractérisation. Elle permet de définir la compétence à travers des éléments formalisables, évaluables et stockables dans des référentiels [7], [85]. Nous avons défini le niveau référentiel pour contenir la définition du référentiel de compétence. Bien que les pratiques des entreprises soient différentes, le schéma général de la gestion de compétences nécessite de distinguer deux niveaux de compétences [58] : (i) la compétence requise n'est pas liée à la dimension individuelle. C'est une compétence abstraite nécessaire à la réalisation des activités constituant le cœur métier de l'entreprise. (ii) La compétence acquise est liée à un individu et dépend de son niveau de maitrise. De ce fait, le niveau référentiel contient deux types de référentiels : celui issu de la spécification de compétences requises qui dépend du domaine considéré et celui issu de la définition des profils d'acteurs. Le profil d'acteur est défini dans le cadre de notre travail comme étant l'ensemble des compétences acquises qualifiées.

Pour résumer cette architecture, l'identification de compétences et l'adaptation du processus à la nouvelle situation se compose principalement de deux étapes principales. Chacune de ces étapes est décrite dans la suite :

1. *Recherche de compétence :* permettant de trouver toutes les alternatives (i.e acteurs) possibles en se référant aux deux référentiels. Cette étape est composée de trois sous étapes :
   (a) *Expression du besoin :* Cette étape nécessite un modèle de représentation du besoin de l'utilisateur, appelé modèle de requête (présenté dans le chapitre 3). Nous représentons la requête par un couple (EF, EnF) reflétant l'exigence fonctionnelle (EF) et l'exigence non fonctionnelle (EnF) de l'utilisateur.
   (b) *Projection :* Pour chaque requête, une ou un ensemble de compétences requises lui sera associée. Cette étape est basée sur l'utilisation de mesure de similarité qui est utilisée dans le cas où au moins un des éléments de la requête est couvert par les ressources sémantiques utilisées pour annoter les compétences requises figurant dans le premier référentiel.
   (c) *Identification :* Une fois les compétences requises sont spécifiées, l'étape suivante consiste à identifier les acteurs pertinents. Ce qui fait l'objet de l'utilisation du deuxième référentiel. Il faut noter que le profil de chaque acteur est indexé par les mêmes ressources sémantiques utilisées pour indexer les compétences requises.
2. *Déploiement de compétence :* Nous allons découvrir dans le chapitre 5 que le problème de déploiement de compétence s'apparente à un problème d'optimisation multicritère. Deux sous étapes sont définies :
   (a) *Evaluation & Filtrage :* Afin de fournir un déploiement optimal de compétences, nous étudions les informations contextuelles qui sont à

considérer au moment de la sélection de compétences. Nous utilisons une méthode d'aide à la décision. Cette méthode permet d'évaluer l'importance de chaque critère dans l'atteinte de l'objectif, d'évaluer le poids total à attribuer à chaque alternative et de sélectionner la meilleure alternative pour satisfaire les préférences de l'utilisateur.

(b) *Reconfiguration dynamique :* Durant l'exécution, l'adaptation est parfois déclenchée au moment où la sélection finale des acteurs est établie. Dans le cadre de notre travail, l'adaptation établie est par défaut au niveau instance. Elle consiste à identifier et à intégrer les activités émergentes. Des actions d'adaptation sont définies en se référant aux travaux traitant de l'agilité technique du processus. La validation de l'application de ces actions d'adaptation sur le modèle du processus correspondant est sous la responsabilité de l'expert du processus.

Les différentes étapes de notre approche sont détaillées dans la suite de ce manuscrit qui est structuré de la manière suivante :

Nous introduisons dans le chapitre 3 les techniques et méthodes de construction du premier référentiel de compétences que nous mobilisons dans notre approche pour identifier les compétences requises. Il faut noter que les problèmes de construction de référentiel de compétences sont liés au vocabulaire d'entreprise. 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 terminologique et seule sa résolution peut rendre le référentiel de compétences requises consensuel, cohérent et partageable. Ces raisons nous conduisent à la proposition d'utiliser une approche ontologique pour construire le premier référentiel. Cette ontologie contient un ensemble de concepts et de relations associés modélisant les fonctionnalités requises et couvertes par l'entreprise. Nous présentons dans ce chapitre, le processus d'extraction de compétences qui est initié par la demande définie par l'utilisateur sous la forme d'une requête. La découverte est basée sur la recherche de description de compétences dans l'ontologie et repose sur une comparaison entre mots clés.

Dans le chapitre 4, nous introduisons le mécanisme que nous avons adopté pour construire le deuxième référentiel de compétences. Nous avons adopté l'approche de Galois pour représenter les compétences acquises (i.e le deuxième référentiel permettant de définir le profil de chaque acteur). Une fois les compétences requises spécifiées, l'étape suivante consiste à identifier les acteurs pertinents. Ce qui fait l'objet de l'utilisation du treillis de Galois. Il faut noter que le profil de chaque acteur est indexé par les mêmes ressources sémantiques utilisés pour indexer les compétences dans l'ontologie.

Nous présentons par ailleurs dans le chapitre 5 la méthode que nous exploitons pour déployer les compétences. Ce chapitre, considère le résultat fourni par le chapitre 4 pour assurer un déploiement optimal de compétences qui comporte les deux dernières étapes de notre approche (i.e évaluation & filtrage et reconfiguration). Nous allons découvrir dans ce chapitre que le problème de déploiement s'apparente à un problème d'optimisation multicritère. Pour évaluer la pertinence de chaque

alternative vis-à-vis des préférences du demandeur, nous avons opté à utiliser la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process). Cette méthode permet d'intégrer le jugement de l'utilisateur en organisant ses préférences intervenant dans la prise de décision.

4 Conclusion

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre précédent, la revue de la littérature a montré que la majorité des travaux sont orientés activités et la dimension organisationnelle du processus est mal prise en compte dans la gestion du processus. Pour faire face à cette problématique, notre choix s'est focalisé sur la dimension organisationnelle de l'agilité. En effet, l'agilité organisationnelle permet d'agir sur la structure et l'organisation du processus. Le manque de travaux existants pour utiliser les caractéristiques de l'agilité organisationnelle (AO) en gérant les processus métier nous a conduit à proposer un cadre conceptuel pour l'AO [176]. Dans lequel, nous avons souligné que l'incertitude impose deux capacités : la nécessité de l'anticiper pour s'y préparer et réagir plus vite au moment venu et de l'exploiter en améliorant les capacités de réaction pour l'intégrer facilement. Nos travaux s'inscrivent dans le cadre d'une dimension réactive.

Nous avons présenté dans ce chapitre, les objectifs et caractéristiques de notre approche. Cette approche permet de combler les lacunes identifiées dans notre état de l'art en considérant la notion de compétence une dimension de la gestion du processus. Une gestion dynamique de processus consistera à prendre en compte toute situation imprévue pouvant survenir pendant la phase d'exécution en rendant précis où il faut agir et les objectifs auxquels il faut parvenir et en sélectionnant puis en mettant en œuvre les moyens qui permettront de les atteindre. Nous présentons une approche dynamique qui recherche à supporter les changements pendant l'exécution du processus et mobiliser la/les bonnes compétences. La méthode de définition de compétence adoptée est par caractérisation. Elle permet de définir la compétence à travers des éléments formalisables, évaluables et stockables dans des référentiels. L'identification de compétence pour satisfaire tout besoin émergent se fait selon deux étapes. D'une part, la recherche de compétences permet de comparer le besoin et les compétences à fournir. De l'autre part, le déploiement de compétences dépend de plusieurs critères dits non-fonctionnels permettant de personnaliser les contributions. En effet, l'importance de chaque critère (exigence) est variable selon le contexte d'exécution.

Ce chapitre clôt ainsi le cadre de réflexion de ce travail de thèse. Les chapitres suivants ont pour objectif d'illustrer les étapes permettant la mise en œuvre de l'approche que nous avons proposée dans ce chapitre.

Chapitre 3

Annotation et sélection de compétences requises

Contents

1 Introduction 63

2 Expression du besoin 64

2.1 Rôles principaux 64

2.2 Informations à fournir lors de l'expression du besoin . . . 64

2.3 Spécification de la sémantique du besoin 66

3 Recherche de compétences 69

3.1 Référentiel de compétences requises : RCR 71

3.2 Sélection de compétences requises à partir de l'ontologie de compétences requises 81

4 Conclusion 91

1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de détailler les deux premières étapes de notre approche ; (1) *l'expression du besoin* en lien avec le changement et (2) *la recherche de compétences requises* pour répondre au besoin.

Pour suivre nos objectifs et répondre à notre problématique d'adaptation du processus au changement tirée par les compétences, il nous faut un système d'expression du besoin ainsi qu'un processus de recherche qui permet de sélectionner les compétences pertinentes au besoin exprimé. Ce processus doit permettre d'une part l'identification des compétences requises et d'autre part la sélection des acteurs disposant de ces compétences.

Le système d'expression du besoin est présenté dans la section 2. Nous y précisons qui est le responsable de la détection et la diffusion de l'information lors de la survenue d'un aléa ou un besoin de changement, quelles sont les informations nécessaires pour assurer l'adaptation du processus au changement et comment le besoin doit être formulé pour générer la liste des compétences requises.

Quant au processus de recherche de compétences requises (CRs), il est introduit dans la section 3. L'élaboration de ce processus de recherche de CRs pose des problèmes liés tant à la modélisation qu'à la localisation de compétences pertinentes. Pour cela, nous introduisons le formalisme que nous avons adopté pour modéliser les compétences requises et la démarche suivie pour les localiser. Une illustration de la démarche est proposée à la fin de la section 3 avant de conclure ce chapitre dans la section 4.

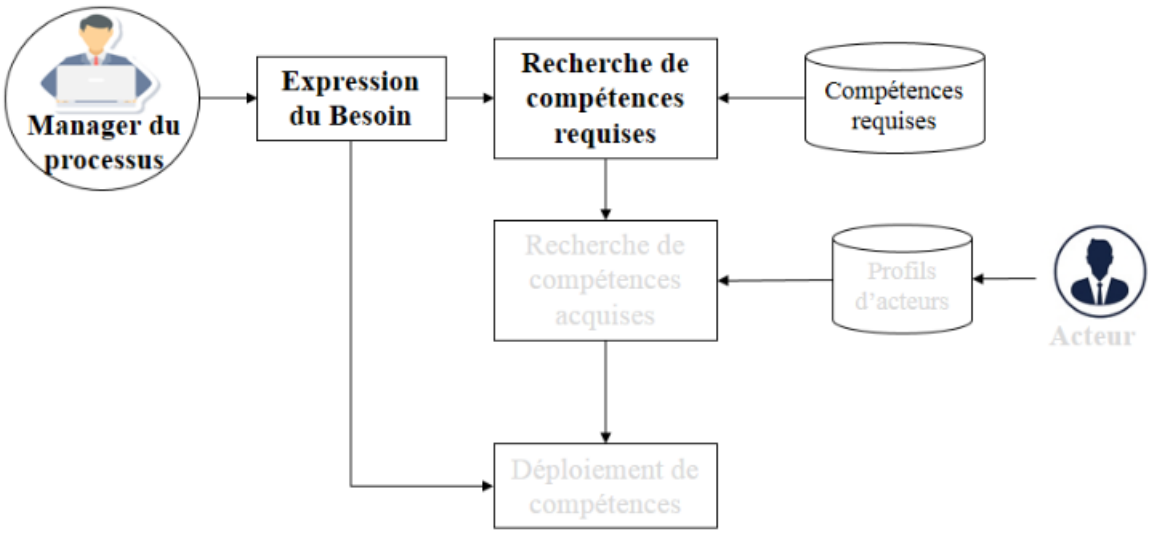


FIGURE 3.1 – Etapes principales de notre approche

2 Expression du besoin

Comme nous l'avons annoncé dans le chapitre 2, *l'expression du besoin* (i.e la première étape de notre approche) a pour but d'établir une description des fonctions ou activités à accomplir pour assurer la transition du processus d'un état initial à un nouvel état. Avant d'entrer dans les détails de cette étape, nous introduisons dans la section suivante les rôles nécessaires à l'adaptation du processus au changement.

2.1 Rôles principaux

L'adaptation du processus au changement selon notre approche favorise et repose sur (i) la responsabilisation des acteurs et leurs capacités de prise de décision et (ii) leurs expertises pour l'exécution des processus et la résolution des aléas. Compte tenu de ces concepts clés d'une organisation agile [176], deux rôles sont définis :

- **Le rôle du manager du processus :**
  Il a suffisamment de connaissances sur le processus. Il peut gérer ou participer à l'exécution du processus. Lors de la survenue d'un aléa ou d'un besoin de changement, il sera le responsable de l'expression du besoin pour assurer l'adaptation du processus au nouveau contexte d'exécution.
- **Le rôle d'Acteur :**
  Il est en charge de l'exécution d'une ou plusieurs activités dans un processus. Il peut être sollicité pour résoudre un problème identifié par le manager du processus. S'il a les connaissances suffisantes sur le processus, il peut être le responsable de l'expression du besoin. Il peut être aussi le manager du processus.

Le manager du processus interroge le système de recherche de compétences (SRC) en exprimant son besoin. Le besoin exprimé peut être imprécis, il s'ensuit que les compétences requises sont a priori inconnues par le manager du processus. Le système de recherche de compétences doit associer, pour chaque besoin exprimé, la liste des compétences requises et identifier les acteurs pertinents susceptibles de les implémenter. Un acteur pertinent (ou expert), un terme utilisé dans le cadre de notre travail, est tout acteur disposant au moins d'une compétence requise pour assurer l'adaptation du processus au changement. Il est sélectionné en se référant à son profil. La définition du profil d'acteur consiste à identifier les compétences qu'il maitrise et à les évaluer afin de pouvoir exploiter au mieux le potentiel de chaque acteur.

Nous spécifions dans la section suivante les informations nécessaires pour assurer l'adaptation du processus au changement. Ces informations doivent être renseignées au moment de l'expression du besoin par le manager du processus mais sont utilisées dans l'étape de *recherche de compétences requises* et l'étape de *déploiement de compétences* comme l'illustre la figure 3.1.

2.2 Informations à fournir lors de l'expression du besoin

L'expression du besoin est une étape cruciale dans notre approche et engendre des répercussions sur le déroulement des étapes suivantes et d'identification des

compétences. Les problèmes d'association du besoin du manager du processus à la liste des acteurs pertinents sont de deux sortes :

- des problèmes liés au manager du processus : sa capacité à déterminer et à exprimer son besoin. La conséquence est que le besoin exprimé peut être qu'une description partielle de son besoin.
- des problèmes liés au système de recherche de compétences : essentiellement sa capacité à identifier pour chaque compétence requise l'acteur pertinent qui répond au mieux au besoin du manager du processus. En effet, le besoin exprimé a pour objectif de résoudre un aléa ou de satisfaire un besoin de changement survenu au moment de l'exécution du processus. La résolution de l'aléa permet d'associer à chaque besoin exprimé une liste des acteurs pertinents susceptibles d'implémenter les compétences requises. Plusieurs alternatives [1] pour chaque compétence peuvent être identifiées. L'existence de ces différentes alternatives pour chaque compétence complexifie davantage le problème de sélection des acteurs. Nous voulons associer une seule alternative pour chaque compétence requise. Ceci conduit à prendre des décisions relatives non seulement à la sélection des acteurs mais également à la sélection de l'alternative adéquate. Ainsi, deux types d'association peuvent se distinguer en générant la liste des acteurs pertinents :
  - association exacte : où un acteur est jugé pertinent s'il dispose au moins d'une compétence requise. Le résultat est d'avoir plusieurs alternatives (i.e acteurs) pour chaque compétence requise. Le manager du processus peut intervenir à ce moment pour sélectionner la meilleure alternative pour chaque compétence requise.
  - association avec classement : où un poids est attribué à chaque acteur pertinent en fonction des critères qui peuvent intervenir dans la décision finale du manager du processus. Les différentes alternatives sont alors ordonnées et la meilleure est sélectionnée sans besoin d'une intervention de la part du manager du processus.

Nous voulons réduire les interactions entre le système de recherche de compétences et le manager du processus. De ce fait, le deuxième type d'association (i.e association avec classement) est considéré dans le cadre de notre travail. Pour cela nous avons besoin de deux éléments pendant la phase d'expression du besoin pour répondre aux problématiques citées. Le premier élément permet de spécifier la sémantique du besoin du manager du processus. Le deuxième élément est le modèle de préférences construit à partir des questions posées au manager du processus par le système d'expression du besoin. Ce modèle de préférences permet de filtrer le résultat retourné par le système de recherche de compétences vis-à-vis du besoin du manager du processus.

La spécification de la sémantique du besoin du manager du processus dépend de ses connaissances. Pour lui simplifier la tâche et accélérer la diffusion de l'information et la prise de décision, nous proposons de définir le besoin sous la forme d'une

[1] les acteurs susceptibles de réaliser une compétence requise sont considérés comme alternatives pour la même compétence

requête. Par analogie aux systèmes de recherche d'information [192], [155] la requête peut être décrite : par des listes de mots clés [154], [147], en langage booléen [30] ou en langage naturel [57]. Les capacités de formulation de requête booléenne sont bien adaptées au contexte où le manager du processus a une idée précise de ce qu'il cherche et connaît bien le langage d'indexation du système. Dans notre travail, nous avons choisi une formulation en langage naturel. Le langage naturel est le langage qui est parlé ou écrit pour communiquer. Ce qui permet de faciliter la tâche au manager du processus et en fait le moyen le plus simple et direct pour communiquer et exprimer ses besoins ou la perception d'un problème. Dans ce cas, le système de recherche de compétences offre des techniques et outils permettant de localiser la réponse pertinente relativement à la requête en langage naturel.

En se basant uniquement sur la sémantique du besoin exprimé sous la forme d'une requête, il ne serait pas possible de répondre au deuxième problème lié au système de recherche de compétences (la sélection de l'alternative adéquate pour chaque compétence requise). Nous considérons que le jugement de la pertinence de chaque alternative est spécifique à chaque manager du processus et au contexte d'exécution. L'enjeu principal réside dans l'identification des informations contextuelles qui peuvent affecter la réponse au besoin du manager du processus et traduire ses préférences. L'expression des préférences du manager du processus nous sert à construire un modèle de préférences qui va être exploité dans la sélection des alternatives adéquates pour chaque compétence requise. Nous aborderons plus en détails ces notions d'informations contextuelles et de modèle de préférences dans le chapitre 5. Retenons juste que lors de l'expression de son besoin, le manager du processus définit sa requête par deux éléments :

1. il spécifie la sémantique de son besoin. Ce qui sera l'entrée principale du système de recherche de compétences permettant de rechercher les compétences requises et de générer la liste des acteurs pertinents.
2. il répond à des questions qui lui sont posées par le système d'expression du besoin. Ses réponses sont utilisées pour déduire son modèle de préférences qui est considéré comme entrée supplémentaire dans la sélection finale des acteurs (i.e *déploiement de compétences*).

Nous nous focalisons, dans ce chapitre, sur la recherche de compétences ; plus précisément sur **la recherche de compétences requises**. Pour cela que la spécification de **la sémantique du besoin** du manager du processus est utilisée et elle est détaillée dans la section suivante.

2.3 Spécification de la sémantique du besoin

Le but que le manager du processus cherche à atteindre en spécifiant sa requête est de solliciter les acteurs pertinents pour résoudre l'aléa. L'élément de la requête qui véhicule la sémantique de son besoin est appelé *Exigence Fonctionnelle (EF)* dans le cadre de notre travail. Nous avons proposé d'utiliser le langage naturel pour formuler *l'EF* de la requête. Par analogie au modèle vectoriel [154], nous représentons *l'EF*

de la requête sous la forme d'un vecteur de termes. Ceci est noté :

$$EF = \{t_i\} \in V \quad avec \quad i \in \{1...s\} \tag{3.1}$$

où s est le nombre de termes t_i dans EF. L'EF peut être exprimée en général à travers une phrase ou un paragraphe. Pour pouvoir satisfaire l'EF, nous avons besoin de l'indexer pour accélérer le processus de recherche de compétences requises. L'indexation est un processus permettant d'extraire de $l'EF$, une représentation qui couvre au mieux son contenu sémantique. Le résultat de l'indexation constitue le/les concept(s) représentatif(s) de $l'EF$. Chaque concept représentatif est un terme ou ensemble de termes significatifs pour l'exigence fonctionnelle du manager du processus.

Pour cela, trois étapes primordiales doivent être suivies comme l'illustre la Figure 3.2 :

- segmenter la requête entrée par le manager du processus pour identifier ses différents composants. Ce qui correspond au rôle du décomposeur de la requête permettant d'identifier les frontières entre les mots, et donc de découper les phrases en mots.
- trouver la nature grammaticale de chaque élément de la requête. Ce qui correspond au rôle de l'analyseur grammatical permettant de générer une liste d'éléments étiquetés de la requête. Ces étiquettes peuvent être : S (sujet), VC (verbe conjugué), Adj (adjectif)...
- identifier les concepts représentatifs de la requête qui couvrent au mieux son contenu sémantique. Nous supposons que les concepts représentatifs sont sous forme canonique. En ingénierie linguistique, la recherche de la forme canonique d'un mot correspond à sa lemmatisation [118]. La lemmatisation est l'opération qui permet de trouver la forme neutre d'un mot, par exemple, un nom au pluriel sera mis au singulier et un verbe conjugué sera mis à l'infinitif. Les concepts représentatifs sont formés par mots sous forme canonique. Pour cela, nous avons distingués les deux formes suivantes :
  1. Forme 1 : Verbe à l'infinitif + cible
  2. Forme 2 : Groupe nominal

Si le manager du processus a suffisamment de connaissances pour définir les activités ou fonctionnalités requises à la résolution de l'aléa, la formulation du concept représentatif est sous la Forme 1. Cette approche inspirée de la grammaire des cas de Fillmore [72] et des extensions de [62] se fonde sur le fait que la sémantique d'un objectif est capturée par un verbe et des paramètres. Nous avons adopté une formulation minimaliste qui comporte un verbe et un paramètre cible. Ce qui correspond à un concept représentatif de type *besoin spécifié*. *Superviser un système d'information*, *développer une application web*, *concevoir une structure CAO* sont des expressions minimales de besoins spécifiés assises sur le verbe et la cible.

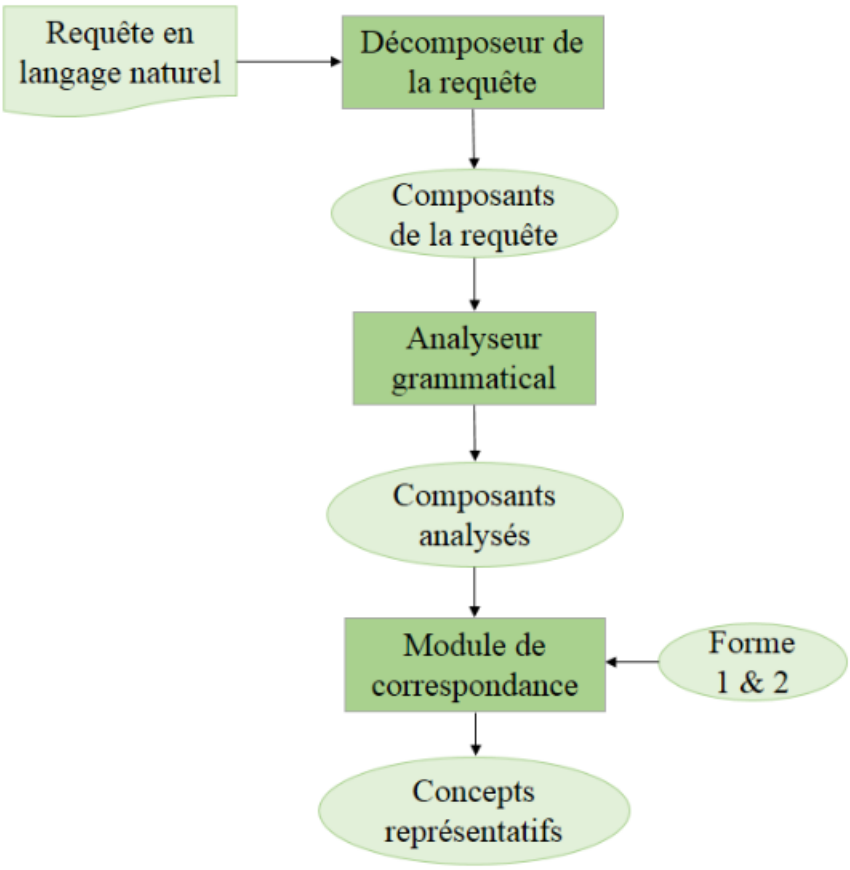


FIGURE 3.2 – Identification des concepts représentatifs de la requête

D'autre part, le rôle du manager du processus peut être réduit à une description objective de la situation rencontrée. Les compétences requises à la résolution de l'aléa ou la satisfaction du besoin du changement sont à priori inconnues par le manager du processus. Le concept représentatif dans ce cas est de type *besoin non spécifié* et il est sous la Forme 2 (formé par des groupes nominaux). *Changement de la méthode A*, *ajout d'exigence au produit X*, *changement de la règle N12*, sont des exemples d'expressions des besoins non spécifiés.

Prenons l'exemple d'un événement inattendu survenu pendant l'exécution d'un processus donné. Il s'agit d'un retour du produit envoyé au client parce qu'il ne respecte pas les exigences de dimensionnement. Cet événement inattendu n'est pas pris en considération dans la définition du processus et il s'agit d'une première occurrence. Il affecte l'exécution du processus puisqu'il doit être traité immédiatement pour éviter d'autre retard. Ainsi, le manager du processus entre une requête pour décrire la situation et accélérer le processus de résolution de ce problème. Cette requête doit être analysée pour identifier les index qui couvrent au mieux son contenu sémantique. Ces index correspondent aux concepts représentatifs de la requête qui peuvent être sous la forme 1 et/ou 2. La figure 3.3 illustre les différentes étapes de traitement de la requête saisie par le manager du processus. *Vérifier le dimensionnement du pro-*

duit est le concept représentatif de la requête du manager du processus dans notre exemple.

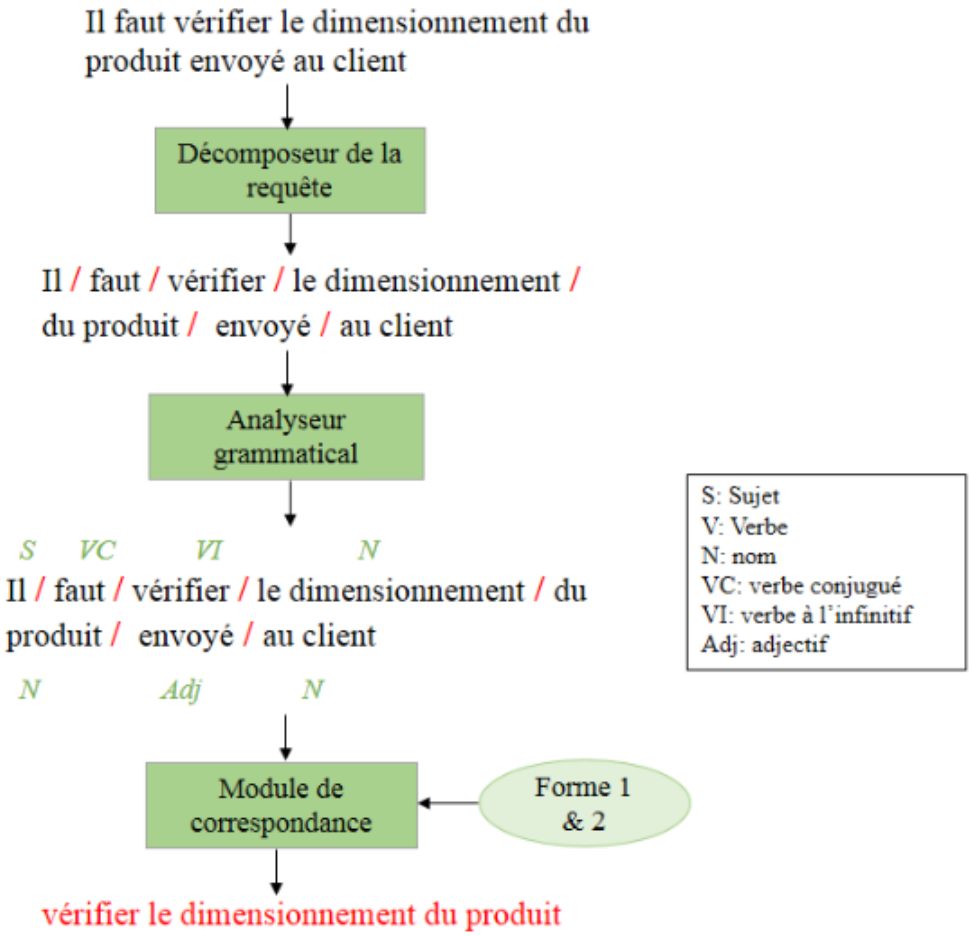


FIGURE 3.3 – Exemple de requête analysée

3 Recherche de compétences

Après la saisie de la requête, le système de recherche de compétences doit retourner la liste des compétences requises. L'objectif fondamental consiste à mettre en oeuvre un mécanisme d'association entre l'exigence fonctionnelle du manager du processus et les compétences qui répondent à son besoin. Deux catégories de définition de compétences sont distinguées dans la littérature : la définition par observation et la définition par caractérisation [144]. Dans le cadre de notre travail, nous avons choisi une définition par caractérisation qui nous permet de définir la compétence à travers des éléments formalisables, évaluables et stockables dans des référentiels afin de pouvoir les exploiter. Le but du référentiel de compétences est de permettre à l'entreprise de structurer et de stocker des informations sur d'une part, les compétences requises pour réaliser les activités de l'entreprise et d'autre part, les compétences acquises par les employés. Ces deux catégories de

compétences étant différentes, nous avons choisi d'utiliser deux types de référentiels pour les caractériser : le référentiel de compétences requises (RCR) et le référentiel de compétences acquises (RCA). Le RCR est utilisé par le système de recherche de compétences pour générer la liste de compétences requises qui doit être insérée dans le RCA pour ensuite sélectionner les acteurs disposant de ces compétences.

Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur la recherche de compétences requises (CRs). L'élaboration d'un processus de recherche de compétences requises pose des problèmes tant lors de la modélisation que lors de la localisation des compétences pertinentes. Comme le montre la Figure 3.4, ce processus comporte trois étapes principales : construction, localisation et extraction.

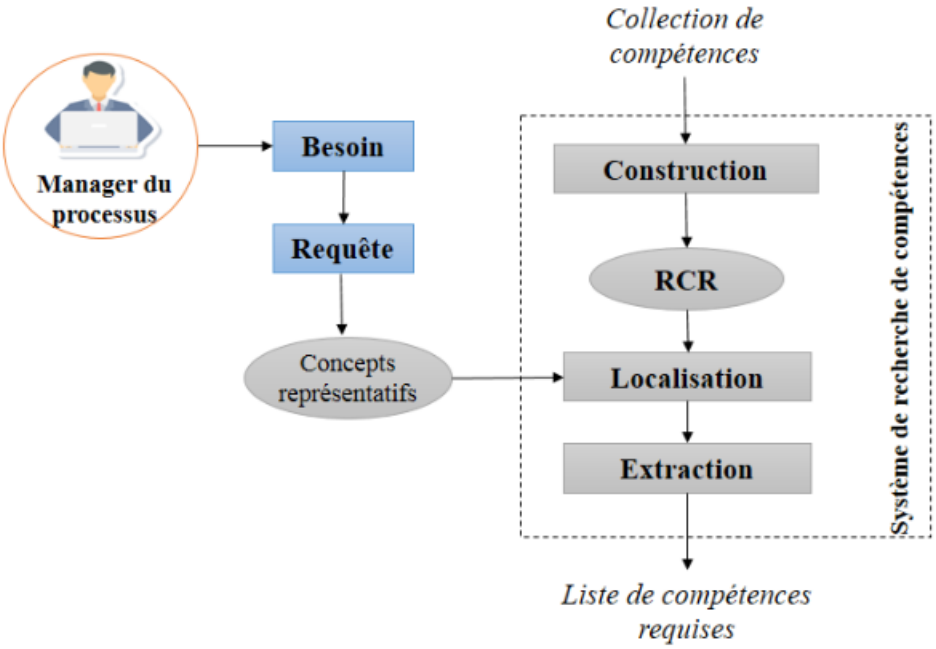


FIGURE 3.4 – Processus de recherche de CRs

La construction du référentiel de compétences requises est le sujet de la section suivante. La problématique liée à la construction du référentiel de compétences requises se situe au niveau de la méthode à adopter afin d'assurer la bonne localisation et l'identification de compétences requises pour répondre au besoin du manager du processus. Les questions essentielles sont les suivantes :

- ⋆ qu'est ce qu'une compétence ?
- ⋆ comment la caractériser, la formaliser pour construire le référentiel de compétences requises ?
- ⋆ comment faire la correspondance entre les compétences du référentiel de compétences requises et l'exigence fonctionnelle du manager du processus ?

3.1 Référentiel de compétences requises : RCR

D'après le dictionnaire Larousse, un référentiel est "un ouvrage que l'on consulte pour trouver une information précise, en particulier dans un domaine scientifique". En général, les référentiels de compétences sont classés par domaine. Nous identifions par exemple des référentiels pour le domaine de la mécanique, le domaine électrique, informatique.... Par exemple, un référentiel de compétences relatif au domaine informatique sera un ensemble de compétences que l'on peut trouver dans le domaine informatique.

Dans notre approche, le référentiel de compétences requises contribue à identifier les compétences nécessaires à la bonne implémentation des activités confiées ou celles visées. La difficulté de construction du référentiel de compétences requises concerne trois aspects :

- ◇ l'hétérogénéité sémantique présente un défi majeur dans le processus d'élaboration du RCR. Comment être capable de partager des compétences quand le vocabulaire qui est utilisé n'a pas le même sens pour tous ? Le problème est terminologique. Le système de recherche de compétences doit fournir des réponses aux utilisateurs pouvant avoir des points de vue différents sur le même concept. Les labels de ces concepts peuvent avoir divers synonymes. Donc, une recherche de compétences dans le référentiel de compétences requises doit pouvoir aboutir en utilisant n'importe lequel des synonymes ;

- ◇ l'hétérogénéité structurelle provient de la diversité des relations qui peuvent exister entre les différents éléments du référentiel de compétences requises (RCR). Comment identifier, expliciter les différents types de relations pour assurer une navigation pertinente dans le RCR ?

- ◇ L'hétérogénéité conceptuelle complexifie l'interrogation du système de recherche de compétences. Comment lever la confusion sur la définition de concepts ? Par exemple le concept compétence du référentiel de compétences requises nécessite une définition cohérente et consensuelle.

Pour permettre l'interrogation du référentiel de compétences requises en tenant compte de ces difficultés, nous avons choisi d'utiliser une approche ontologique. L'ontologie repose sur une modélisation conceptuelle et permet de normaliser le sens des termes. L'utilisation d'une approche ontologique permet au référentiel de compétences requises de donner, à un moment déterminé, des points de repère précis et des connaissances partagées et consensuelles. Dans l'ontologie plusieurs mots clés peuvent être associés à une même notion ce qui permet d'avoir une définition précise, cohérente et consensuelle du vocabulaire métier. L'ontologie de compétences requises que nous appelons OCR contient un ensemble de concepts et de relations associés modélisant les fonctionnalités requises et couvertes par l'entreprise.

Avant de présenter la structure et caractéristiques de notre ontologie (l'OCR), nous jugeons utile de définir des généralités sur l'ontologie dans la section suivante.

Généralités sur la notion d'ontologie

Une ontologie est un consensus accepté par une communauté ayant pour but de représenter une compréhension commune d'un domaine. [167] définit la notion d'ontologie par les éléments suivants :

- elle permet de définir explicitement le type des concepts et les contraintes sur leurs utilisations. Cela permet d'avoir une représentation explicite du domaine étudié ;
- elle permet d'avoir une représentation formelle qui doit être lisible et compréhensible par une machine. Elle est partagée et capture la connaissance consensuelle, qui n'est pas propre à un individu mais validée par un groupe ;
- elle permet d'avoir une conceptualisation à travers un modèle abstrait d'un domaine donné basé sur l'identification de ses concepts pertinents.

Pour résumer, une ontologie définit les concepts ($\mathbb{C}$), les propriétés ($\mathbb{P}$) et les individus ($\mathbb{I}$) d'un domaine, tels que $\mathbb{C}$, $\mathbb{P}$ et $\mathbb{I}$ sont trois ensembles disjoints [152]. Les concepts et propriétés d'une ontologie sont définis à l'aide d'axiomes terminologiques ($\mathbb{A}$) :

1. Un concept C ($C \in \mathbb{C}$) définit un ensemble d'individus partageant les mêmes caractéristiques. Les concepts d'une ontologie peuvent être organisés hiérarchiquement par des relations d'ordre (i.e relation de subsomption "est-un") permettant d'organiser les concepts par niveau de généralité ou par d'autres types de relations permettant d'introduire une idée.
2. Une propriété P ($P \in \mathbb{P}$) permet de définir des relations entre individus ou des couples attributs/valeurs. Il peut être décomposé en deux ensembles disjoints $\mathbb{P}_{\mathbb{R}}$ (l'ensemble de propriétés de type relation) et $\mathbb{P}_{\mathbb{A}}$ (l'ensemble de propriétés de type attribut).
3. Un individu I ($I \in \mathbb{I}$) est une instance d'un concept C. Il représente un objet concret du monde réel affecté à un concept de l'ontologie.
4. Axiomes : ils explicitent les énoncées conceptuels toujours vrais dans le contexte de l'ontologie. Ils peuvent être utilisés pour contrôler la correction des concepts ou des relations, ou pour déduire de nouveaux faits.

Tous ces éléments, c'est-à-dire les concepts, les propriétés, les axiomes et les instances, doivent être définis explicitement à l'aide d'un langage ou d'un modèle ayant une sémantique précisément définie. En effet, pour qu'une ontologie soit compréhensible par la machine, elle doit être décrite par un langage de représentation d'ontologies à savoir la description logique [13], RDF [190], OWL [188]...

La section suivante s'intéresse à la construction de notre ontologie de compétences requises (OCR).

Méthode de construction de notre ontologie de compétences requises

La construction de l'ontologie de compétences requises peut être réalisée d'une manière manuelle ou entièrement automatisée. Concevoir d'une manière automatisée une ontologie de compétences peut être réalisé selon diverses techniques :

(i) une méthode de traçabilité pour analyser les traces d'exécution des acteurs. Cette technique permet de recueillir les informations pertinentes pour identifier, caractériser les compétences mises en oeuvre pour exécuter les activités des processus, les évaluer et les sauvegarder, (ii) une méthode d'analyse des documents développés et sauvegardés dans les annuaires d'entreprise ou (iii) une méthode d'analyse des modèles de processus suivis pour la réalisation des objectifs de l'entreprise. Nous pouvons constater qu'une conceptualisation d'une ontologie selon ces différentes sources d'information hétérogènes est une tâche fastidieuse. Certaines de ces sources sont bien structurées et organisées et d'autres non. Par exemple, dans les documents développés et échangés, beaucoup de connaissances implicites, non formulées sous forme lexicale ou grammaticale peuvent être présentes ainsi que la présence de fautes d'orthographe, de syntaxe, peuvent être identifiées. Si les modèles des processus sont utilisés pour construire l'OCR, alors le problème du model-reality-divide [2] [70] rend ces modèles de processus insuffisants pour identifier les compétences réellement mises en oeuvre. Par ailleurs, concevoir automatiquement une ontologie de compétences nécessite d'utiliser les outils supports adéquats permettant d'identifier les concepts ainsi que les relations entre ces concepts qui doivent être explicitement mentionnées dans les différentes ressources informationnelles à utiliser. Ce qui n'est pas toujours respecté.

Dans le cadre de nos travaux, la méthode de construction de l'ontologie de compétences requises adoptée est totalement manuelle. Nous proposons d'utiliser la méthode proposée par Noy et McGuinness dans [122] qui est la plus citée et la plus adoptée dans la littérature. Le principe de cette méthode est décomposé en six étapes comme dans la Figure 3.5 le résume, et décrit dans ce qui suit :

1. Identifier le domaine que va couvrir l'ontologie ainsi que le/les but(s) de son utilisation.
2. Vérifier la possibilité de réutiliser des ontologies existantes ; ce qui permet de savoir si nous pouvons les étendre et les raffiner pour répondre à nos besoins.
3. Définir les classes (concepts) et développer une hiérarchie de classes.
4. Décrire la structure interne des concepts en identifiant leurs propriétés de type attribut. Ces propriétés permettent de décrire et de caractériser des instances de classes de l'ontologie par des valeurs d'éléments caractéristiques.
5. Définir les propriétés de types relation : la relation commune qui est supportée par n'importe quel formalisme d'ontologie est la subsomption : "est-un".
6. La dernière étape consiste à créer des instances (des individus) de classes provenant du monde réel.

Concepts et structure de notre ontologie

Pour caractériser notre ontologie (l'OCR), nous la définissons comme un 5-uplet en adaptant la représentation de Maedche [112] :
OCR=$\{C, R, M, F, G\}$ où :

– C est un ensemble de concepts

[2] l'écart entre le modèle métier du processus et le processus réellement exécuté

- R $\sqsubset$ CxCxT est un ensemble de relations associant deux concepts, avec T un ensemble de labels de relations
- M est l'ensemble de mots dénotant les concepts
- F : M $\rightarrow$ C est une fonction qui associe les mots aux concepts qui dénotent.
- G : C $\rightarrow$ M est une fonction qui associe les concepts à leurs mots. Les fonctions F et G sont inverses.

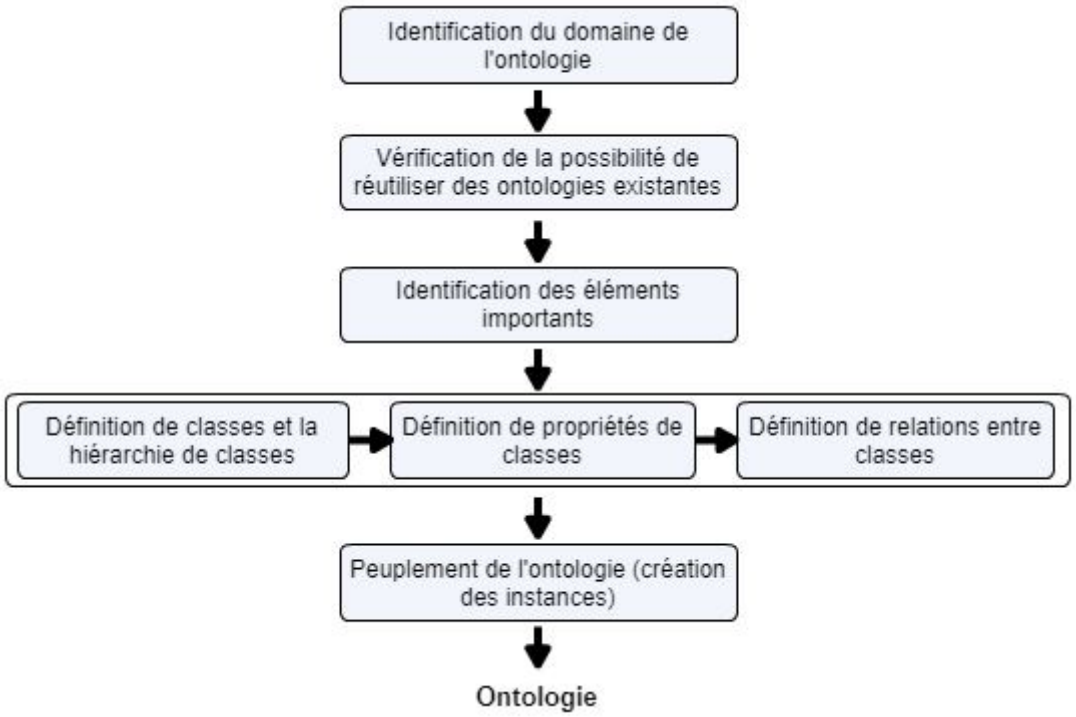


FIGURE 3.5 – Processus de construction d'une ontologie selon [112]

Conformément à la méthode de Noy, nous avons besoin dans un premier temps de définir clairement la notion de compétence et les concepts (de l'ensemble C) qu'il faut manipuler pour avoir des résultats adéquats à l'exigence fonctionnelle du manager du processus. En étudiant les travaux que nous jugeons les plus pertinents dans la modélisation de compétences, nous distinguons quatre principaux modèles dans le domaine du génie industriel comme il est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 3.1 – Modèles de compétences

Modèle	*Description*	*Catégorie de compétence*
le modèle CRAI [86]	un modèle sémantique représentant les diverses articulations liant la compétence au contexte, aux ressources, à l'individu et à la mission	Compétence individuelle et collective

Tableau 3.1 – Modèles de compétences (suite)

Modèle	*Description*	*Catégorie de compétence*
le modèle s-a-r-c [36]	un modèle qualitatif de la compétence indique que la compétence émerge de l'interaction entre trois composantes essentielles : les situations, les acteurs et les ressources.	Compétence individuelle et collective
le modèle systémique [29]	définit la compétence comme une structure résultant d'un processus d'intégration des éléments subjectifs (savoirs et savoir-faire, savoir être) et des éléments objectifs (les ressources de l'environnement)	Compétence individuelle
le modèle global cognitif [25]	représente le processus de construction de la compétence (les interactions entre ses constituants, les mécanismes de développement). Il est basé sur la théorie des systèmes et la théorie des schèmes (un concept développé en psychologie cognitive, il est défini comme une organisation de l'activité composée de plusieurs catégories d'éléments [183] : des buts et des anticipations, des règles d'action, des invariants opératoires et des processus d'inférence)	Compétence individuelle

Ces modèles adoptent la typologie la plus utilisée en GRH et en Génie Industriel qui est le triplet savoir, savoir-faire et savoir-être :

- *Le savoir* concerne l'ensemble des connaissances acquises par l'apprentissage (les études) destiné par la suite à être simplement automatisé, i.e rendu implicite et inconscient.
- *Le savoir-faire* est défini comme une habileté à mettre en œuvre l'expérience et les connaissances acquises dans un métier quelconque. Cette combinaison de deux infinitifs, Savoir et Faire, allie la connaissance et l'action, et relève de l'expérience du terrain (exemple de savoir-faire : "être capable d'installer un circuit électrique", "être capable d'écrire un programme en java" ...).
- *Le savoir-être* est lié à l'attitude et les qualités qui reflètent la manière dont l'individu réagit dans une situation professionnelle. (exemple de savoir être : "savoir écouter", "être rigoureux", "être consensuel", "être coopératif"...).

Dans la littérature anglo-saxonne, les savoirs et savoirs-faire sont qualifiés de "hard competences" connues sous l'appellation de compétences métier, les autres catégories relatives aux attitudes, comportements et traits de personnalités sont regroupées

sous la catégorie "soft competences" connue sous l'appellation de compétences comportementales [175] :

a) *Les compétences métier* (liées aux savoirs et savoirs-faire) sont observables et permettent la réalisation des activités de l'entreprise. Elles sont généralement connues et facilement identifiables dans le contexte du travail.

b) *Les compétences comportementales* (liées aux savoir être) caractérisent le comportement de l'individu/groupe [20]. Ce sont des compétences non observables et qui dépendent de certaines caractéristiques propres de l'acteur.

Les compétences comportementales ayant trait à la personnalité de l'acteur, posent de réels problèmes d'identification et d'évaluation. Plusieurs recherches ont été menées afin de les lister, à savoir [31], [165]. Quant aux compétences métier elles sont liées à l'acte de réalisation des activités et elles sont facilement identifiables dans le contexte du travail. En fonction des secteurs d'activités de l'entreprise, une catégorie sera plus présente qu'une autre [165], [109]. Ces deux catégories de compétences (métier et comportementale) peuvent être combinées pour construire la compétence dite collective. En effet, dans la littérature [86] et [37], deux catégories de compétences sont distinguées : compétence individuelle et compétence collective. Les compétences individuelles sont les briques unitaires qui permettent de construire les compétences collectives [107]. La compétence collective correspond à la mise en œuvre d'un ensemble de compétences par un ensemble d'acteurs travaillant à un objectif commun de réalisation. Elle découle d'une "ambiance", d'une "dynamique du groupe" [59][108]. La sélection de ces compétences requiert une prise en compte de plusieurs facteurs pour assurer l'adéquation et la synchronisation entre les différents membres de l'équipe construite. Selon [107], la compétence collective est la résultante de trois facteurs : savoir interagir, pouvoir interagir et vouloir interagir.

L'enjeu principal de l'exploitation de compétences est de les identifier et les évaluer. Comme souligné précédemment, notre travail est basé sur les processus métier (chapitre 1). Ainsi, nous nous sommes focalisés sur les compétences métier qui sont les plus utilisées dans les entreprises industrielles. En résumé, être compétent nécessite :

- de combiner d'une manière pertinente les ressources personnelles (savoirs et savoir-faire) et de l'environnement (technologiques, matérielles...).
- de gérer des situations professionnelles variées afin d'atteindre un objectif selon des critères de réalisation. L'objectif et les exigences de la situation de travail permettent de structurer la composition de la compétence et de préciser les critères de sa réalisation.
- de fournir un livrable (tangible ou intangible) pour un destinataire (clients, prestataire...) permettant d'évaluer une performance.

Après avoir défini la notion de compétence, nous définissons dans la suite les concepts phares de notre ontologie de compétences requises. L'ensemble C de l'ontologie de compétences requises couvre que les compétences métier et il est principalement composé des concepts suivants : "*Compétence*", "*Situation*", "*Savoir*", "*Livrable*", "*SavoirFaire*".

- La *compétence* représente un élément abstrait, évaluable, reconnaissable et finalisé. Elle peut être définie à des niveaux de granularité variés.

- Un *livrable* (tangible ou intangible) est le résultat de la mise en œuvre d'une compétence donnée. Il permet d'évaluer une performance. En effet, la compétence est par nature non observable. Ce qui, par contre, est observable, ce sont ses manifestations.

- Une *Situation* est caractérisée par l'objectif et l'exigence de l'implémentation de la compétence. Nous pouvons constater que la recherche de compétence peut être dirigée par les objectifs. Dans ce cas, chercher une compétence revient à établir la coïncidence entre l'objectif recherché (spécifié dans la requête) et l'objectif supporté par la compétence (caractérisant la situation de la mise en œuvre de la compétence). Dans notre ontologie, les objectifs peuvent être définis à des niveaux de granularité différents. L'accomplissement d'un objectif complexe peut requérir l'accomplissement de sous objectifs. Ceci est exprimé dans notre ontologie par une relation de composition récursive sur le concept *objectif*. Par exemple, les objectifs stratégiques nécessitent d'être décomposés en sous éléments qui eux-mêmes peuvent nécessiter une décomposition etc. jusqu'à atteindre des objectifs élémentaires.

- Un *Savoir* et un *Savoir-Faire* sont les ressources personnelles mobilisées par la compétence. Le savoir comprend *les savoirs théoriques* (e.g savoir les modes de transferts thermiques, savoir le premier principe de la thermodynamique...) et *des savoirs procéduraux* (e.g savoir accorder les participes passés d'un texte, ...). Le savoir procédural contient les règles d'action gouvernant les savoirs-faire. Ces règles précisent les buts poursuivis et les circonstances particulières de l'action (e.g "si le but est de générer le pluriel d'un substantif, alors ajoute S", ...). Le *savoir-faire* comprend *le savoir-faire procédural* (constitué des stratégies, des outils ...) et *le savoir-faire empirique* (correspondant à une pratique contextualisée qui prend en compte ce que parfois la théorie néglige).

La structure de notre ontologie est présentée dans la figure 3.6. Les différents concepts de l'ontologie de compétences requises et leurs instances sont structurés par des relations ontologiques. Afin de définir ces relations, nous devons tenir compte des problèmes d'hétérogénéité soulevés précédemment. Ce qui nous a conduit à distinguer deux catégories de concepts : *concept père* et *concept fils*. En effet, pour résoudre le problème d'hétérogénéité sémantique, nous proposons d'associer à chaque concept dans l'ontologie ses différents synonymes. Pour chaque concept, un terme préféré et des termes synonymes sont identifiés. Le concept dont son nom est un terme préféré est un concept père. Le concept dont son nom est un terme synonyme est un concept fils. Ainsi, deux types de relations ontologiques sont identifiés dans le cadre de notre travail :

1. **Relation conceptuelle** : elle permet de construire une idée ou proposition en associant deux concepts dans l'ontologie. Nous proposons d'utiliser les relations conceptuelles qu'entre deux concepts pères. Par exemple le résultat de l'implémentation d'une compétence est un livrable. Cette relation est

traduite par une relation d'association "*Produit*" ; une compétence peut être un savoir-faire ou un savoir. Cette relation est traduite par une relation de généralisation "*Estune*".

La compétence est le concept principal de l'ontologie de compétences requises. Nous caractérisons une compétence Cm_i par un 4-uplet :

$$Cm_i = \{S, SF, C, o\} \tag{3.2}$$

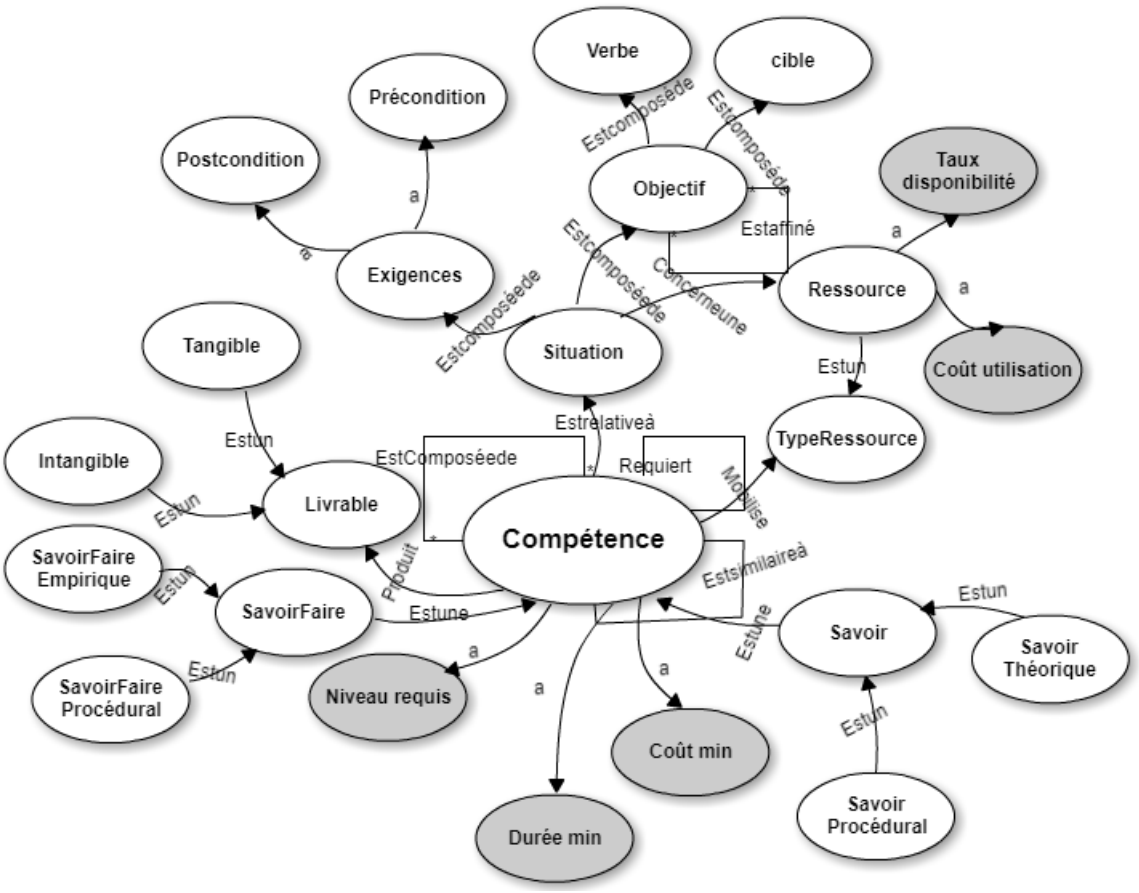


FIGURE 3.6 – Ontologie de compétences

Avec :

- S l'ensemble de savoirs nécessaires pour Cm_i. Un élément S_i de cet ensemble peut être un savoir théorique ou procédural.
- SF l'ensemble de savoirs-faire mis en pratique par la compétence Cm_i pour aboutir au résultat souhaité. Un élément SF_i de cet ensemble peut être un savoir-faire procédural ou empirique.
- C le contexte de la compétence Cm_i correspond à ses relations avec les autres concepts de l'ontologie autre que le *savoir* et *savoir-faire* : *Situation*, *Ressource*, *Livrable*...

- *o* l'objectif de l'implémentation de la compétence Cm_i.

Partant de cette définition et pour une découverte adéquate de compétences, nous avons défini trois relations conceptuelles entre deux compétences : *estSimilaireAx*, *EstComposéeDe* et *Requiert* :

a) Relation de similarité (*EstSimilaireAx*) : Deux compétences Cm_i et Cm_j sont similaires, si elles partagent la totalité ou une partie de leurs savoirs et savoirs-faire et de leur contexte. Nous avons proposé d'utiliser la formule normalisée de modèle de contraste de Tversy [179] pour évaluer le degré de similarité entre deux compétences (voir Annexe B[3]).

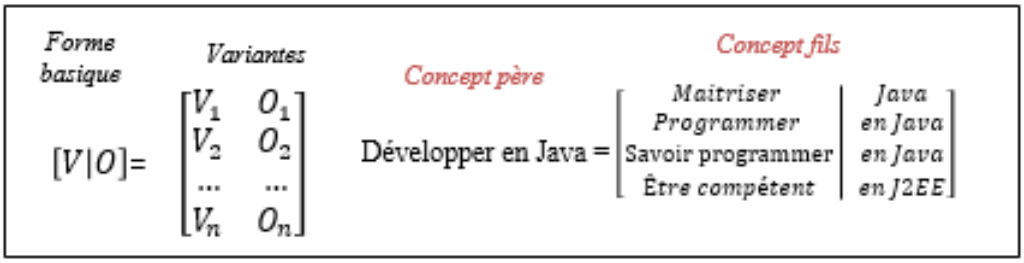
b) Relation de Composition (*EstComposéeDe*) : Comme souligné précédemment, la compétence peut être définie à différents niveaux de granularité. Il existe une relation de composition entre Cm_i et Cm_j si tout S_i de l'ensemble S de Cm_i fait partie de l'ensemble S de Cm_j et de même tout SF_i de l'ensemble SF de Cm_i appartient à l'ensemble SF de Cm_j

c) Relation de dépendance (*Requiert*) : la relation de dépendance entre deux compétences Cm_i et Cm_j se traduit par une relation séquentielle entre elles. En d'autres termes, le livrable de la compétence Cm_i est une ressource mobilisée par la compétence Cm_j. Dans ce cas, la sortie de Cm_i est une entrée pour Cm_j.

Ces relations permettent d'étendre la sélection des compétences par celles qui y sont similaires et/ou requises.

2. **Relation sémantique** : C'est la deuxième relation ontologique considérée dans le cadre de notre travail. Elle est utilisée pour associée deux concepts sémantiquement proche. Nous proposons qu'une relation sémantique n'existe qu'entre le concept père et son concept fils. Dans le cadre de notre travail, seule la relation de synonymie est prise en compte *"EstSynonymeDe"*. Cette organisation permet de pouvoir trouver le concept dans l'ontologie avec ses différents synonymes. Les relations sémantiques permettent d'associer un vecteur de labels à chaque concept dans l'OCR. Le vecteur de labels correspond à la liste des labels synonymes qui sont identifiés pour indexer un concept de l'OCR. Prenant l'exemple de la figure suivante, "Développer en Java" est un concept père et les autres variantes (Programmer en Java, être compétent en J2EE, ...) sont des concepts fils permettant de construire le vecteur d'indexation.

[3]Un ensemble d'axiomes sont présentés en Annexe B. Ces derniers que nous jugeons pertinents sont utilisés pour contrôler la correction des relations entre les compétences ou des propriétés d'autres concepts dans l'OCR. Pour les définir nous utilisons la description logique (DL).



Nous caractérisons les différents concepts par un ensemble de propriétés, à savoir :

- un identifiant unique
- un nom (peut être un terme préféré ou un terme synonyme)
- un type (i.e compétence, ressource, objectif...)
- une catégorie (i.e concept père ou concept fils)

La compétence est caractérisée par un ensemble de propriétés spécifiques à savoir :

- *Niveau de maitrise requis* : il doit être précisément identifié. C'est le niveau de maitrise minimal requis pour atteindre l'objectif de la mise en pratique d'une compétence.
- *Durée min* : c'est la durée d'implémentation de la compétence Cm_i pour atteindre le résultat avec le niveau de maitrise requis.
- *Coût min* : c'est le coût correspondant aux ressources utilisées pour atteindre l'objectif de la compétence Cm_i avec le niveau de maitrise requis.

Les différentes relations et propriétés présentées ci-dessus permettent d'assurer une navigation pertinente dans l'OCR vers les concepts de type compétence susceptibles de satisfaire l'exigence fonctionnelle (EF) du manager du processus. Nous présenterons dans la section 3.2 comment le concept représentatif de l'EF est localisé dans l'OCR et comment les compétences requises sont sélectionnées.

Création des instances

La dernière étape de la méthode de Noy adoptée dans le cadre de notre travail est la création des instances. La création d'instances d'une ontologie, appelée aussi peuplement de l'ontologie, est le processus d'ajout des instances considérées comme des réalisations des concepts et des propriétés de l'ontologie sans modifier la structure conceptuelle de l'ontologie [132]. Ce processus exige une ontologie initiale et un moteur d'extraction d'instances. Pratiquement, le moteur d'extraction d'instances peut être réalisé d'une manière manuelle, semi-automatique ou entièrement automatisée. Plusieurs approches de peuplement automatique d'ontologies sont proposées dans la littérature. Les systèmes les plus complets sont ceux qui adoptent des approches permettant de peupler une ontologie avec des instances de concepts ainsi que de relations tels que Artequakt [99], WEBKB [49], ISOLDE [191], BOEMIE [132] etc. Bien que plusieurs systèmes ont été proposés suivant des approches

de peuplement automatiques ou semi-automatiques, la majorité de ces systèmes dépendent du domaine considéré. En effet, la réutilisation de leur processus de peuplement d'ontologie est difficile.

Dans le cadre de notre travail, la définition d'une ontologie de compétences requises dépend du domaine d'activité considérée. En effet, une ontologie peuplée ne sera pas transposable d'une entreprise à une autre. L'objectif que nous avons suivi dans cette thèse est de valider la faisabilité de l'approche que nous proposons en utilisant la structure conceptuelle de l'OCR que nous avons présentée dans la section précédente. Pour cela, nous considérons dans la suite de ce chapitre un extrait d'un exemple d'ontologie peuplée manuellement pour expliquer l'approche proposée. Pour surmonter les problèmes de peuplement manuel d'ontologie, un processus long en termes du temps et d'effort, la définition d'un processus de peuplement semi-automatique ou automatique est recommandé pour la poursuite de nos travaux.

3.2 Sélection de compétences requises à partir de l'ontologie de compétences requises

La sélection des compétences en se référant à l'ontologie de compétences requises et conformément aux concepts représentatifs de l'exigence fonctionnelle (EF) permet de générer une requête plus adéquate que celle initialement formulée par le manager du processus. Cette nouvelle requête ne sera composée que des labels de compétences requises. La liste de compétences requises identifiée définit le vecteur de compétences requis à utiliser pour identifier les acteurs pertinents.

La formulation de la requête dépend des connaissances à la disposition du manager du processus. Les concepts représentatifs peuvent être imprécis et ne correspondent à aucun label de concept dans l'ontologie de compétences requises. Pour éviter la situation de non-correspondance nous supposons qu'au moins un concept représentatif figurant dans l'exigence fonctionnelle correspond à un label de concept dans l'ontologie de compétences requises pour éviter tout problème de non-recouvrement.

On appelle chemin entre deux concepts de l'ontologie de compétences requises c_{oi} et c_{oj} une suite finie de n concepts (c_k) tels que c_{oi}=c_1 et c_{oj}=c_n et pour tout $k \in$ [1, n-1] $\exists$ une relation r dans R entre c_k et c_{k+1} (r peut être une relation sémantique ou conceptuelle).

Prenons l'exemple illustré sur la figure 3.7 d'un extrait d'ontologie que nous avons peuplée manuellement et qui sera utilisée dans la suite de ce chapitre. Le chemin entre le concept :*"Connaitre les lois de la thermodynamique"* et le concept : *"Elaborer un cahier de charge fonctionnel"* est la suite des concepts en vert figurant sur le chemin reliant ces deux concepts avec c_{o1}=*"Connaitre les lois de la thermodynamique"* et c_{o4}=*"Elaborer un cahier de charge fonctionnel"*.

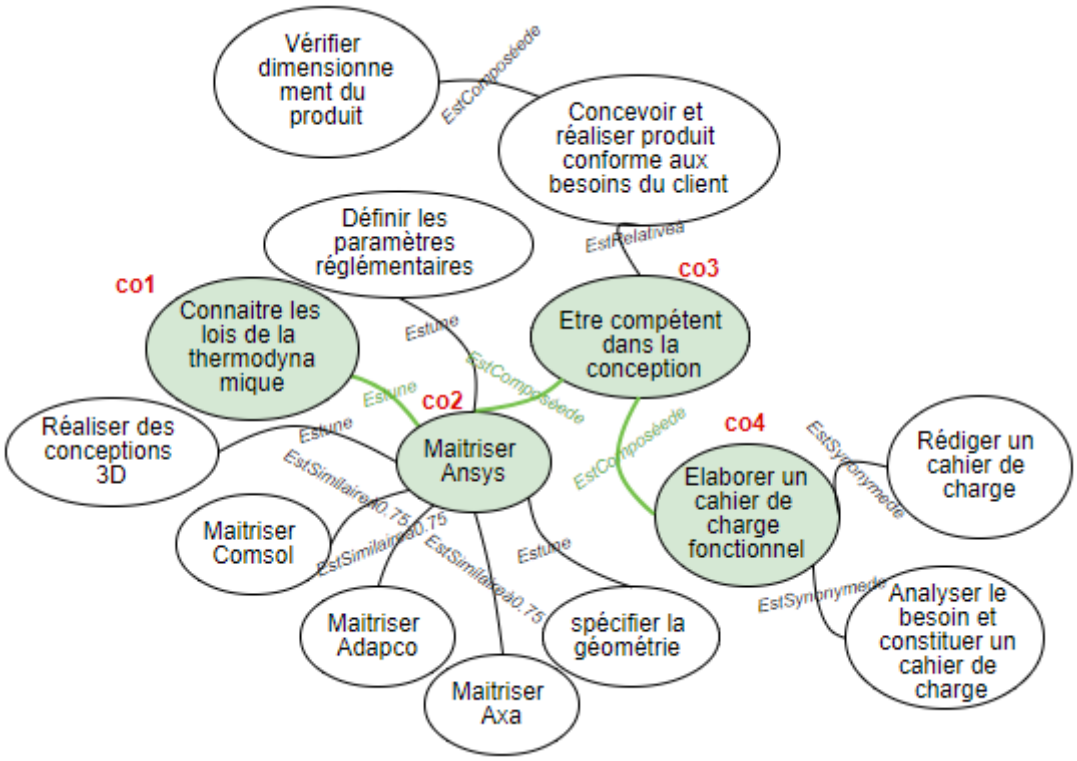


FIGURE 3.7 – Exemple de chemin entre concepts

Dans notre ontologie, l'orientation se fait par rapport au concept représentatif de l'exigence fonctionnelle localisé dans l'ontologie. Ce qui permet de déduire le chemin entre le concept localisé et la compétence la plus proche.

Dans le cadre de notre travail, l'exigence fonctionnelle du manager du processus est indexée par un vecteur de concepts représentatifs c_{r_i} et chaque concept de l'ontologie de compétences requises (l'OCR) est indexé par un vecteur de labels synonymes c_{o_i}. Nous considérons que chaque concept représentatif c_{r_i} et chaque label synonyme c_{o_j} comme un ensemble de termes. Ils sont représentés respectivement par :

$$\begin{aligned} c_{r_i} &= (t_1, t_2, ...t_n) \\ c_{o_j} &= (d_1, d_2, ...d_n) \end{aligned} \tag{3.3}$$

Cette représentation vectorielle permet de faciliter la localisation du concept de l'OCR sémantiquement le plus proche de l'exigence fonctionnelle. La figure 3.12 illustre les différentes étapes de notre processus de navigation dans l'OCR pour sélectionner les compétences requises. Les différentes étapes sont décrites dans la suite d'une manière informelle pour qu'elles puissent être comprises. Le processus d'extraction de compétences requises se déroule, selon notre approche, en deux étapes principales :

A) Localisation (correspond à l'*Etape 1* de la figure 3.12) : L'objectif de cette étape est de trouver pour chaque concept représentatif c_{r_i} de l'exigence fonctionnelle le concept c_{o_j} de l'ontologie qui est sémantiquement le plus proche.

Ce qui permet de trouver le point de départ de navigation dans l'ontologie vers le concept de type *compétence* ayant la profondeur la plus courte.

1. *Etape 1 :* La localisation du concept représentatif c_{r_i} dans l'ontologie est faite selon le facteur de similarité qu'on a choisi. Une mesure de similarité permet d'estimer à quel point deux concepts sont sémantiquement proches. L'évaluation de leur degré de similarité revient à calculer les éléments en commun. Le coefficient de Dice [61] défini dans la formule suivante est choisi pour cette étude en raison de sa simplicité et son efficacité :

$$Dice(c_{r_i}, c_{o_j}) = \frac{2 * |c_{o_j} \cap c_{r_i}|}{|c_{o_j}| + |c_{r_i}|} \tag{3.4}$$

Algorithme 1 : Localisation du concept de la requête

Entrées :
R=(c_{r1}, ..., c_{rk})
C= (c_{o1}, c_{o2}, ..., c_{on})

Sorties :
id_{max}

initialiser Sim_{max}=0
pour *chaque* $c_{rj} \in R$ **faire**
  pour *chaque* $c_{oi} \in C$ **faire**
    Calculer dice (c_{rj}, c_{oi})=$\frac{2*|c_{oj} \cap c_{ri}|}{|c_{oj}|+|c_{ri}|}$
    si $Sim_{max} \leq$ *dice*(c_{rj}, c_{oi}) **alors**
      Sim_{max}=dice(c_{rj}, c_{oi})
      id_{max}=c_{oi}.id
    fin si
  fin pour
fin pour
Retourner id_{max}

Cette fonction (coefficient de Dice) retourne des valeurs comprises entre 0 et 1 : 0 aucune similarité (recouvrement nul) et 1 pour des concepts identiques (recouvrement total). La localisation de tout concept représentatif c_{r_i} de EF_j se fait d'une manière aléatoire comme le montre l'Algorithme 1. Reprenons le concept représentatif de la requête du manager du processus que nous avons identifié dans la section 2.3 de ce chapitre et l'exemple de l'extrait de l'ontologie que nous avons peuplé.

Deux concepts de l'ontologie ont une mesure de Dice > 0 avec le concept représentatif C_r=*Vérifier dimensionnement du produit* : C_{o1}=*Vérifier dimensionnement du produit* et C_{o2}=*Réévaluer dimensionnement du produit* où :

- La liste des éléments de C_r= Vérifier , dimensionnement , du produit.
- La liste des éléments de C_{o1}=Vérifier , dimensionnement , du produit.

- La liste des éléments de C_{o2}=Réévaluer , dimensionnement , du produit.

Selon ce découpage, nous obtenons les valeurs de Dice suivantes :

$$Dice(\mathrm{C}_r, C_{o1})=\mathrm{Dice}(\text{vérifier dimensionnement du produit}, \textit{vérifier dimensionnement du produit}) = \frac{2*3}{3+3} = 1$$

$$Dice(\mathrm{C}_r, C_{o2})=\mathrm{Dice}(\text{vérifier dimensionnement du produit, réévaluer dimensionnement du produit}) = \frac{2*2}{3+3} = 0.66$$

Donc le concept représentatif localisé correspond à *Vérifier dimensionnement du produit* qui est de type *objectif* et a un recouvrement total avec le concept représentatif de la requête.

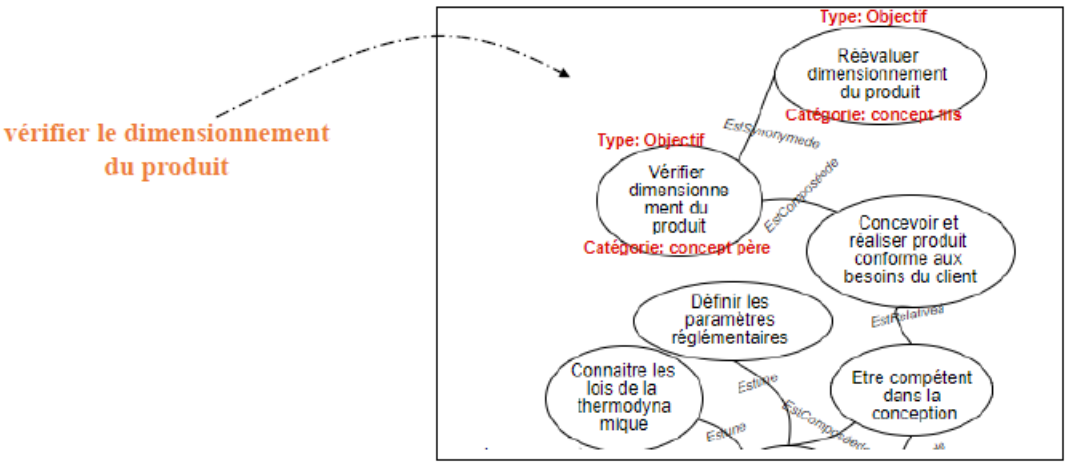


FIGURE 3.8 – Exemple de localisation du concept représentatif

B) Extraction (correspond aux étapes 2, 3 et 4 de la figure 3.12) : L'objectif de cette étape est de parcourir l'ontologie de compétences requises à partir du concept représentatif localisé pour n'extraire que les concepts de type *compétence* qui seront insérés dans le vecteur de compétences requis. Nous appelons chaque concept représentatif localisé c_{rl_i}. Une fois que le/les concept(s) représentatif(s) ont été localisés, le processus d'extraction de compétences prend en entrée l'ontologie proposée et les concepts localisés de l'exigence fonctionnelle. En sortie, ce processus d'extraction de compétences retourne la liste de compétences requises.

2. *Etape 2 :* Cette étape consiste à extraire la liste des compétences requises conformément aux concepts localisés. Dans notre ontologie, les concepts sont liés par des relations conceptuelles et sémantiques. Ainsi que chaque concept est caractérisé par sa catégorie (concept père ou concept fils)

et son type (compétence, ressource, savoir...). Ces caractéristiques permettent d'aiguiller la recherche dans l'ontologie en direction des concepts de type *compétence*. Nous distinguons deux types de parcours de l'ontologie selon le type du concept représentatif localisé (c_{rl_i}) : un parcours par extension si le c_{rl_i} est de type *compétence*, et un parcours par spécialisation suivi d'un parcours par extension si c_{rl_i} n'est pas de type *compétence*. Ces deux modes permettent de répondre au besoin spécifié et non spécifié que nous avons présenté précédemment. Ainsi, deux situations sont identifiées pour extraire les compétences requises. Vu que les relations conceptuelles n'existent qu'entre deux concepts pères, si le concept représentatif localisé est de catégorie fils, il faut trouver son concept père comme le décrit le tableau suivant.

Localisation du concept père
si C_r.catégorie=Fils 2.1 : Parcourir toutes les relations sémantiques jusqu'à trouver le concept père principal c_{o_p} et remplacer le concept c_r par C_{o_p} c_r. id = c_{o_p}. id c_r. nom = c_{o_p}.nom c_r.attribut=c_{o_p}.attribut

A condition que le concept localisé c_{rl_i} soit un concept père, l'étape 3 est initiée si c_{rl_i} est de type *compétence* (i.e scénario 2) ou l'étape 4 est initiée si c_{rl_i} n'est pas de type *compétence* (i.e scénario 1).

3. *Etape 3 :* Le deuxième scénario est déclenché une fois le concept localisé suite à l'étape 2 ou relocalisé suite à l'étape 4 est du type *compétence* i.e $c_{rl_i}.type$ = *compétence*. La compétence équivalente c_r à ce concept c_{rl_i} sera sauvegardée dans un ensemble Q_b définissant le vecteur de compétences requis. Pour enrichir le vecteur de compétences requis, il revient à vérifier s'il existe autre concept de l'ontologie de type *compétence* lié au c_r par une relation conceptuelle (*EstSimailireAx* ou *Requiert* ou *EstComposéeDe*). Ce qui permet d'enrichir le vecteur et étendre l'espace de recherche. La liste de compétences retournée est organisée par catégories de compétences en associant à chaque compétence similaire son niveau de maitrise minimum requis et le degré de similarité avec la catégorie de compétence correspondante comme le montre la Figure 3.9. Nous définissons une catégorie de compétences comme l'ensemble des compétences similaires satisfaisant le même objectif. L'ajout des compétences similaires au vecteur de compétences requis accroit la pertinence du processus de recherche d'acteurs.

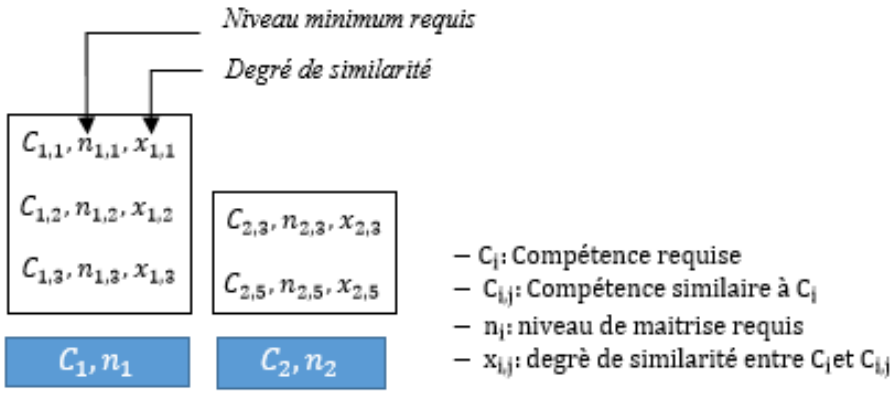


FIGURE 3.9 – Organisation de catégorie de compétence

Avec C_1 est la première compétence sélectionnée par le processus de recherche de compétence et $C_{1,j}$ est la compétence associée à C_1 par la relation *EstSimilaireAx*. Prenons l'exemple illustré sur la Figure 3.9, le concept *Maitriser C/C++* est de type *compétence* et il est associé au concept *Maitriser java* de type *compétence* avec la relation *EstSimilaireA0.5*.

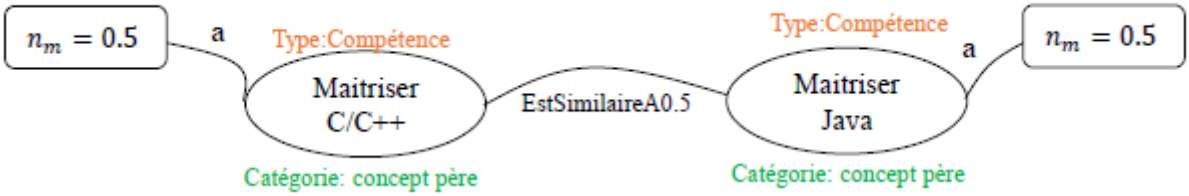


FIGURE 3.10 – Exemple d'association entre compétences

Supposons que *Maitriser C/C++* est la première compétence sélectionnée par le processus d'extraction de compétences et *Maitriser java* est la compétence déduite par le processus d'extraction de compétences, alors le résultat retourné est comme l'illustre la figure 3.11.

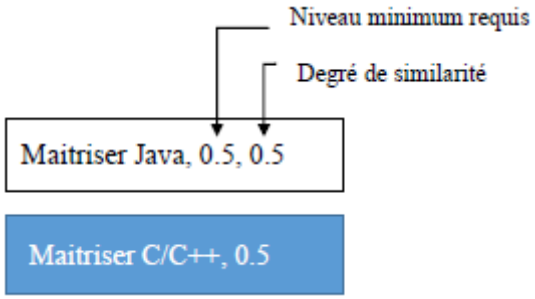


FIGURE 3.11 – Exemple d'organisation de compétences similaires

Les différentes règles de navigation du deuxième scénario sont résumées dans le tableau suivant :

Deuxième scénario
3.1 : Vérifier si le nouveau concept C_r a des relations conceptuelles avec d'autres concepts de type *compétence* : 3.1.1 : Si la relation conceptuelle est *EstSimilaireAx* Ajouter le concept C_a associé à C_r au résultat à retourner : Q_b= (C_r, n_{C_r}) ∪ (C_a, n_{C_a}) et Sim(C_r, C_a)=x 3.1.2 : Si la relation conceptuelle est *EstComposéeDe* Remplacer le concept C_r par tous les concepts qui lui sont associés par cette relation au résultat à retourner : Q_b=(C_a, n_{C_a}) ∪ ... ∪ (C_b, n_{C_b}) et appliquer 3.1.1 pour chaque concept ajouté. 3.1.3 : Si la relation conceptuelle est *Requiert* ajouter le concept C_a associé à C_r au résultat à retourner : Q_b=(C_r, n_{C_r}) ∪ (C_a, n_{C_a}) et appliquer 3.1.1.

4. *Etape 4 :* Dans le cas où le concept localisé n'est pas de type de *compétence*, il faut trouver le chemin le plus court pour localiser le concept du type compétence. Le(s) concept(s) localisé(s) peuvent être directement aligné(s) avec autre(s) concept(s) qui sont en relation conceptuelle avec une/des compétence(s) de l'ontologie ou en relation sémantique avec de(s) concept(s) qui sont en relation conceptuelle avec une compétence de l'ontologie. Nous avons distingués quatre règles de navigation dans l'OCR selon le type de concept comme il est résumé dans le tableau suivant (premier scénario). Pour la quatrième règle (4.4), *Autre* fait référence à un concept de l'OCR qui n'est pas de type *Situation*, *Livrable*, *TypeRessource* ou *Compétence*. Donc *Autre* peut être de type *savoir* ou *savoir faire* ou *ressource* ou *objectif* ou *savoirFaireEmpirique* ou *SavoirFairePocédural* ou *SavoirProcédural* ou *SavoirThéorique*. Ce qui permet de prendre en considération tous les cas possibles de type de concept représentatif localisé dans l'ontologie.

Premier scénario

4.1 : Si C_o.type=TypeRessource, vérifier si le concept a des relations conceptuelles avec d'autres concepts
  4.1.1 : Si relation conceptuelle est *mobilise*
    Ajouter le concept associé au résultat à retourner :
      Q_b=(C_r, n_{C_r}) ∪ (C_a, n_{C_a}) et appliquer 3.1.1
4.2 : Si C_o.type= Situation, alors vérifier si le concept a des relations conceptuelles avec d'autres concepts
  4.2.1 : Si la relation conceptuelle est *Estrelativeà*
    Ajouter le concept associé au résultat à retourner :
      Q_b=(C_r, n_{C_r}∪ (C_a, n_{C_a}) et appliquer 3.1.1
4.3 : Si C_o.type= Livrable, alors vérifier si le concept a des relations conceptuelles avec d'autres concepts alors
  Si relation conceptuelle est *produit* alors
    Ajouter le concept associé au résultat à retourner :
      Q_b=(C_r, n_{C_r}) ∪ (C_a, n_{C_a}) et appliquer 3.1.1
4.4 : Si C_o.type= Autre alors vérifier si le concept a des relations conceptuelles avec d'autres concepts
  Si le concept C_o a la relation conceptuelle *EstComposéede* ou *Estun* avec un concept $C_o^{'}$ alors
    C_o.id=$C_o^{'}$.id avec $C_o^{'}$ est le concept associé au concept C_o
      Si C_o.type=Compétence, alors appliquer 3.1
      Sinon si C_o.type=TypeRessource, alors appliquer 4.1
      Sinon si C_o.type =Situation, alors appliquer 4.2
      Sinon si C_o.type=Livrable, alors appliquer 4.3

Pour illustrer la démarche de sélection de compétences requises, nous allons considérer le même extrait d'ontologie présentée dans la section 3.2 et l'exemple de la requête que nous avons traité dans la section 2.3. Le manager du processus lance la requête "Il faut vérifier dimensionnement du produit envoyé au client". Comme nous avons montré le concept représentatif C_r de cette requête est "*Vérifier dimensionnement du produit*". Pour extraire les compétences requises, la première étape consiste à localiser ce concept dans l'ontologie en utilisant la mesure de Dice afin de trouver le concept de l'ontologie le plus proche sémantiquement.

La localisation du concept représentatif de la requête est réalisée d'une manière aléatoire en utilisant la mesure de Dice. Comme nous avons présenté dans la section 3.2, le concept *Vérifier dimensionnement du produit* du type objectif a un recouvrement total avec le concept représentatif de la requête. Ceci est traduit par la mesure de Dice comme suit :

$$Dice(C_r, C_o) = \frac{2 * |C_r \cap C_o|}{|C_r| + |C_o|} = \frac{2 * 3}{3 + 3} = 1 \tag{3.5}$$

Avec C_r=C_o=vérifier dimensionnement du produit. Ce concept localisé sera le point de départ pour parcourir l'ontologie et remplir le vecteur de compétences requis. Ce concept est de type "*Objectif*" donc le scénario 1 est déclenché. En appliquant la

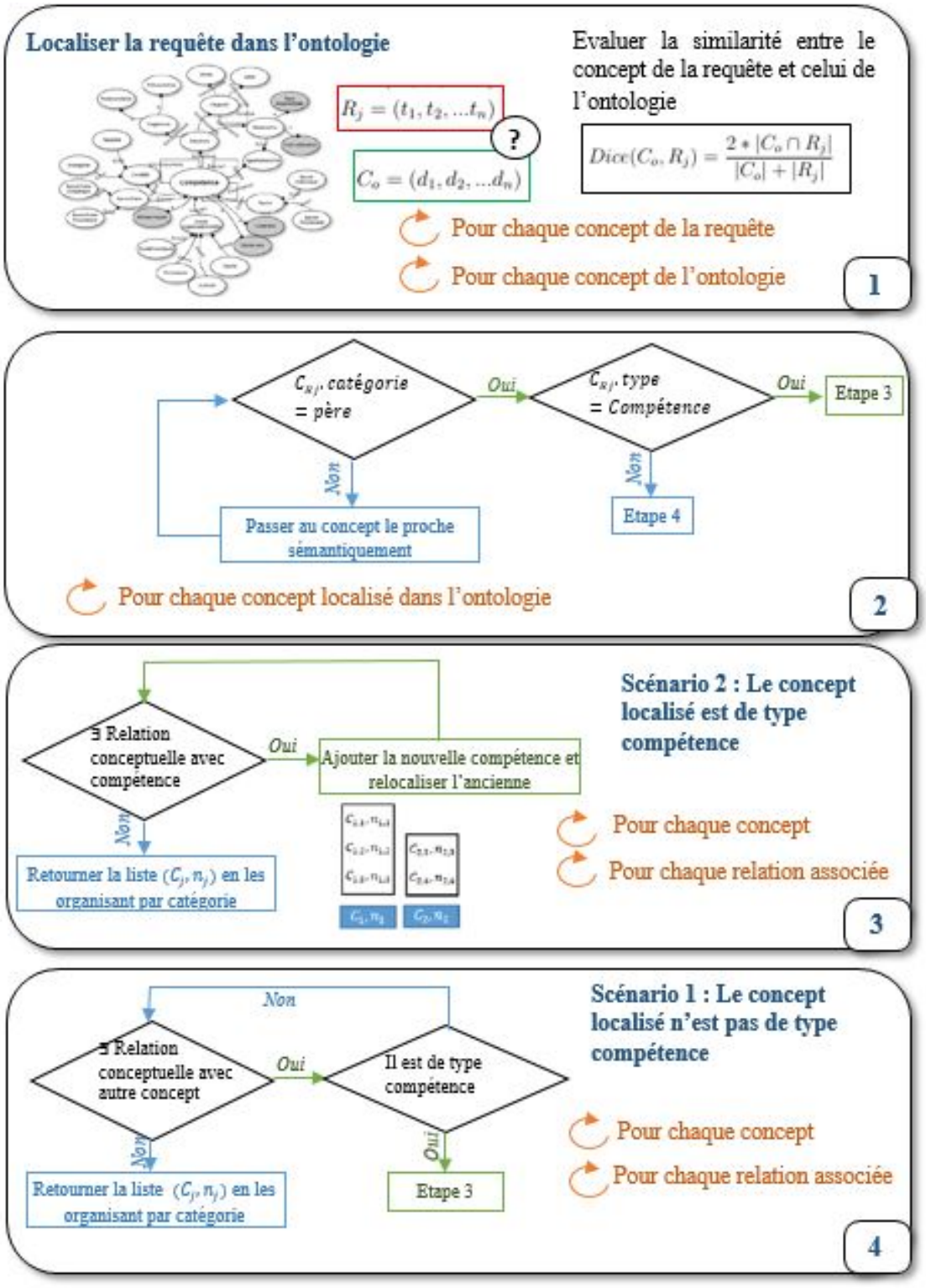


FIGURE 3.12 – Processus d'extraction de compétence

règle de navigation 4.4 dans l'ontologie, ce concept est associé au concept *Concevoir et réaliser produit conforme aux besoins du client* de type *Situation*. Donc la règle 4.2

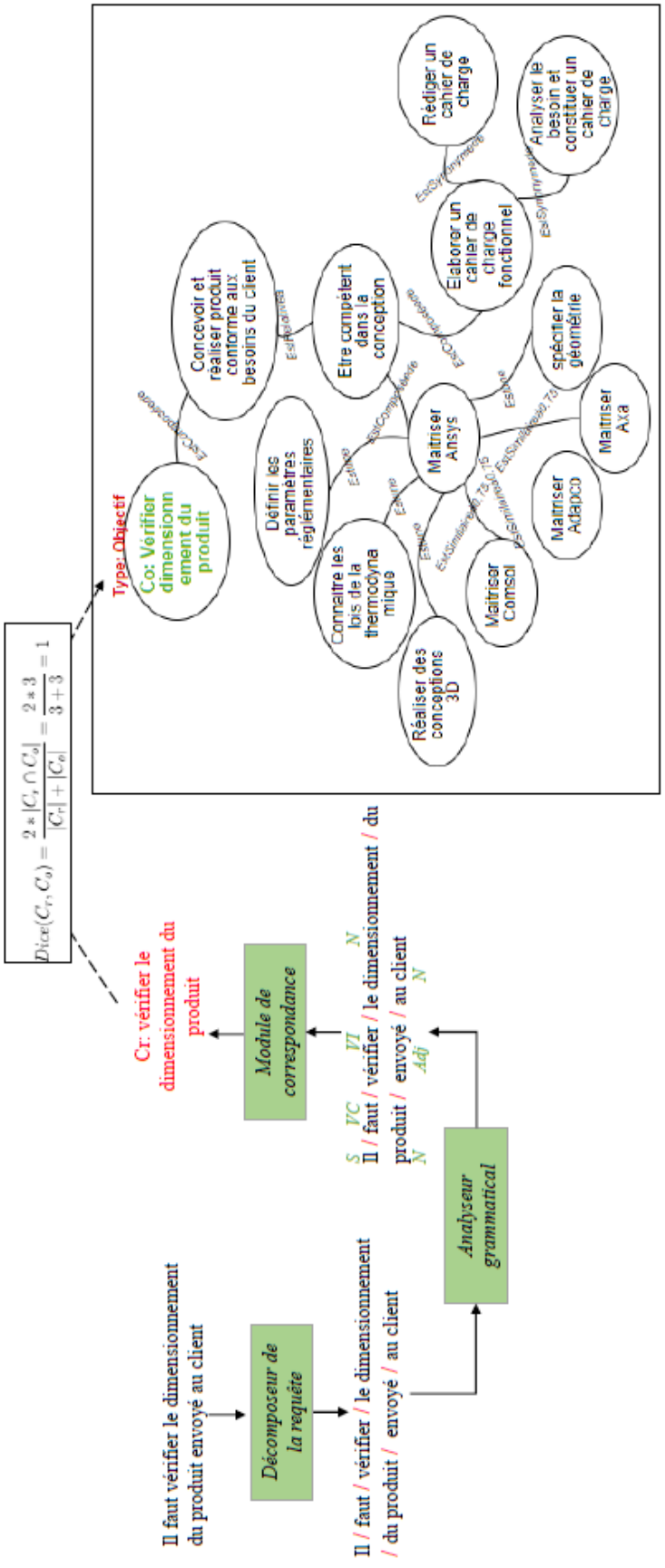


FIGURE 3.13 – Localisation du concept représentatif

est utilisée. La compétence associée au concept du type *Situation* est *Etre compétent dans la conception*. En appliquant la règle 3.1.2 deux catégories de compétences requises *Maitriser Ansys* et *Elaborer un cahier de charges fonctionnel* sont associées à ce concept par la relation *EstComposéeDe*. La compétence *Maitriser Ansys* est associée à trois concepts de type *compétence* par la relation *EstSimilaireAx*. Alors la règle 3.1.1 est utilisée et elles sont sélectionnées par le processus d'extraction de compétences. Le résultat est illustré sur le tableau 3.5. Comme le montre la Figure 3.14, nous avons deux catégories de compétences (orange foncé) et 3 compétences similaires à la première catégorie (orange clair). Ces compétences permettent de vérifier si les dimensions de la pièce ne respecte pas le cahier de charges et quelles sont les lacunes (Élaborer un cahier de charge fonctionnel) et ensuite de simuler le dispositif pour vérifier son bon fonctionnement (Maitriser Ansys/Adapco/Comsol ou Axa).

Catégorie de compétence	Niveau minimum requis	Compétences similaire	Niveau minimum requis	Degré de similarité
Maitriser Ansys	0.75	Maitriser Comsol	0.5	0.75
		Maitriser Adapco	0.75	0.75
		Maitriser Axa	0.5	0.75
Elaborer cahier des charges fonctionnel	0.5			

Tableau 3.5 – Liste des compétences requises

La liste des compétences requises étant définie et conformément à l'architecture de notre approche, l'étape suivante consiste à identifier les acteurs disposant de ces compétences. Ce qui fait l'objet du chapitre suivant.

4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les deux premières étapes de notre approche (i.e **expression du besoin** et **recherche de compétences requises**). Nous avons totalement répondu au premier problème (i.e *comment assurer une diffusion de l'information pour prendre en considération un aléa ou un besoin de changement survenu pendant l'exécution du processus pour prendre la bonne décision ?*) et partiellement au deuxième problème (i.e *comment surmonter le problème d'hétérogénéité de description de compétences et la sélection des acteurs pertinents ?*).

Pour l'extraction des compétences, nous avons utilisé le besoin du manager du processus exprimé à travers une requête en langage naturel. Pour faciliter la recherche et favoriser la compréhension et l'interprétation des compétences par le

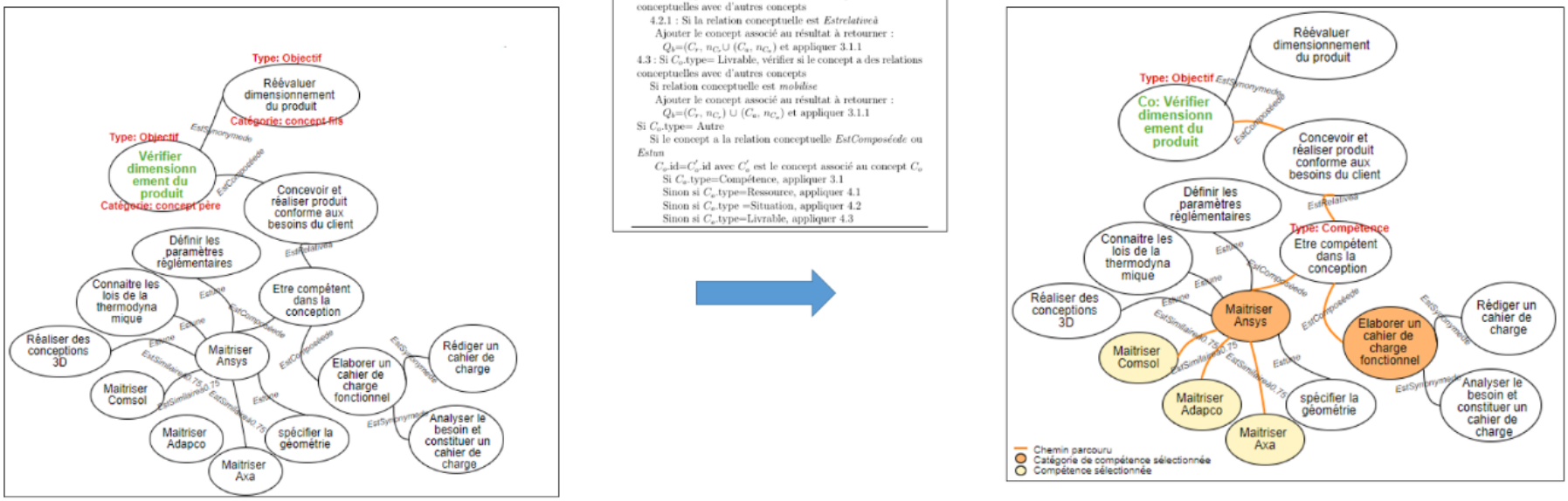


FIGURE 3.14 – Sélection des compétences requises

système de recherche de compétences, nous avons choisi une approche ontologique. Dans ce travail, nous ne proposons pas une ontologie de compétences peuplée vu que cette dernière dépend du domaine d'application de l'entreprise mais une structure d'ontologie permettant de faciliter la navigation et l'identification des compétences requises. Une méthode de construction manuelle à été suivie dans le cadre de notre travail en se référant à une méthode de référence. A ce niveau également, les différents concepts et relations identifiées sont présentés. La formalisation de la demande sous la forme d'une requête est constituée par des éléments qui sont présents dans l'ontologie de compétence requises pour éviter tout problème de non-recouvrement. Vu l'homogénéité entre les concepts de la requête et de l'ontologie, la localisation a simplement été réalisée en calculant la similarité entre la requête et les concepts dans l'ontologie. Nous avons choisi la mesure de Dice pour évaluer ce degré de similarité. Ensuite, nous avons défini et proposé deux scénarios d'identification selon le type du concept localisé. Ces deux scénarios définissent des règles de navigation pour faciliter la génération de la liste de compétences requises.

Dans le chapitre suivant, nous présentons les méthodes destinées à la construction et à la sélection des profils d'acteurs susceptibles d'implémenter une partie ou la totalité des compétences requises.

Chapitre 4

Organisation et identification des compétences acquises

Contents

1 Introduction 95

2 Présentation générale du processus de recherche de compétences acquises 96

3 Organisation des profils d'acteurs 97

3.1 Profil d'acteur 97

3.2 Classification des profils par le treillis de Galois 100

4 Recherche d'acteurs pertinents 107

4.1 Insertion 109

4.2 Sélection 111

5 Conclusion 116

1 Introduction

La compétence est une notion importante dans le cadre de notre approche. Elle participe à la description des activités de processus (c'est-à-dire les compétences requises à la réalisation de chaque activité) et à l'affectation des acteurs susceptibles de les exécuter (c'est-à-dire les compétences acquises par les acteurs). L'intégration de la notion de compétence requise dans la gestion des processus métier pose des problèmes liés à la structuration, l'identification et l'extraction des compétences afin de pouvoir les exploiter. Pour parvenir à résoudre ces problèmes, nous avons présenté dans le chapitre précédent la structure et les caractéristiques de l'ontologie de compétences requises (OCR) que nous avons définie pour construire le référentiel de compétences requises (RCR). L'ontologie de compétences requises est utilisée pour générer la liste des compétences requises susceptibles de satisfaire la requête du manager du processus (*Recherche de compétences requises* comme l'illustre la Figure 4.1).

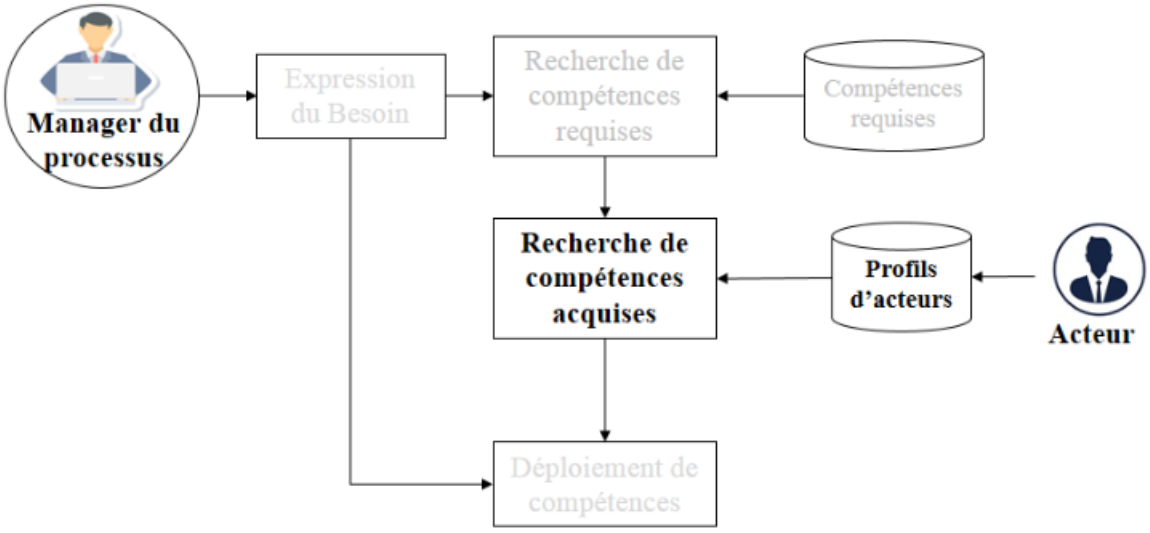


FIGURE 4.1 – Etapes principales de notre approche

Nous allons détailler, dans ce chapitre, la troisième étape de notre approche : **la recherche de compétences acquises** (Figure 4.1). Les compétences acquises sont utilisées dans le cadre de notre travail pour indexer les profils d'acteurs. Pour faciliter l'identification des acteurs, chaque acteur est indexé par la liste de compétences qu'il possède. L'ensemble de compétences acquises évaluées correspond au profil d'acteur en question. Nous définissons dans la section suivante, le processus de recherche de profils d'acteurs pertinents qui est composé de trois étapes principales. Dans la section 3, nous détaillons la première étape de ce processus : organisation des profils d'acteurs. Pour améliorer l'accès et accélérer le processus d'identification des profils d'acteurs, nous introduisons le formalisme que nous avons adopté pour construire le référentiel de compétences acquises (RCA). La deuxième et troisième étape du processus de recherche de compétences acquises sont détaillées dans la section 4.

Nous réutilisons le résultat de l'exemple du chapitre 3 pour expliquer le mécanisme de sélection de compétences acquises conformément au livrable de l'étape précédente, avant de conclure ce chapitre dans la section 5.

2 Présentation générale du processus de recherche de compétences acquises

Dans le cadre de notre travail, deux référentiels sont utilisés pour supporter la recherche de compétences. Le référentiel de compétences requises (RCR) construit selon une approche ontologique permet de structurer les compétences métier de l'entreprise. Quant au référentiel de compétences acquises (RCA) que nous allons présenter dans ce chapitre, il permet d'organiser les profils d'acteurs. Le système de recherche d'acteurs (SRA) utilise le RCA pour identifier les acteurs pertinents susceptibles d'implémenter les compétences requises retournées par le système de recherche de compétences (SRC). L'objectif consiste à définir un mécanisme de correspondance entre le vecteur de compétences requis et les profils d'acteurs. L'élaboration d'un processus de recherche d'acteurs pose des problèmes tant pour l'indexation des profils d'acteurs que pour la sélection des acteurs pertinents. Comme le montre la Figure 4.2, ce processus comporte trois étapes principales : organisation, insertion et sélection.

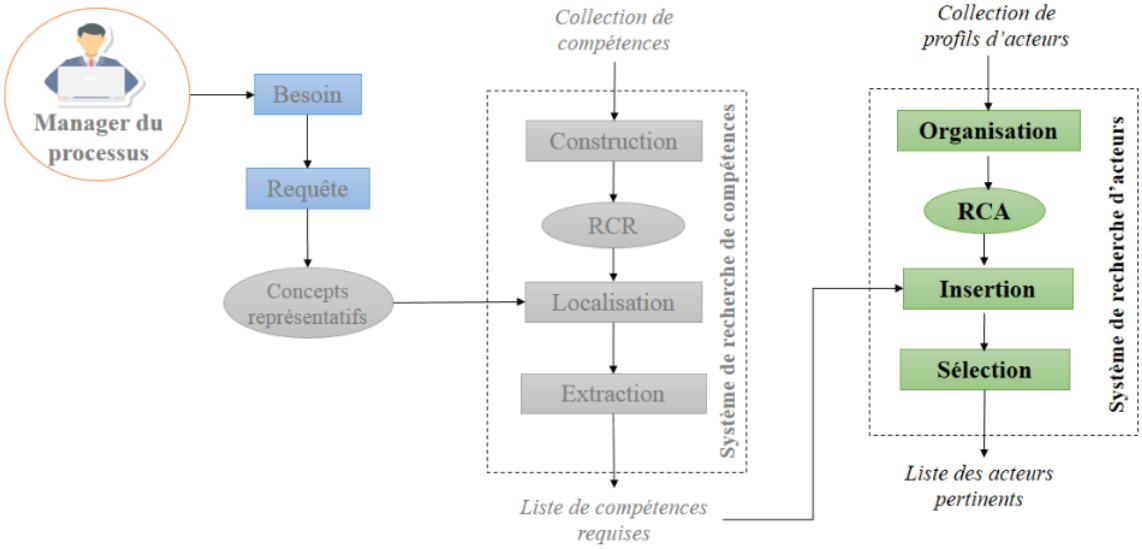


FIGURE 4.2 – Processus de recherche de compétences acquises

Organisation La première étape consiste à construire le RCA que l'on veut utiliser pour sélectionner les acteurs pertinents. Il est déduit à partir de l'ensemble des profils spécifiés par les acteurs. Nous montrons dans la section 3 comment ce référentiel peut être établi dans le cadre de notre travail.

Insertion La deuxième étape consiste à récupérer le vecteur de compétences requis retourné par le système de recherche de compétences (SRC) et à l'insérer dans le référentiel de compétences acquises (RCA) pour identifier les profils d'acteurs qui partagent la plupart de ces compétences requises.

Sélection La dernière étape de la recherche a pour rôle d'étendre l'espace de recherche en sélectionnant toute alternative (acteur) susceptible d'implémenter au moins une compétence requise. Les alternatives sélectionnées sont organisées selon les catégories de compétences spécifiées par le système de recherche de compétences (SRC).

3 Organisation des profils d'acteurs

L'étape initiale du processus de recherche d'acteurs consiste à construire le référentiel de compétences acquises (RCA). Pour cela, nous avons identifié le besoin de modéliser le profil d'acteur qui est défini ci-dessous.

3.1 Profil d'acteur

Chaque acteur est indexé par la liste de compétences qu'il possède. A son tour, chaque compétence est associée à un niveau de maitrise ce qui permet de faciliter son évaluation. Généralement, les compétences métier que nous mobilisons dans le cadre de notre travail, sont observables car elles sont mises en œuvre dans la réalisation des activités de l'entreprise. Elles ne posent donc en général pas trop de problème pour les identifier et les évaluer. Nous avons défini le profil d'acteur sous la forme d'un vecteur regroupant les compétences acquises qualifiées comme suit :

$$\begin{pmatrix} (C_1, n_{m_1}) \\ (C_2, n_{m_2}) \\ \vdots \\ (C_n, n_{m_n}) \end{pmatrix} \tag{4.1}$$

avec C_i l'index de la compétence i, et $n_{m,i}$, le niveau de maîtrise de la compétence i pour l'acteur m.

Dans notre approche, la définition et l'évaluation des compétences acquises sont sous la responsabilité de l'acteur. Pour définir son profil, il doit mentionner les labels [1] des compétences qu'il maitrise et les niveaux de maitrise correspondants. Nous détaillons dans la suite comment la définition et l'évaluation des compétences sont établies dans le cadre de notre approche.

Indexation de compétences

Les labels de compétences acquises sont fournis manuellement par l'acteur sous la forme d'un ensemble de mots clés permettant d'indexer son profil. Ces mots clés

[1] Nom de la compétence utilisé pour l'étiqueter

peuvent être différents d'un profil à un autre mais ayant le même sens (i.e des acteurs disposant de la même compétence mais qui utilisent des mots clés différents pour indexer leurs profils).

Dans le chapitre précédent, nous avons souligné que les concepts pères sont utilisés pour remplir le vecteur de compétences requis. Ce vecteur est utilisé à son tour pour sélectionner les acteurs pertinents en se référant au RCA. Si un acteur disposant d'une compétence requise donnée, a utilisé un autre mot clé pour indexer son profil, alors la recherche ne peut pas aboutir et il ne sera pas sélectionné. Ainsi, nous avons identifié la nécessité de n'utiliser que les concepts pères pour annoter les compétences acquises. Dans le cadre de notre travail, tous les mots qui servent à indexer les profils d'acteurs sont filtrés à l'aide de notre ontologie de compétences requises : le filtrage permet de trouver pour chaque index le concept père et de le remplacer dans le profil d'acteur correspondant.

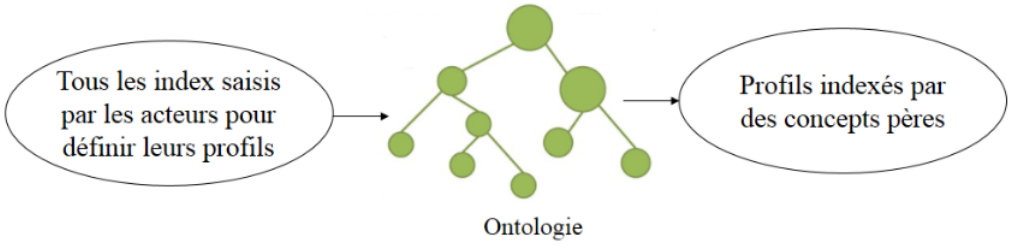


FIGURE 4.3 – Filtrage des index de compétences acquises

Reprenons l'exemple du chapitre 3 et considérons le vecteur de compétences requis Q_b cherchant les acteurs qui disposent des compétences : *Maitriser Ansys* et *Maitriser Adapco*. Considérons 3 profils d'acteurs indexés par les compétences suivantes :

- P_1 :
  - *Maitriser Adapco*
  - *Maitriser Ansys*
- P_2 :
  - *Maitriser Adapco*
  - *Maitriser Ansys*
- P_3 :
  - *Être compétent en Adapco*

Le profil P_3 ne sera pas sélectionné pour répondre au Q_b vu que la relation sémantique entre *Être compétent en Adapco* et *Maitriser Adapco* n'apparait pas dans le profil d'acteur P_3. D'où l'importance de prendre en considération les relations sémantiques définies dans l'ontologie de compétences requises (OCR) pour

harmoniser les index des profils d'acteurs.

L'utilisation des concepts pères permet d'aligner le RCR (i.e l'ontologie) et le RCA. Cet alignement permet d'associer à chaque compétence requise dans le RCR la liste des acteurs pertinents dans RCA. Ce qui assure la cohérence et garantit la sélection de toutes les alternatives dans le processus de recherche d'acteurs. Le filtrage des index des compétences acquises est décrit par l'algorithme suivant :

Filtrage des index
Pour chaque profil d'acteur Pr_{act} Pour chaque compétence acquise c_a dans Pr_{act} Localiser c_a dans l'OCR (ontologie de compétences requises) en utilisant la mesure de Dice (voir chapitre 3) si c_a.catégorie=Fils Parcourir toutes les relations sémantiques jusqu'à arriver au concept père principal c_{o_p} et remplacer le concept c_a par c_{o_p} c_r. nom = c_{o_p}.nom si c_a.catégorie=Père Garder le même index si c_a n'existe pas dans l'ontologie index non valide

Evaluation des compétences

Pour mesurer le niveau de maitrise des compétences, la démarche retenue est auto-évaluative dans la mesure où elle se base sur la perception de chaque acteur. Si cette approche comporte des limites, elle permet néanmoins de contourner la difficulté de mettre en œuvre une évaluation systématique des compétences en situation de travail. Ce choix d'auto-évaluation correspond aussi à la volonté de responsabiliser les acteurs dans les approches agiles. Nous avons besoin d'une échelle qui permet de différencier les contributions de chaque acteur pour la même compétence. Une échelle selon deux niveaux ne permet pas de différencier et évaluer les performances atteintes pour chaque implémentation de compétence. Ceci reviendrait à "maitrise ou ne maitrise pas" la compétence. Plusieurs échelles de mesure sont proposées dans la littérature. Il y a des échelles qualitatives comme celle de [115] qui comporte trois niveaux de capacités cognitives : application ("je sais appliquer"), adaptation ("je sais adapter") et création ("je sais innover"). [131] a proposé une autre échelle qualitative avec quatre niveaux pour décrire la maîtrise du savoir : notion, aisance, expertise, formation. D'autres auteurs se contentent d'évaluer le niveau de compétence par des niveaux symboliques (faible, moyen, etc.).

Dans le chapitre 3, nous avons défini un seuil d'acceptabilité du niveau de maitrise pour satisfaire un objectif ; c'est l'attribut *niveau de maitrise requis* du concept *compétence* dans l'ontologie de compétences requises. Pour une compétence requise, trois cas de figure de types d'acteurs peuvent être proposés : sur-compétent (le

niveau de maitrise acquis est supérieur au niveau de maitrise requis), compétent (le niveau de maitrise acquis est égal au niveau de maitrise requis) et insuffisamment-compétent (le niveau de maitrise acquis est inférieur au niveau de maitrise requis). Pour mesurer l'écart entre le niveau requis et le niveau acquis, nous avons choisi une échelle numérique où chaque compétence possède un niveau de maitrise exprimé par une valeur quantitative. Nous avons choisi une échelle sur cinq niveaux par analogie au référentiel français ROME et au travail de [36]. Cette échelle consiste en une échelle numérique avec une brève description de chaque niveau comme il est résumé dans le tableau 4.2.

Niveau de maitrise n_{mi}	**Signification**
0	Absence
0.25	Sensibilisation
0.5	Capacité à mettre en pratique
0.75	Maitrise
1	Expertise, possibilité de faire évoluer la fonction

Tableau 4.2 – Niveaux de maitrise selon le référentiel ROME [36]

3.2 Classification des profils par le treillis de Galois

A chaque couple acteur-compétence (Ex_i, C_i) est associé un degré entre [0, 1]. Partant de cette relation, nous avons :

- P : Un ensemble fini d'acteurs
- T : Un ensemble fini de compétences
- Le couple (Ex_i, C_i) $\in_\alpha$ R représente le fait que l'acteur Ex_i maitrise la compétence C_i avec un niveau de maitrise égale à α appartenant à l'intervalle [0, 1].

La taille de la matrice est définie par les cardinaux des ensembles PxT. Les en-têtes des colonnes correspondent aux compétences identifiées qui sont des concepts pères dans l'ontologie de compétences requises. Les en-têtes de lignes correspondent aux identifiants des acteurs. Et l'élément x_{ij} de la matrice avec $0 \leq$ i $\leq$ p, $0 \leq$ j $\leq$ t, représente le niveau de maitrise de la compétence C_j par l'acteur Ex_i. Les valeurs de x_{ij} sont celles du tableau 4.2 : 0, 0.25, 0.5, 0.75 et 1.

$$M_{Prf} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_t \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \vdots & \downarrow \end{array} \\ \left(\begin{array}{ccccc} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1t} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2t} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3t} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p1} & x_{p2} & x_{p3} & \dots & x_{pt} \end{array} \right) \end{array} \begin{array}{l} \\ \leftarrow Ex_1 \\ \leftarrow Ex_2 \\ \leftarrow Ex_3 \\ \leftarrow \dots \\ \leftarrow Ex_p \end{array} \tag{4.2}$$

Afin d'exploiter convenablement cette matrice, nous devons répondre à cette question : quel mécanisme serait le plus adapté pour construire le référentiel de

compétences acquises (RCA) et supporter la recherche des acteurs pertinents ? En effet, il est nécessaire de fixer nos besoins par rapport au référentiel de compétences acquises que nous souhaitons utiliser pour atteindre nos objectifs. Nos besoins primordiaux sont :

1. *Méthode de classification :* nous favorisons dans le cadre de notre travail de classer les acteurs selon les compétences partagées. Regrouper les acteurs maitrisant les mêmes compétences dans le même ensemble permet d'accélérer le processus de recherche et de faciliter l'identification des alternatives pour chaque compétence requise. Cette méthode d'organisation favorise l'identification des réponses à toute requête de recherche d'expertise donnée.
2. *Méthode de sélection :* nous voulons identifier toutes les alternatives pour chaque compétence du vecteur de compétences requis. Ce qui permet de satisfaire deux types de correspondance entre le vecteur de compétences requis et les profils d'acteurs : correspondance totale (l'acteur sélectionné est susceptible d'implémenter la totalité des compétences requises) et correspondance partielle (l'acteur sélectionné ne maitrise qu'une partie des compétences requises). Ainsi, un acteur pertinent dans le cadre de notre travail est défini comme étant tout acteur disposant au moins d'une compétence requise.
3. *Type de profil d'acteur :* le profil d'acteur est évolutif dans le temps ; i.e l'acteur peut apprendre une nouvelle compétence comme il peut améliorer/dégrader la compétence acquise en augmentant/réduisant son niveau de maitrise. Il faut prendre en compte le côté dynamique du profil d'acteur en définissant un référentiel de compétences acquises dynamique permettant d'intégrer les changements dans les profils des acteurs.

Fort de ces besoins, nous avons choisi de représenter le référentiel de compétences acquises sous la forme d'un treillis en adoptant l'approche de Galois [75], [76]. Un treillis est représenté par un diagramme dit *diagramme de Hasse* [76] où chaque noeud est un regroupement de Galois. Chaque regroupement de Galois est composé d'un ensemble d'acteurs disposant de la/les même(s) compétence(s) dans notre contexte. L'utilisation du treillis de Galois pour résoudre le problème d'organisation nous permet de satisfaire les points cités précédemment ; à savoir :

1. chaque élément existant dans le treillis est à la base une réponse à une requête de recherche donnée. Il regroupe tous les acteurs maitrisant la/les même(s) compétence(s) dans un regroupement de Galois. Dans un regroupement de Galois sous la forme d'un couple (Ex :Acteurs, C :Compétences), s'il y a des acteurs qui ne sont pas dans Ex et qui maitrisent toutes les compétences de C, alors ils doivent être ajoutés à C pour qu'il soit un élément du treillis.
2. La relation d'ordre dans le treillis de Galois permet de classer les regroupements identifiés d'une manière décroissante ou croissante (généralisation ou spécialisation). En effet, en parcourant le treillis du haut en bas (inversement du bas en haut), les compétences partagées diminuent et les acteurs augmentent (inversement le nombre des compétences augmentent et le nombre d'acteurs diminuent). Ce qui permet de satisfaire les deux types de correspondance (totale et partielle).

3. Le treillis du Galois [76] est une méthode dynamique de classification où des nouveaux éléments peuvent être ajoutés au treillis ou des relations existantes (niveaux de maitrise dans notre contexte) entre les acteurs et leurs compétences peuvent être modifiées.

La spécification du treillis de Galois dans le cadre de notre travail est présentée dans la suite.

Définition et spécification du treillis de compétences

Le treillis de Galois est à la base de ce qui est aussi appelé "analyse de concepts formels", principalement utilisée en analyse des données et en extraction de connaissances [168], [75]. Les notions les plus usuelles relatives aux treillis de Galois dans le cadre de notre travail sont les suivantes :

1. comme donnée d'entrée, nous considérons une relation entre un ensemble d'acteurs P et un ensemble de compétences T représentées par un ensemble de mots-clés W, ces mots clés correspondent aux noms des concepts pères de compétences dans l'ontologie de compétences requises. Le triplet (P, T, R), où $R \subseteq PxT$ est représenté sous la forme d'une matrice (formule 4.2) où les colonnes sont étiquetées par les éléments de T (compétences), les lignes par les éléments de P (acteurs). De la relation R, on peut dériver pour chaque acteur son profil composé de mots-clés, c'est-à-dire, l'ensemble de toutes les compétences qu'il maîtrise. De même, on peut dériver pour chaque compétence son modèle d'acteur c'est-à-dire, l'ensemble de tous les acteurs qui maitrisent cette compétence.
2. un élément du treillis E_t est déterminé par son extension (f) et son intension (g) : où l'extension se compose de tous les acteurs qui partagent les compétences de l'intension, et vice versa, l'intension se compose de toutes les compétences qui sont communes aux acteurs de l'extension. De ce fait, chaque élément du treillis est un couple noté (P, T), et composé d'un ensemble $P \in g(T)$ et d'un ensemble $T \in f(P)$ satisfaisant les deux propriétés suivantes que nous avons adaptées à nos besoins :

$$g(T) = \{a \in P \quad telque \quad \forall c^{\alpha} \in T, \quad \alpha = minR(a, c) \geq n_r\} \tag{4.3}$$

$$f(P) = \{c^{\alpha} \in T \quad telque \quad \forall a \in P, \quad R(a, c) \geq n_r\} \tag{4.4}$$

Le couple d'applications (f, g) définit une correspondance de Galois entre l'ensemble des acteurs P et l'ensemble des compétences T.

n_r est le niveau de maitrise requis pour chaque compétence disponible dans l'ontologie. Seuls les acteurs ayant les niveaux de maîtrise acquis supérieurs ou égaux à n_r seront pris en compte dans le processus de construction du treillis. La relation $R(Ex, C) \geq n_r$ implique que l'acteur a est capable de mettre en pratique la compétence C. Les acteurs ayant un niveau de maîtrise inférieur à n_r sont considérés comme sous-compétents. La notion de sur-compétent n'est pas prise en compte à ce niveau.

3. la relation de subsomption (ou relation d'ordre) est la relation d'ordre partiel $\leq$ qui est définie entre les éléments du Galois : $E_{t_1} \leq E_{t_2}$ ce qui lit E_{t_1} est subsumé par E_{t_2}, ou E_{t_2} subsume E_{t_1}, ssi Extension $(E_{t_1}) \subseteq$ Extension (E_{t_2}), et de façon duale Intension $(E_{t_2}) \subseteq$ Intension (E_{t_1}). En d'autres termes, les acteurs de l'élément E_{t_1} maitrisent la totalité des compétences de l'élément E_{t_2}.

Construction du treillis de compétences

Le treillis de compétences (que nous appelons $\theta(C)$) est défini par un ensemble de couples (p, t) reliés par des arcs traduisant la relation d'ordre entre les deux couples en question. Pour construire le treillis, plusieurs algorithmes sont proposés dans la littérature, dont les plus connus sont cités dans le tableau suivant. Nous avons classé ces algorithmes selon trois critères : (i) incrémental/non incrémental (l'algorithme est appliqué sur un treillis déjà construit ou non), (ii) méthode de construction (ascendante si le treillis est construit/modifié de bas en haut et descendante si l'inverse) et (iii) treillis construit/non construit (l'algorithme déduit le treillis à partir d'une relation matricielle ou non).

Algorithme	Incrémental/Non-Incrémental	Méthode de construction	Treillis construit
[138]	Oui	–	Non
[121]	Oui	Ascendante	Non
[113]	Oui	Descendante	Non
[26]	Non	Descendante	Oui
[38]	Oui	Ascendante	Oui

Les algorithmes suivants (Godin [138] , Norris [121] et Merwe [113]) sont des algorithmes incrémentaux, c'est-à-dire qu'ils permettent de modifier un treillis déjà construit en insérant un nouvel élément. Dans le cadre de notre travail, nous avons besoin de construire le treillis à partir de la matrice définie précédemment (formule 4.2). Pour la construction du treillis, l'algorithme de Bordat [26] est principalement utilisé. Il permet de construire un treillis à partir d'un contexte représenté par une matrice. Il permet de calculer les éléments de Galois par niveau et de déduire les relations entre eux et donc de construire le graphe de Hasse (le diagramme correspondant à la matrice). Nous utilisons donc une version modifiée de l'algorithme de Bordat [26]. Nous avons appliqué la contrainte spécifiée précédemment dans la sélection des acteurs : *que les acteurs ayant un niveau de maitrise supérieur ou égal à n_r sont insérés dans le treillis* qui était appliquée dans les formules d'intension et d'extension définies par les formules 4.3 et 4.4.

Le principe de l'algorithme de Bordat dans le cadre de notre travail est représenté dans la Figure 4.4 composé de trois étapes principales :

1. La première étape prend en entrée la matrice de dimension PxT définie dans la formule 4.2 regroupant les profils des acteurs de l'ensemble P. La méthode adoptée pour construire le treillis de compétences est descendante, c'est-à-dire qu'on commence par initialiser le premier élément du treillis $E_{t_1}=(P, f(P))$ à

intégrer en haut du treillis. $f(P)$ est l'extension de l'ensemble des acteurs P correspondant aux compétences partagées par P. Elle peut être égale à $\emptyset$ s'il n'y a aucune compétence maitrisée par tous les acteurs de l'ensemble P. Après, il faut classer les colonnes de la matrice dans l'ordre des cardinaux croissants des intensions de colonnes.

2. Ensuite on procède à une comparaison des intensions de colonnes pour identifier les éléments du treillis. Un couple (p, t) est un élément du treillis ssi $\nexists$ un autre couple *(p', t') telque* $t{=}t'$ ou $t{\subset}t'$. Pour chaque nouveau élément construit on identifie la liste des éléments couverts par cet élément. Un élément Et_2 est couvert par Et_1 ssi $\nexists$ un élément Et_3 telque $Et_2 \subset Et_3$ et $intension(Et_2) \cap intension\ (Et_1){=}intension(Et_3) \cap intension\ (Et_1)$. Ce qui permet d'identifier les éléments du haut niveau et de déduire les éléments du niveau suivant. Nous répétons les instructions pour chaque nouveau élément identifié à chaque itération jusqu'à arriver au dernier élément du treillis (en bas) qui est sous la forme : $(g(T), T).g(T)$ peut être égale à $\emptyset$ s'il n'y a aucun acteur qui maitrise la totalité de compétences de l'ensemble T.

3. Selon l'ordre d'identification des éléments du treillis, nous déduisons les relations d'ordre générées ce qui permet de construire le diagramme de Hasse. Les relations d'ordre existent entre un élément Et_i et Et_j ssi Et_i est couvert par Et_j.

Pour mieux illustrer le principe de construction du treillis, nous allons considérer l'exemple suivant. On reprendra ici la définition de la matrice introduite dans la section 3.2. Nous considérons 8 compétences et 8 acteurs avec les niveaux de maitrise acquis correspondant à chaque couple (Ex_i, C_j) permet de remplir la matrice comme suit :

Compétence / Acteur	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
Ex_1 : John	0.75	1	0.5	1	0.75	0	0	0
Ex_2 : Paul	1	0.75	0.25	1	0.25	0.25	0	0.25
Ex_3 : Georges	0.75	0	0	0.75	0	0	0.25	0
Ex_4 : Adrian	0	0	0.25	1	0.25	0.25	0	0.25
Ex_5 : Richard	0	0.75	1	0.75	0.75	0.25	0.25	0
Ex_6 : Steve	0.5	0.25	0	1	0	0.75	0	0
Ex_7 : Mary	0.75	0.75	1	0	0.25	1	0	0
Ex_8 : Mark	0.5	0	1	1	0.25	0.25	0	0

Tableau 4.3 – Exemple d'une matrice de profils

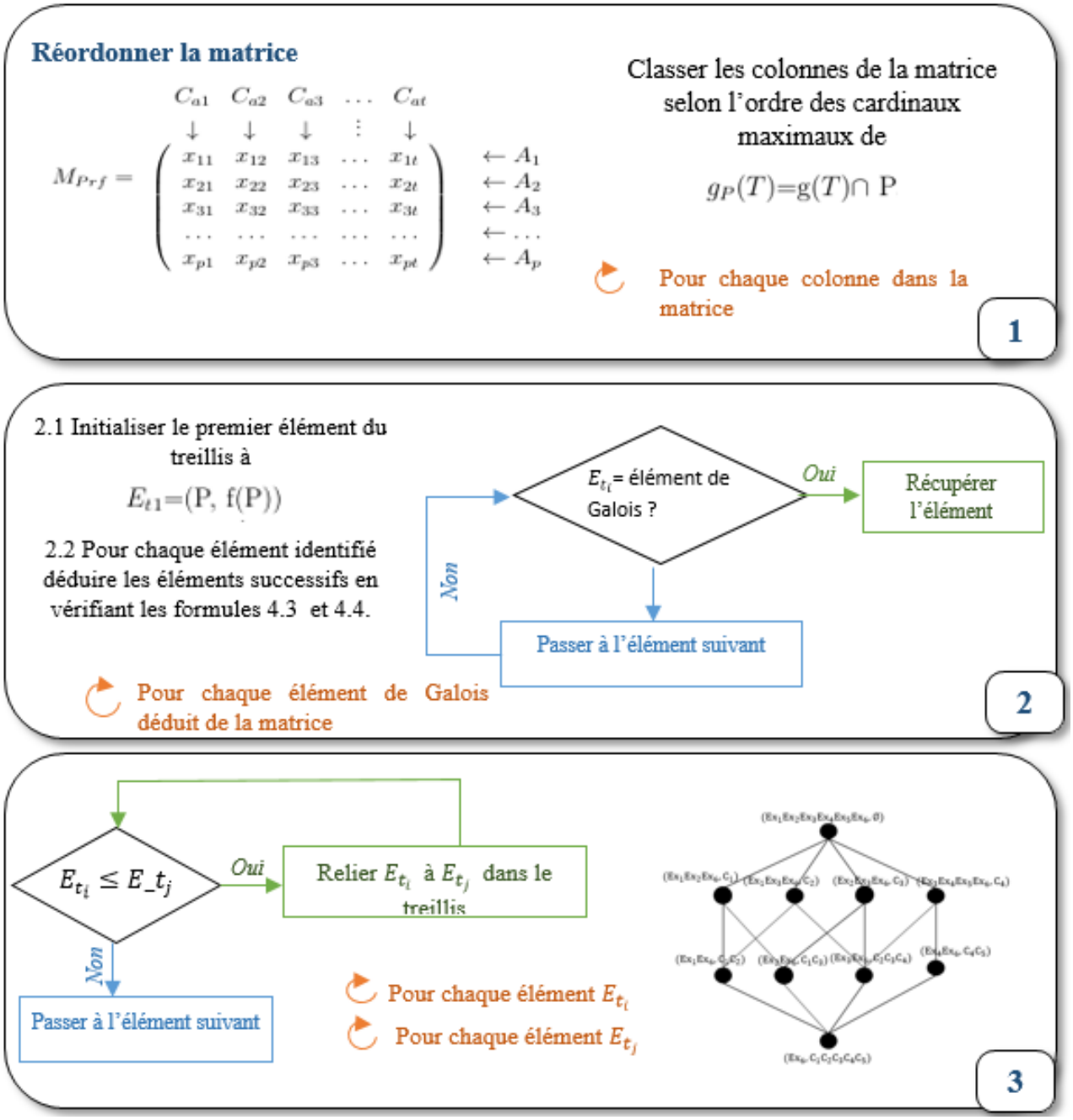


FIGURE 4.4 – Principe de construction du treillis

Supposons que les niveaux de maitrise minimums requis définis dans l'ontologie de compétences requises pour ces 8 compétences sont les suivants :

Compétence / Niveau requis	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
n_r	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

En appliquant la contrainte de construction du treillis, les niveaux de maitrise acquis en dessous de ces valeurs ne sont pas pris en considération. Ce qui permet d'obtenir

la nouvelle matrice représentée dans le tableau suivant.

Acteur \ Compétence	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
Ex_1 : John	0.75	1	0.5	1	0.75	0	0	0
Ex_2 : Paul	1	0.75	0	1	0	0	0	0
Ex_3 : Georges	0.75	0	0	0.75	0	0	0	0
Ex_4 : Adrian	0	0	0	1	0	0	0	0
Ex_5 : Richard	0	0.75	1	0.75	0.75	0	0	0
Ex_6 : Steve	0	0	0	1	0	0.75	0	0
Ex_7 : Mary	0.75	0.75	1	0	0	1	0	0
Ex_8 : Mark	0	0	1	1	0	0	0	0

Tableau 4.4 – Nouvelle matrice de profils

En appliquant l'algorithme de construction du treillis, nous commençons par sélectionner le premier élément à intégrer en haut du treillis qui est : ($Ex_1Ex_2Ex_3Ex_4Ex_5Ex_6Ex_7$ Ex_8,$\emptyset$). Ensuite, nous identifions tous les éléments à ce niveau et on déduit les relations d'ordre entre ces éléments et le/les élément(s) identifié(s) au niveau plus haut pour construire au fur et à mesure le treillis (Figure 4.5). Pour cela, les étapes suivantes sont :

- Après avoir initialisé le premier élément à ($Ex_1Ex_2Ex_3Ex_4Ex_5Ex_6Ex_7Ex_8$,$\emptyset$) nous commençons par calculer les intensions ($g(C_i)$) : $g(C_1)$=$Ex_1Ex_2Ex_3Ex_7$; $g(C_2)$=Ex_1Ex_2 Ex_5Ex_7 ; $g(C_3)$= $Ex_1Ex_5Ex_7Ex_8$; $g(C_4)$= $Ex_1Ex_2Ex_3Ex_4Ex_5Ex_6Ex_8$ et $g(C_5)$=Ex_1Ex_5, $g(C_6)$=Ex_6Ex_7, $g(C_7)$=$\emptyset$, $g(C_8)$=$\emptyset$. A ce niveau, nous constatons qu'il n'y a aucun acteur disposant des compétences C_7 et C_8. Nous procédons à l'identification des éléments de Galois et nous concluons que les éléments ($Ex_1Ex_2Ex_3Ex_7$, C_1), ($Ex_1Ex_2Ex_5$ Ex_7, C_2), ($Ex_1Ex_5Ex_7Ex_8$, C_3), ($Ex_1Ex_2Ex_3Ex_4Ex_5Ex_6Ex_8$, C_4) et (Ex_6Ex_7, C_6) sont des éléments de Galois. L'élément (Ex_1Ex_5, C_5) n'est pas un élément de Galois parce que g(C_5) $\subseteq$ g(C_2), donc il n'est pas inséré dans le treillis.
- Nous répétons les instructions pour chaque nouvel élément identifié à chaque itération. Ainsi, les différents éléments identifiés dans l'ordre d'apparition sont : ($Ex_1Ex_2Ex_7$, C_1C_2), ($Ex_1Ex_5Ex_7$, C_2C_3), ($Ex_1Ex_2Ex_3$, C_1C_4), ($Ex_1Ex_2Ex_5$,C_2C_4), ($Ex_1Ex_5Ex_8$, C_3C_4), (Ex_6, C_4C_6), (Ex_1Ex_2,$C_1C_2C_4$), (Ex_1Ex_7,$C_1C_2C_3$), (Ex_1Ex_5,$C_2C_3C_4C_5$), (Ex_1, $C_1C_2C_3C_4C_5$), (Ex_7,$C_1C_2C_3C_6$) et le dernier élément (en bas) est ($\emptyset$, $C_1C_2C_3C_4$ $C_5C_6C_7C_8$).
- Nous déduisons les liaisons entre les différents éléments identifiés, ce qui permet d'obtenir le diagramme présenté dans la Figure 4.5.

Après avoir défini le mécanisme adopté pour organiser les profils d'acteurs et construire le référentiel de compétences acquises (RCA), nous détaillons dans la section suivante le processus de recherche d'acteurs en se référant à ce treillis de compétences $\theta(C)$.

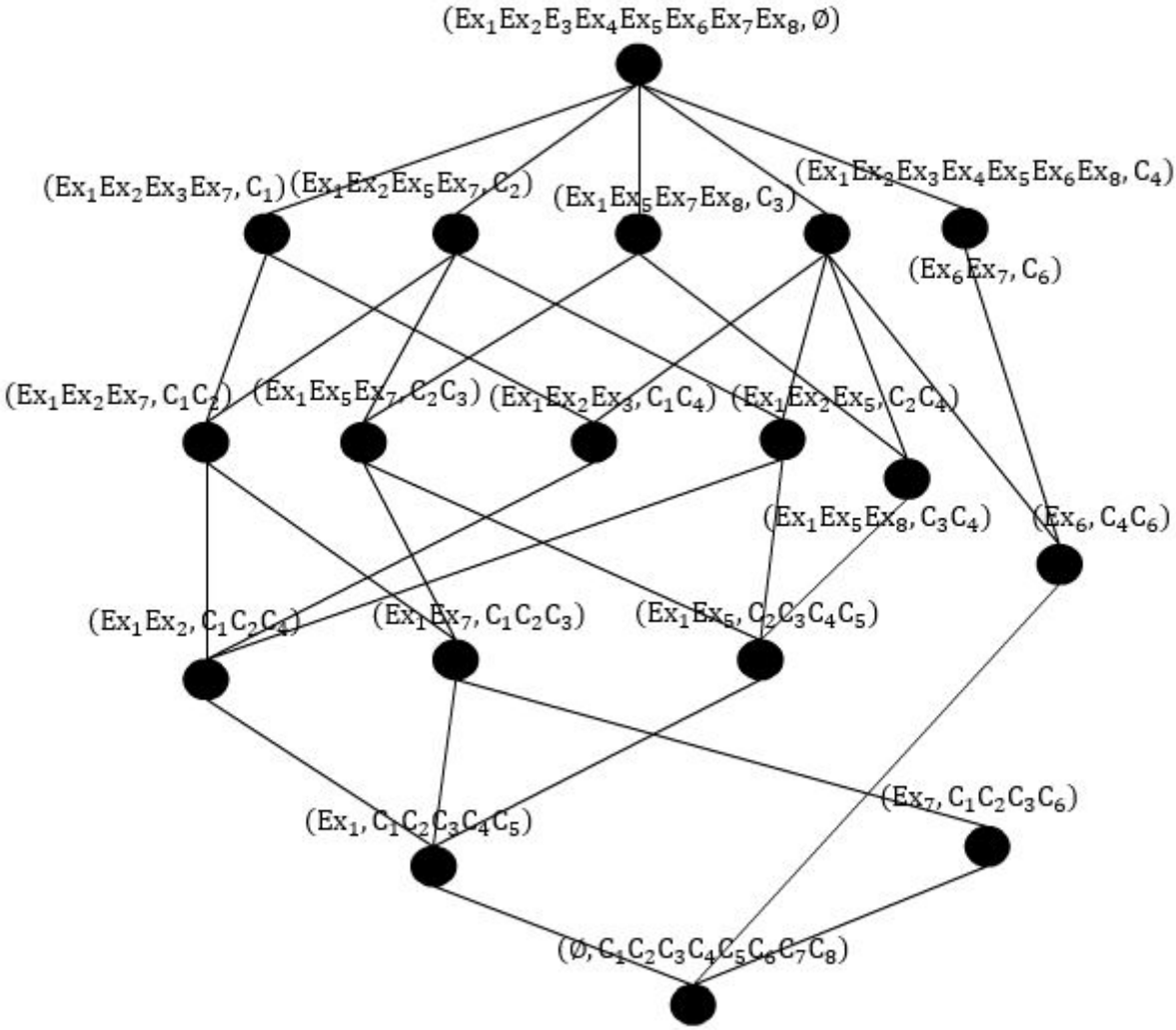


FIGURE 4.5 – Diagramme correspondant au tableau 4.3

4 Recherche d'acteurs pertinents

Des règles d'association peuvent être dérivées en utilisant le treillis de Galois [18]. Dans le cadre de notre travail, ces règles sont des implications de la forme $C_i \rightarrow C_j$ qui s'interprète de la façon suivante : chaque acteur disposant de la compétence C_i a tendance à maitriser la compétence C_j. Considérons l'exemple de la matrice des profils d'acteurs présentée dans le tableau 4.5. La figure 4.6 montre le digramme de Hasse du treillis de Galois obtenu pour le tableau 4.5. Deux règles d'association peuvent être dérivées de ce treillis $C_2 \rightarrow C_1$ (déduite de la relation entre les éléments du treillis 2 et 5) et $C_4 \rightarrow C_3$ (déduite de relation entre les éléments du treillis 4 et 6).

Acteur \ Compétence	c_1	c_2	c_3	c_4
a_1	1	0	1	0
a_2	1	1	0	0
a_3	0	0	1	1

Tableau 4.5 – Représentation matricielle des profils d'acteurs

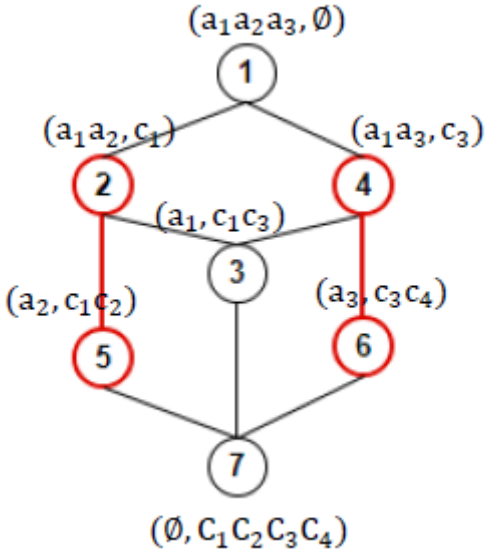


FIGURE 4.6 – Treillis de Galois correspondant à la relation du Tableau 4.5

Dans la suite, nous décrivons notre travail de recherche de compétences acquises qui s'appuie sur la classification des profils d'acteurs par le treillis combiné avec une ontologie pour harmoniser les index de compétences. Comme décrit dans la Figure 4.2, le livrable de l'étape précédente (liste de compétences requises), retourné par le système de recherche de compétences en s'appuyant sur l'ontologie de compétences requises (l'OCR), est utilisé pour guider le processus de recherche d'acteurs. La liste des compétences requises est sous la forme d'un ensemble de couples (C_i, n_i) où C_i est une compétence requise et n_i est le niveau de maîtrise requis. Les compétences requises similaires sont regroupées dans la même catégorie de compétence. Cela permet d'avoir une organisation par catégories de compétences requises. Pour chaque compétence requise, plusieurs alternatives peuvent être sélectionnées. C'est-à-dire que pour chaque couple (C_i, n_i), une liste de couple (C_{ij}, n_{ij}) peut être identifiée en se référant au treillis. Où C_{ij} est la compétence acquise par l'acteur j et n_{ij} est le niveau de maitrise correspondant (figure 4.7).

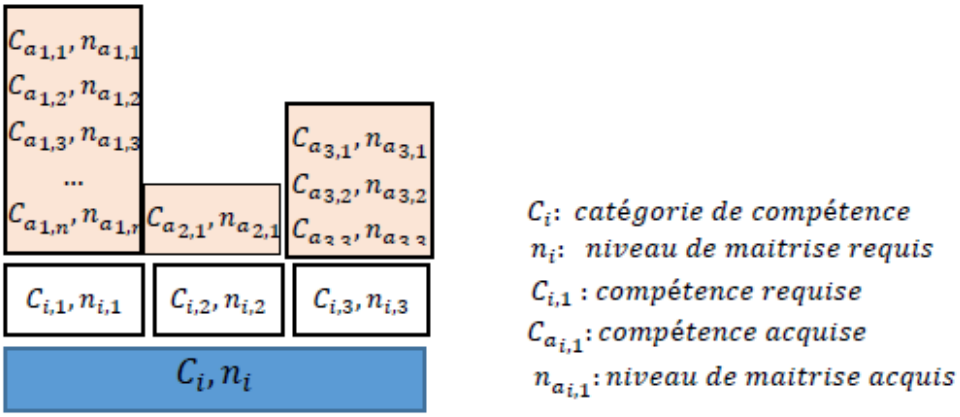


FIGURE 4.7 – Correspondance compétence requise-acquise

Pour générer la liste de ces alternatives deux étapes principales sont suivies : (i) insertion ; cette étape consiste à utiliser le treillis de compétences construit à partir de la matrice de profils et le vecteur de compétences requis retourné par le système de recherche de compétences (SRC) pour trouver l'élément de Galois ayant comme intension le vecteur de compétences requis. Notons par $E(t_{localise})$ cet élément. Et (ii) sélection ; l'objectif de cette étape est d'extraire l'ensemble des acteurs figurant dans les extensions des subsumants de l'élément $E(t_{localise})$. Ce qui permet de trouver les profils d'acteurs ayant une correspondance partielle avec le vecteur de compétences requis.

Dans la suite nous décrivons le principe de ces étapes (insertion et sélection) comme l'illustre la figure 4.10 et nous expliquons la démarche sur le treillis construit dans la section 3.2.2.

4.1 Insertion

La première étape du processus de recherche de compétences acquises consiste à localiser l'élément dans le treillis ayant comme intension le vecteur de compétences requis retourné par le système de recherche de compétences (SRC). C'est-à-dire l'ensemble des acteurs ou l'unique acteur qui maitrisent/maitrise toutes les compétences de ce vecteur. $E(t_{localise})$ sera le point de départ de navigation dans le treillis.

Comme présenté précédemment, chaque élément dans le treillis est sous la forme d'un couple (ensemble d'acteurs, ensemble de compétences). Pour insérer le vecteur de compétences requises dans le treillis $\theta(C)$, notre travail s'est inspiré de la méthode de [114]. L'idée de base est de commencer la recherche du bas du treillis (où il y a toutes les compétences) vers le haut en comparant à chaque fois l'intension (ensemble de compétences) de l'élément du treillis en question avec le vecteur de compétences requis. Si l'intension C d'un élément $X = (Ex, C)$ ne comprend pas la liste de compétences recherchées alors tous les éléments associés à X sont ignorés

(vu que leurs intensions sont des parties de C). Une fois le vecteur de compétences requis (V_{CRs}) localisé dans le treillis, l'extension de cet ensemble de compétences (c'est à dire les acteurs) est sélectionnée. Le principe est décrit dans l'algorithme suivant :

Insertion du V_{CRs} dans le treillis

Initialiser l'élément à insérer dans le treillis à :
  $E(t_{localise})$=($\emptyset$, V_{CRs})
Pour chaque élément X=(Ex, C) dans le treillis
  Si C $\not\subset$ V_{CRs} alors
    ignorer tous les éléments du treillis reliés à X
    et passer à l'élément suivant
  Si V_{CRs}=C alors
    g(V_{CRs})=Ex
    et localiser l'élément : $E(t_{localise})$= X

Reprenons l'extrait du treillis que nous avons construit dans la section 3.2.2. Il faut noter que l'exemple de la matrice relationnelle que nous avons considéré pour illustrer la démarche dans ce chapitre contient un nombre limité de données pour garder un treillis visible et de taille modérée. Toutefois, le treillis de Galois est utilisé pour une grande quantité de données et plusieurs travaux ont prouvé l'efficacité de ce mécanisme dans la recherche des réponses à savoir [21] et [84].

Pour illustrer l'étape d'insertion, nous considérons le vecteur de compétences requises que nous avons défini dans le chapitre précédent. Il est composé de 5 compétences comme il est illustré par la Figure 4.8.

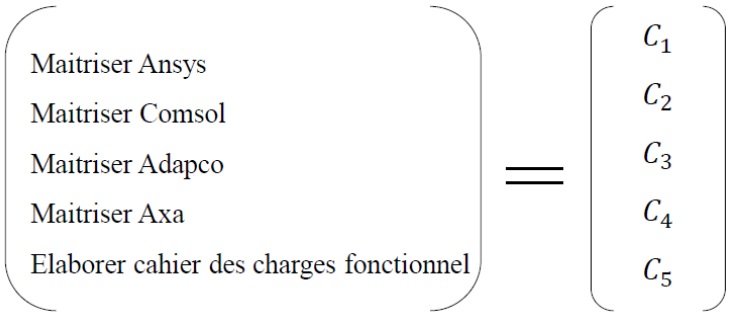


FIGURE 4.8 – Exemple du vecteur de compétences requises

Comme nous l'avons expliqué, la méthode d'extraction des acteurs pertinents débute par la localisation de l'élément du Galois. L'élément à insérer dans le treillis (figure 4.8) est : ($\emptyset$, $C_1C_2C_3C_4C_5$). Pour cela, il faut commencer par parcourir le treillis d'une manière ascendante, et localiser l'élément dont l'intension correspond aux compétences requises. Comme le montre la figure 4.9, l'intension de l'élément (Ex_1, $C_1C_2C_3C_4C_5$) correspond à la liste des compétences requises. Donc il sera le point

de départ de navigation dans le treillis. Et l'acteur Ex_1 figurant dans l'extension de cet élément est considéré comme une alternative pour chaque compétence requise. Dans cet exemple, il n'y a pas d'ajout du nouvel élément au treillis en insérant le vecteur de compétences requis, puisque l'acteur Ex_1 a une correspondance totale avec ce vecteur.

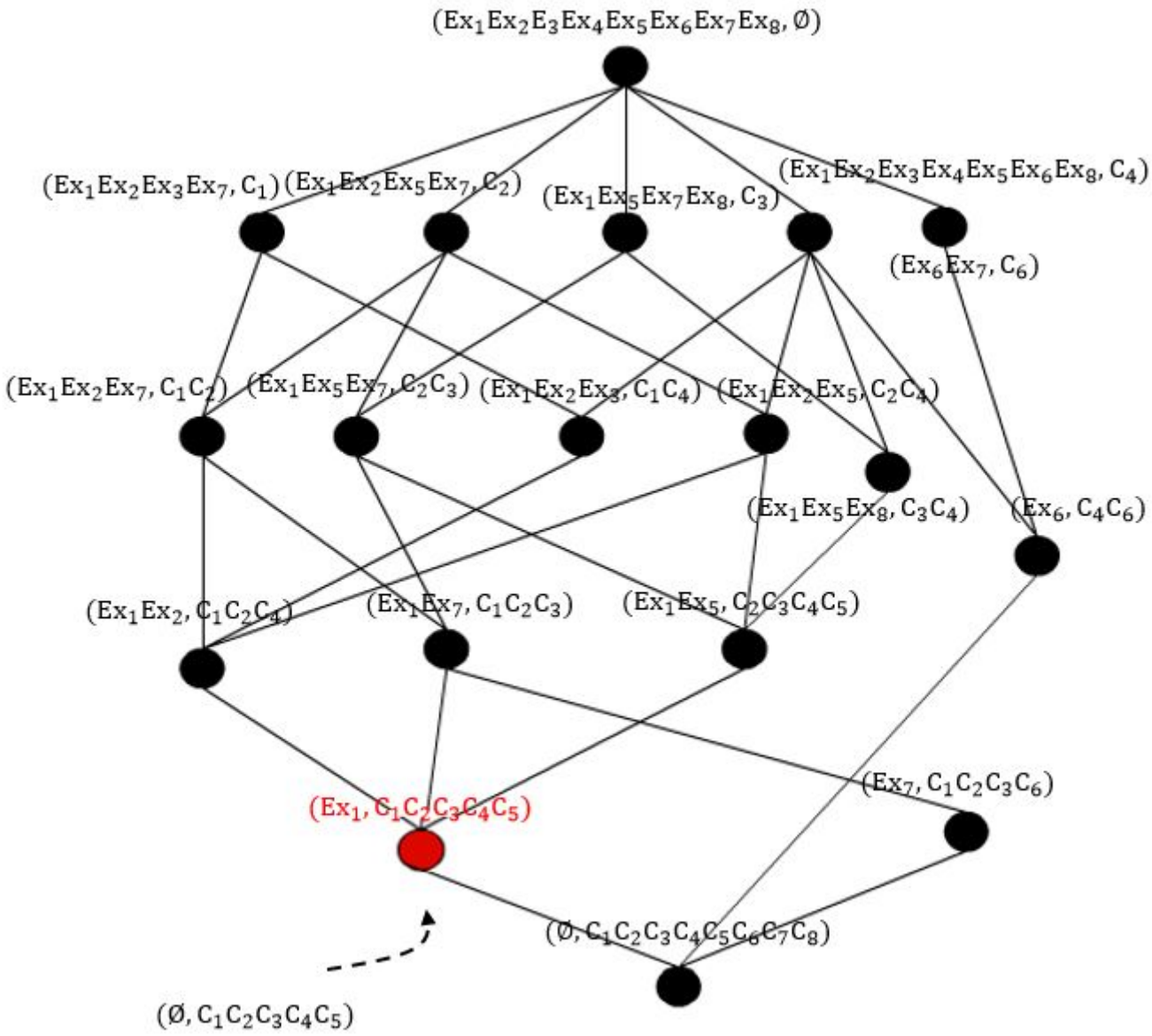


FIGURE 4.9 – Localisation de $E(t_{localise})$

4.2 Sélection

L'objectif de cette étape est d'utiliser le treillis de compétences après l'insertion du vecteur de compétences requis pour générer la liste des acteurs pertinents. Elle s'appuie sur le fondement mathématique des treillis de Galois ce qui nous permet de prouver l'exactitude de ses résultats en identifiant toutes les alternatives. Le treillis

de Galois a l'avantage de donner une présentation exhaustive de l'ensemble de regroupements possibles entre les acteurs et les compétences. En effet les éléments représentés dans le treillis correspondent exactement à tous les couples qu'on peut déduire à partir de la matrice en question (formule 4.1). Cette représentation complète et précise justifie l'exactitude et l'unicité des réponses au vecteur de compétences requis retourné par le système de recherche de compétences (SRC).

L'étape de Sélection va nous permettre de définir l'ensemble des acteurs pertinents en fonction du vecteur de compétences requis suite à une navigation libre en suivant les arcs du graphe du treillis. Le graphe (treillis de Galois) représente une relation de généralisation/spécialisation entre les éléments de Galois. Deux éléments sont voisins s'il existe un arc direct entre eux. Le parcours d'un arc correspond à une généralisation ou une spécialisation par rapport à l'élément courant.

Le système de recherche d'acteurs pertinents doit permettre d'effectuer une recherche en largeur dans le treillis sans compter les éléments déjà vérifiés. Le calcul du résultat se ramène à extraire l'ensemble des acteurs figurant dans les extensions des subsumants de l'élément localisé ayant une intension non vide dans le treillis en question. Ce qui permet d'identifier toute alternative ayant une correspondance partielle/totale avec ce vecteur. Par définition, un élément $E_{t_1} = (A, C)$ subsume un élément $E_{t_2} = (B, D)$ ssi $C \subseteq D$ et $B \subseteq A$. En plus la relation de subsomption entre les éléments du treillis détermine la relation de voisinage entre ces éléments qui est traduit par un arc entre deux éléments dans le treillis. Le principe comme le présente l'algorithme suivant consiste à commencer la navigation à partir de l'élément localisé et de suivre les arcs pour déduire les subsumants de l'élément en question jusqu'à arriver en haut du treillis où il y a l'élément $(\emptyset, T)$.

Sélection des acteurs pertinents

Initialiser le vecteur d'acteurs pertinents à générer depuis le treillis à : $P_{acteurs}$=($\emptyset$)
Construire l'ensemble des subsumants de l'élément localisé dans le treillis X=(Ex, C)
Pour chaque élément Y=(Ex', C') dans le treillis associé à l'élément X c'est à dire Y subsume X
    Si C'$\neq \varnothing$ alors
        Retourner la liste des acteurs figurant dans l'extension de Y (Ex') et qui ne font pas partie de l'extension de X (Ex)
        $P_{acteurs}$=$P_{acteurs}$$\cup$Ex'$\setminus$ Ex.
Réitérer les étapes précédentes pour chaque nouvel élément correspondant au subsumant direct de l'élément en question
Retourner la liste des acteurs figurants dans les extensions des éléments vérifiés : $P_{acteurs}$

Nous définissons le résultat retourné par le treillis sous la forme suivante :

$$R_{S_t} = \{((C_{ri}, n_{r_{Ci}}), \{(C_{exj}, n_{exi_j})\}) \quad \forall 1 < i < n \quad et \quad 1 < j < m_i \quad et \quad n_{exi_j} \geq n_{r_{Ci}}\} \tag{4.5}$$

Avec n est la cardinalité de l'ensemble R_o de compétences requises identifié en utilisant l'ontologie de compétences requises et m_i est la cardinalité de l'ensemble R_{t_i} de compétences acquises associées à la catégorie de compétence C_{c_i}. Il faut noter que $m = \sum_{j=1}^{k} m_j$ est la cardinalité de l'ensemble R_t=$\{C_{Exj}$ tel que $C_{Exj}.nom \in R_o\}$ de compétences acquises identifiées. k est le nombre de catégories de compétences présentes dans R_o. Les compétences acquises associées à la même catégorie de compétence permettent de satisfaire le même objectif, mais elles n'ont pas la même performance. Cette performance dépend entre autre du niveau de maîtrise acquis par le fournisseur de la compétence acquise en question. Pour chaque catégorie de compétence, le système doit sélectionner une seule alternative. Nous présenterons comment ce résultat est filtré dans le chapitre 5.

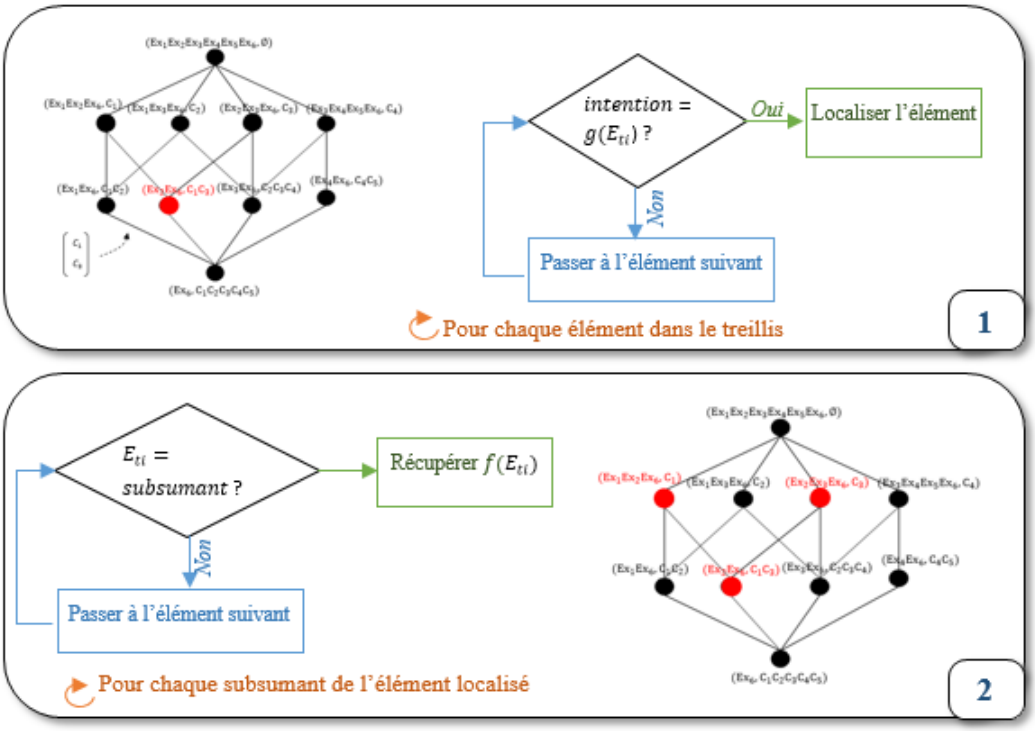


FIGURE 4.10 – Processus de sélection d'acteurs

Pour mieux illustrer le processus de sélection d'acteurs pertinents, reprenons le livrable de l'étape recherche des compétences requises de l'exemple du chapitre 3. Le vecteur de compétences requis est composé de 5 compétences comme l'illustre la Figure 4.11.

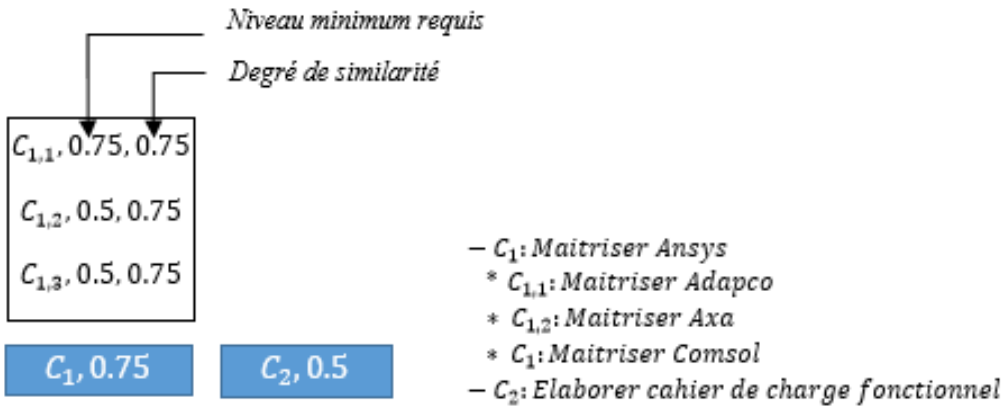


FIGURE 4.11 – Caractéristiques de compétences

Nous avons présenté dans la section 2.1, que l'élément (Ex_1, $C_1C_2C_3C_4C_5$) est le point de départ de la navigation dans le treillis. Ici, une première étape consiste à ajouter au résultat à retourner les acteurs correspondants à l'extension de l'élément localisé, Ex_1 dans notre contexte. Ensuite, on procède à la sélection des acteurs pertinents figurant dans les extensions des subsumants successifs de l'élément localisé. L'ordre de la sélection des acteurs est illustré dans la figure 4.12 selon les compétences partagées avec le vecteur de compétences requises. Les numéros figurant à côté des nœuds du treillis représentent les étapes au cours desquelles les éléments correspondants ont été vérifiés pour générer la liste des acteurs pertinents.

Selon notre exemple, le résultat retourné sera présenté comme suit :

- l'acteur Ex_1 (John) partage avec le vecteur de compétences requises les compétences : C_1, C_2, C_3, C_4 et C_5 ;
- l'acteur Ex_2 (Paul) partage avec le vecteur de compétences requises les compétences C_1, C_2 et C_4 ;
- l'acteur Ex_3 (Georges) partage avec le vecteur de compétences requises les compétences C_1 et C_4 ;
- l'acteur Ex_4 (Adrian) partage avec le vecteur de compétences requises les compétences C_4 ;
- l'acteur Ex_5 (Richard) partage avec le vecteur de compétences requises les compétences C_2 C_3 C_4 et C_5 ;
- l'acteur Ex_6 (Steve) partage avec le vecteur de compétences requises les compétences C_4 ;
- l'acteur Ex_7 (Mary) partage avec le vecteur de compétences requises les compétences C_1 C_2 et C_3 ;
- l'acteur Ex_8 (Mark) partage avec le vecteur de compétences requises les compétences C_3 et C_4

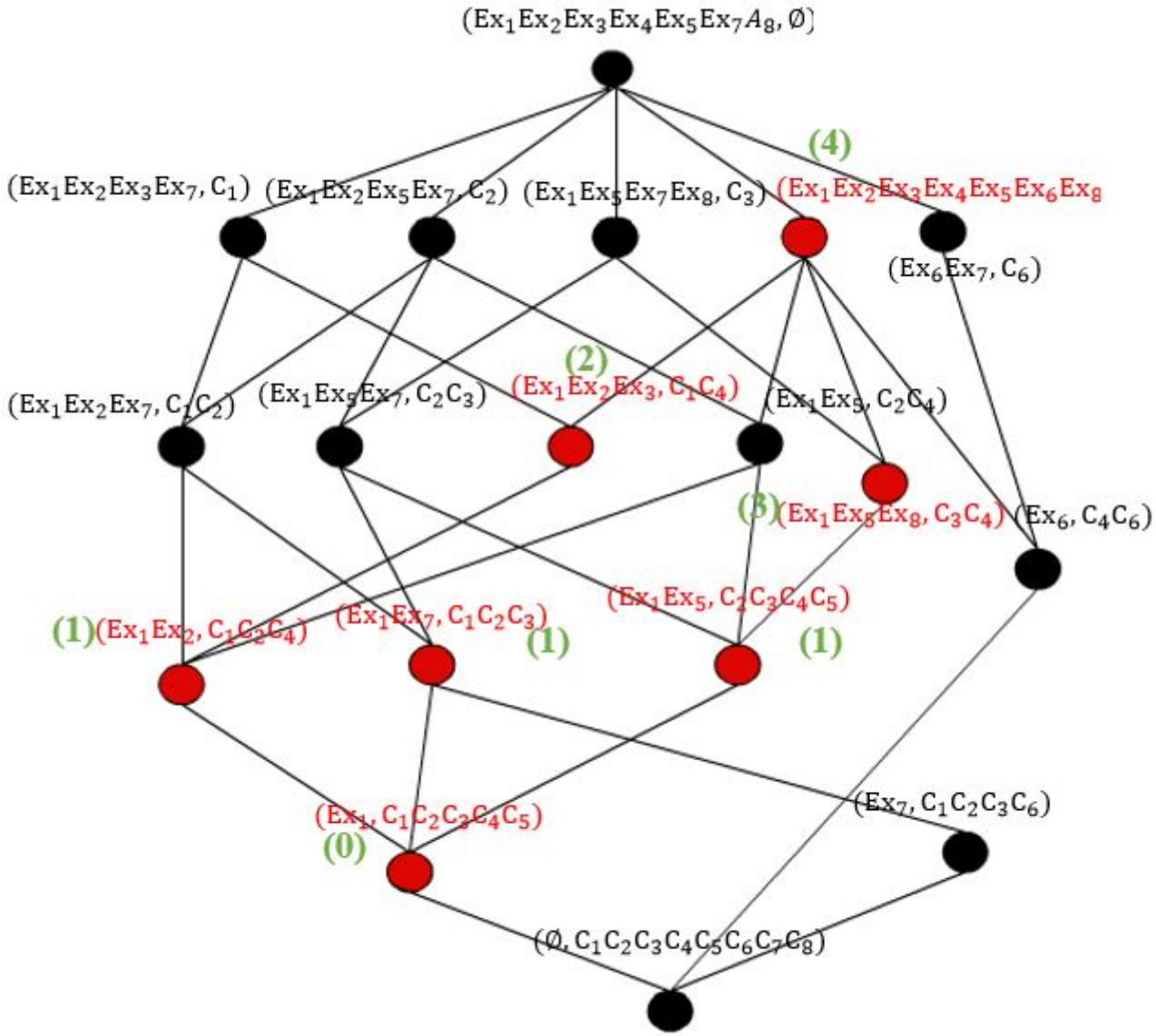


FIGURE 4.12 – Sélection des acteurs depuis le treillis

Une fois la liste des alternatives définie, un besoin de filtrer le résultat et de sélectionner l'alternative adéquate est l'objectif du chapitre 5. Sélectionner la meilleure compétence acquise pour chaque catégorie de compétence requise revient à satisfaire les préférences du manager du processus par rapport aux critères que nous jugeons pertinents dans la décision finale du manager du processus. Nous allons découvrir dans le chapitre 5, que le problème de déploiement de compétences dans le cadre de notre travail s'apparente à un problème d'optimisation multi-critère.

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons répondu totalement au deuxième problème de nos travaux de recherche (i.e *comment identifier toutes les alternatives susceptibles de réaliser une compétence requise ?*) en adoptant le treillis de Galois pour l'organisation et la découverte des profils d'acteurs pertinents. Le principe consiste à créer, à partir des profils spécifiés manuellement par les acteurs, une matrice relationnelle qui servira à la construction du treillis de Galois représentant la hiérarchie des couples $(Acteurs, Compétences)$. Une fois le treillis construit, nous procédons à l'identification des acteurs pertinents en utilisant le livrable retourné par le système de recherche de compétences (SRC). Grâce au mode de classification offert par le treillis, la recherche permet de trouver toutes les alternatives pour chaque compétence requise. Comme nous l'avons souligné dans le chapitre 3, nous voulons avoir un système permettant de réaliser une association avec classement où un degré de satisfaction est attribué à chaque acteur pertinent en fonction des critères qui peuvent intervenir dans la décision finale du manager du processus. Les différentes alternatives pour chaque catégorie de compétence sont alors ordonnées et la meilleure est sélectionnée sans besoin d'une intervention de la part du manager du processus.

Le déploiement de compétences permettant de sélectionner l'alternative adéquate pour chaque catégorie de compétence et d'adapter le modèle et/ou instance du processus au nouveau contexte d'exécution seront détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre 5

Déploiement de compétences

Contents

1 Introduction 118

2 Approche de déploiement de compétence 119

3 Evaluation & Filtrage 120

3.1 Modèle de préférences du manager du processus 120

3.2 Récupération des informations contextuelles 122

3.3 Evaluation et sélection finale 126

4 Reconfiguration dynamique 139

4.1 Définition du modèle du processus 141

4.2 Adaptation de l'instance en cours d'exécution 143

4.3 Prise de décision et adaptation du modèle du processus . 147

5 Conclusion 152

1 Introduction

La recherche d'expertise pose des problèmes d'hétérogénéité de description, d'évaluation, d'extraction et d'autre part les contraintes de recherche d'expertise dépendent du contexte d'exécution du processus. Dans le cadre de notre travail, tous ces aspects sont pris en considération pour répondre à tout aléa ou un besoin du changement survenu pendant l'exécution du processus. Nous avons traité la recherche d'expertise dans les chapitres 3 et 4. Nous avons proposé deux référentiels pour représenter les compétences requises et les compétences acquises. Les compétences requises sont utilisées pour définir l'ontologie de compétences requises et quant aux compétences acquises, elles permettent de définir les profil d'acteurs et de remplir le treillis de compétences acquises. Ce chapitre, considère le résultat fourni par la troisième étape de notre approche (voir Figure 5.1) pour assurer un déploiement optimal de compétences [1]. Déployer d'une manière optimale les compétences pour résoudre un aléa ou répondre à un besoin de changement consiste à affecter la/les compétence(s) adéquate(s) en satisfaisant les préférences du manager du processus tels qu'une minimisation des coûts, une minimisation du temps de réponse etc... Nous allons découvrir dans la suite de ce chapitre que le problème de déploiement s'apparente à un problème d'optimisation multicritère.

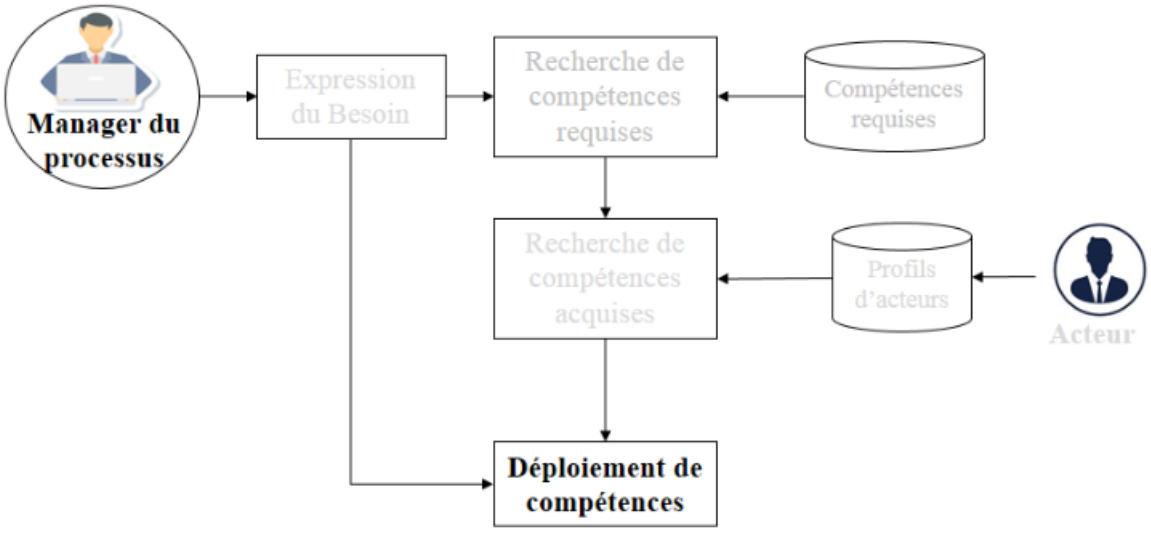


FIGURE 5.1 – Etapes principales de notre approche

Le reste de ce chapitre est organisé comme suit. Dans la section 2, nous présentons les étapes principales de notre approche de déploiement de compétences. La première étape de déploiement de compétences est présentée dans la section 3. Cette étape permet de sélectionner la meilleure alternative pour chaque catégorie de compétence retournée par le système de recherche de compétences. Dans la section 4, nous présentons la deuxième étape de déploiement de compétences, la reconfiguration

[1] la meilleure réponse au besoin exprimé par le manager du processus satisfaisant ses préférences

dynamique. L'objectif de cette étape est d'intégrer le changement survenu dans le modèle et/ou instance du processus pour assurer son adaptation dynamique. La section 5 conclut ce chapitre.

2 Approche de déploiement de compétence

Deux étapes principales sont utilisées pour assurer un bon déploiement de compétences : *(i) Evaluation & Filtrage* et *(ii) Reconfiguration dynamique* (Figure 5.2).

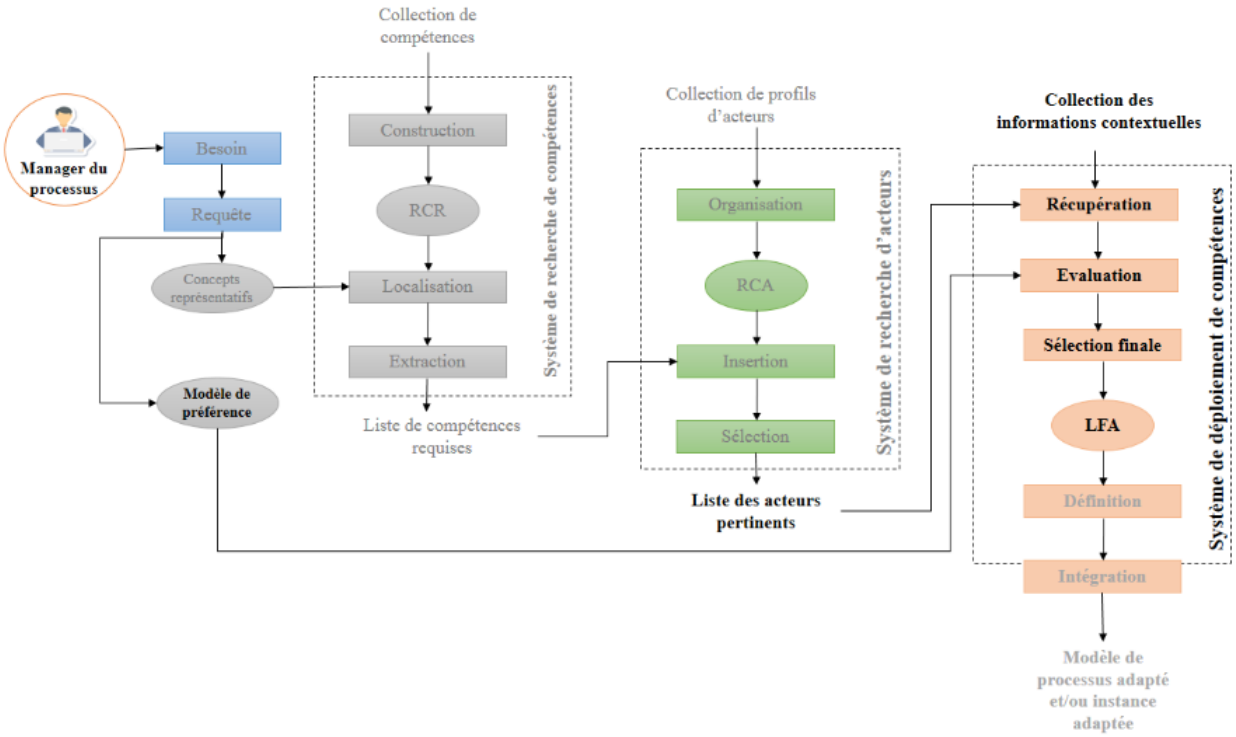


FIGURE 5.2 – Déploiement de compétences

Evaluation & Filtrage Elle utilise le livrable du système de recherche d'acteurs (liste des acteurs pertinents organisés par catégories de compétences) et le modèle de préférence du manager du processus retourné par le système d'expression du besoin pour générer la liste finale des acteurs (LFA).

Reconfiguration dynamique L'objectif de la reconfiguration dynamique du processus pendant son exécution consiste à mettre en œuvre des changements au niveau du modèle et/ou instance du processus pour s'adapter au nouveau contexte d'exécution après la survenue d'un aléa. L'objectif est de modifier uniquement les parties qui ont besoin d'être changées tout en conservant la stabilité des autres parties.

3 Evaluation & Filtrage

La première étape de notre approche de déploiement, *Evaluation & Filtrage*, est composée de trois sous étapes comme le montre la Figure 5.2 : (i) *la Récupération* des informations contextuelles caractérisant chaque acteur, figurant dans la liste des acteurs pertinents retourné par le système de recherche d'acteurs, et chaque compétence requise, retournée par le système de recherche de compétences, sont utilisées pendant (ii) *l'Evaluation* avec le modèle de préférences du manager du processus, pour attribuer un poids total à chaque alternative permettant de filtrer le résultat et de retourner la liste finale des acteurs pendant (iii) *la Sélection finale*.

La suite de cette section est organisée comme suit : nous présentons en premier temps le modèle de préférences du manager du processus. Ce modèle de préférences est utilisé pour filtrer le résultat retourné par le système de recherche d'acteurs et ne retourner que la meilleure alternative par catégorie de compétence. Nous dévoilons ensuite les informations contextuelles utilisées dans le cadre de notre approche pour assurer un bon déploiement de compétences. Enfin, nous présentons quelle méthode est adoptée pour attribuer un poids total pour chaque alternative permettant de retourner la liste finale des acteurs satisfaisant les préférences du manager du processus.

3.1 Modèle de préférences du manager du processus

Comme nous l'avons souligné dans le chapitre 3, la requête du manager du processus est composé de deux éléments. *L'exigence fonctionnelle (EF)* est utilisée dans le processus de recherche de compétences. Et *l'exigence non fonctionnelle (EnF)* est utilisée pour assurer un bon déploiement de compétences. La sélection finale des compétences dépend des exigences de chaque manager du processus. Pour construire le modèle de préférences du manager du processus, il convient tout d'abord de définir les exigences que nous mobilisons dans le cadre de notre travail. Ces exigences sont renseignées au moment de l'expression du besoin, précisément en spécifiant l'exigence non fonctionnelle de la requête saisie par le manager du processus. Comme notre problématique est de traiter un besoin de changement dans un processus selon la dimension réactive de l'agilité organisationnelle, nous proposons d'adapter la définition des critères de la réponse réactive [176] pour définir le modèle de préférences du manager du processus utilisé au moment du déploiement de compétences. La réactivité de la réponse agile selon le cadre conceptuel que nous avons proposé [176] pour caractériser l'agilité organisationnelle est composée de trois critères : *Efficacité*, *Efficience* et *Vélocité*. L'enjeu principal réside dans l'identification de l'importance de chaque critère pour résoudre l'aléa ou répondre au besoin de changement. Pour construire le modèle de préférences du manager du processus, le système d'expression du besoin lui interroge sur l'importance de chaque critère :

E_1 **Efficacité :** Dans le cadre de notre travail, nous associons l'efficacité de la réponse réactive au moment de déploiement de compétences à la synchronisation sociale entre le manager du processus et l'acteur susceptible de satisfaire son besoin. Ainsi si les résultats obtenus sont conformes aux objectifs fixés,

on parle d'efficacité. En effet, la communication et la collaboration (des actes sociaux) sont considérées comme des moyens principaux pour accélérer la diffusion de l'information dans un environnement agile. D'où la première question posée au manager du processus est :

Q1 : Votre participation est-elle un moyen important pour atteindre l'objectif ?

E_2 **Efficience :** Nous considérons que l'efficience est la capacité à solliciter la/les compétence(s) adéquate(s) pour satisfaire le besoin du manager du processus avec le moindre coût. Elle permet d'évaluer le bon usage des ressources allouées pour atteindre les objectifs fixés. La deuxième question posée au manager du processus est :

Q2 : La contrainte la plus importante pour atteindre votre objectif est-elle de type budgétaire ?

E_3 **Vélocité :** Dans le cadre de notre travail, le déploiement de compétences requises à la résolution d'un aléa ou à la satisfaction d'un besoin de changement est réalisé au moment de l'exécution du processus, un temps de résolution raisonnable est favorisée. Nous définissons la vélocité comme étant la capacité à répondre au besoin du manager du processus avec un temps de réponse minimal. Ainsi la dernière question posée au manager du processus est :

Q3 : La contrainte la plus importante pour atteindre votre objectif est-elle de type temporel ?

Nous fournissons au manager du processus la possibilité d'évaluer l'importance de chaque critère dans l'atteinte de l'objectif. L'évaluation de l'importance de ces exigences constitue une entrée pour notre approche. Si le manager du processus en répondant à ces trois questions précise que tous ses critères sont importants de manière égale, alors les pondérations seront réparties d'une manière égale. Pour simplifier l'étape de quantification des intensités pour le manager du processus, nous avons défini trois questions où la réponse est une évaluation d'accord selon l'échelle de réponses présentée dans la Figure 5.3. Nous considérons des propriétés textuelles qui sont convertibles en nombre permettant d'exprimer un niveau d'exigence. Ce niveau peut être : "Pas du tout d'accord", "Pas d'accord", "Ni en accord ni en désaccord", "D'accord", "Tout à fait d'accord". Dans ce qui suit, nous attribuons à chaque niveau une valeur : pour le niveau très élevé (Tout à fait), la valeur 5, 4 pour le niveau élevé (D'accord), 3 pour le moyen (Ni en accord ni en désaccord), 2 pour faible (Pas d'accord) et 1 pour le très faible (Pas du tout d'accord).

FIGURE 5.3 – Echelle de réponses

Il faut noter que cette échelle de réponse ne reflète pas les intensités de préférence du manager du processus entre chaque paire de critères mais l'importance d'un seul critère dans l'atteinte de l'objectif. En d'autres termes, ces valeurs ne permettent pas par exemple de savoir l'importance de l'efficacité vis-à-vis de l'efficience ou de la vélocité pour le manager du processus. Nous allons présenter dans la section 5.3 la méthode proposée pour déduire ces intensités de préférence entre chaque paire de critères à partir des réponses du manager du processus et donc de quantifier son modèle de préférences (i.e. déduire les valeurs w_i) qui sera représenté par un vecteur comme suit :

$$V_{pref}(d_j, R_j) = \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{matrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{pmatrix} \tag{5.1}$$

avec : E_i un critère (efficience, efficacité ou vélocité) et w_i un poids reflétant son importance vis-à-vis du manager du processus d_j pour la requête R_j.

3.2 Récupération des informations contextuelles

Pour satisfaire les préférences du manager du processus, nous avons besoin de définir les informations contextuelles qui vont être utilisées pour filtrer le résultat retourné par le système de recherche d'acteurs. Ce résultat est organisé par catégorie de compétences. Nous définissons une matrice que nous l'appelons *Matrice des alternatives*. La matrice suivante composée de l'ensemble des choix possibles identifiés en utilisant le treillis et organisés selon les catégories de compétences identifiées en utilisant l'ontologie.

$$Alt_{Rj} = \begin{matrix} C_{c1} & C_{c2} & C_{c3} & \dots & C_{ck} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \vdots & \downarrow \end{matrix} \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \dots & C_{1k} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & \dots & C_{2k} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & \dots & C_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{m1} & C_{m2} & C_{m3} & \dots & C_{mk} \end{pmatrix} \begin{matrix} \leftarrow Ex_1 \\ \leftarrow Ex_2 \\ \leftarrow Ex_3 \\ \leftarrow \dots \\ \leftarrow Ex_m \end{matrix} \tag{5.2}$$

Où C_{c1},C_{c2},...C_{ck} : l'ensemble des catégories de compétences identifiées en utilisant l'ontologie.
Ex_1,Ex_2,Ex_3,...,Ex_n : L'ensemble des acteurs candidats qui satisfont les exigences fonctionnelles du manager du processus (maitrisant au moins une compétence requise).

C_{ij} est la compétence requise de la catégorie C_{cj} maitrisée par l'acteur Ex_i.

L'existence des différentes alternatives pour mettre en pratique une compétence donnée complexifie davantage le problème de déploiement. Nous considérons que le jugement de la pertinence de chaque alternative est spécifique à chaque manager du processus et au contexte d'exécution. Dans le cadre de notre approche, nous avons trois critères de dimension différente : sociale, temporelle et budgétaire. Nous présentons dans le tableau suivant les informations contextuelles que nous utiliserons pour caractériser chaque critère.

Tableau 5.1 – Informations contextuelles utilisées

Catégorie de contexte	**Information contextuelle**	**Critère**
Contexte d'Acteur	Traces d'exécution	Efficacité
	Profil	Efficience, Vélocité
	Disponibilité	Vélocité
	Réactivité	Vélocité
	Localisation	Efficience, Vélocité
Contexte de Compétence Requise	Niveau de maitrise requis	Efficience, Vélocité
	Durée d'exécution requise	Vélocité
	Coût d'exécution requis	Effience
Contexte de Ressource Requise	Taux de disponibilité	Vélocité
	Coût d'utilisation	Efficience
Contexte de Manager du processus	Traces d'exécution	Efficacité
	Localisation	Efficience, Vélocité

Contexte d'acteur

Ce contexte regroupe un ensemble d'informations contextuelles relatives à chaque acteur. Outre sa localisation, ses traces d'exécution, il comporte également :

- *Profil :* Ensemble de compétences acquises qualifiées utilisées pour remplir le treillis de compétences acquises.
- *Disponibilité :* pour une allocation de compétences donnée, il s'agit de trouver un acteur. Une fois l'acteur sélectionné, il faut le contacter pour vérifier sa disponibilité. Cette étape peut être réitérée pour chaque acteur considéré comme une alternative dans le processus de sélection d'acteur jusqu'à trouver un acteur disponible. Pour accélérer la recherche d'acteur disponible, nous définissons un attribut disponibilité. Il est de type booléen et prend deux états ; soit "vrai" si l'acteur est disponible sinon "faux" si l'acteur est indisponible. Dans ce qui suit, l'état vrai est représenté par "1" et l'état faux par "0" (1 : disponible, 0 : indisponible), ceci est noté :

$$av_{Exi} = \begin{cases} 1, & \text{si Exi est disponible} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \tag{5.3}$$

- *Réactivité :* pour surmonter le problème d'indisponibilité de toutes les alternatives susceptibles d'exécuter une compétence donnée, nous avons défini un

attribut réactivité pour caractériser l'acteur. Par analogie aux réseaux sociaux en ligne (Facebook) cet attribut permet d'évaluer la rapidité de réponse de l'acteur pour chaque demande qui lui est faite. Cette réactivité est définie selon la formule suivante : [2]

$$R_{exi} = \frac{\sum_{j=1}^{J} \frac{Rp_{\mathrm{kj}}}{Dm_{\mathrm{kj}}}}{J} \tag{5.4}$$

Avec :

- Dm_i : nombre de demandes reçues par unité de temps
- Rp_i : nombre de réponses par unité de temps aux demandes reçues pendant la même unité de temps
- J : Nombre d'unités de temps considérées

Nous avons défini une échelle de réactivité comme le montre la Figure 5.4 selon trois niveaux (bas, moyen et fort) :

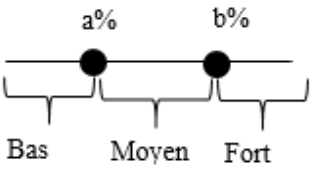


FIGURE 5.4 – Echelle de réactivité

Nous supposons en premier temps que toutes les valeurs de réactivité pour chaque acteur est égale à 0.5 et, selon l'évolution dans le temps, soit elle augmente, soit elle diminue. Pour évaluer les deux valeurs limites a et b et par analogie aux réseaux sociaux, une réactivité est forte quand 90% des demandes sont prises en considération pour la période J avec un temps de réponse moyen pour toutes les réponses. Alors qu'une réactivité est basse lorsqu'il y a que 10% des demandes prises en compte pour la période J. Mais il faut noter que ces valeurs dépendent du domaine d'application de chaque entreprise. Le choix est laissé aux entreprises pour définir ces valeurs.

Contexte de la compétence requise

Le contexte de la compétence requise spécifie les informations explicitement renseignées par l'entreprise en définissant l'ontologie de compétences requises décrite dans le chapitre 3. Il couvre, pour chaque compétence requise :

- *Niveau de maitrise requis* : il doit être précisément identifié. C'est le niveau de maitrise minimal requis pour atteindre l'objectif de la mise en pratique d'une compétence. Il est défini en utilisant les valeurs de l'échelle d'évaluation que nous avons adopté dans le chapitre 4 [36].

[2] https ://www.facebook.com/help/475643069256244 ?helpref=ufpermalink

- Durée d'exécution requise : c'est la durée d'implémentation de la compétence requise pour atteindre le résultat avec le niveau de maitrise requis.
- *Coût d'exécution requis* : c'est le coût correspondant aux ressources utilisées pour atteindre l'objectif de la compétence Cm_i avec le niveau de maitrise requis. A noter que ce coût n'inclut pas les coûts engendrés par les ressources humaines. Cette dimension n'est pas prise en compte dans le cadre de ce travail. Il est important de souligner que le coût d'exécution minimum requis d'une compétence doit être simulé pour les ressources allouées puisqu'il dépend du coût d'utilisation de chaque ressource. Nous proposons de définir le coût d'exécution minimum requis pour chaque compétence selon la formule suivante. Cette formule consiste à multiplier le coût d'utilisation total des ressources requises par la durée d'exécution minimale de la compétence en question.

$$P_{C_iR_j} = d_{C_j} * P_{R_j} \tag{5.5}$$

avec d_{C_j} est la durée d'exécution minimale de la compétence C_i et P_{R_j} est la somme des coûts d'utilisation de ressources requises à la réalisation de la compétence C_i par unité du temps.

Contexte de la ressource requise

Ce contexte couvre les informations fonctionnelles relatives aux ressources nécessaires à l'implémentation de compétences requises. Ces informations sont renseignées dans l'ontologie de compétences requises. Nous avons défini les attributs suivants pour la classe *Ressource* :

- *Coût d'utilisation :* c'est la valeur monétaire associée à l'utilisation d'une ressource r pour une unité du temps t.
- *Taux de disponibilité :* probabilité qu'une ressource soit en fonctionnement. Il dépend de la maintenabilité Mtr_{r_j} et la fiabilité Mtf_{r_j} de la ressource r_j considérée. Il est défini selon la formule suivante [10]. Cette formule consiste à diviser la durée moyenne de bon fonctionnement de la ressource jusqu'à sa première panne (Mtf_{r_j}) par la durée moyenne entre les pannes Mbf_{r_j}.

$$td_{R_j} = \frac{Mtf_{r_j}}{Mtf_{r_j} + Mtr_{r_j}} = \frac{Mtf_{r_j}}{Mbf_{r_j}} \tag{5.6}$$

Contexte du manager du processus

Le contexte du manager du processus renseigne des informations caractérisant sa situation lors de la demande d'une recherche d'expertise. Il couvre sa localisation et ses traces d'exécution. Nous présentons dans la section 3.3.3.1 quelles sont les traces d'exécution que nous utiliserons pour évaluer la relation sociale entre le manager du processus et l'acteur (c'est-à-dire évaluer l'efficacité).

Nous détaillons dans la section suivante, quelle méthode est adoptée dans le cadre de notre travail pour évaluer les trois critères en utilisant ces informations contextuelles.

3.3 Evaluation et sélection finale

Dans le cadre de notre travail, le problème de déploiement de compétences considère trois critères. L'ensemble des alternatives existe déjà (retourné par le système de recherche d'acteurs), dans ce cas nous avons besoin d'une méthode d'aide à la décision multicritère permettant d'obtenir un classement de l'ensemble des alternatives et d'identifier la "meilleure" alternative pour chaque catégorie de compétence. Ainsi nous avons opté pour utiliser la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) qui a été développée par Saaty [150]. Cette méthode va nous permettre d'intégrer le jugement du manager du processus en organisant ses préférences intervenant dans la prise de décision. Les raisons qui nous poussent vers l'utilisation de cette méthode pour recommander le meilleur acteur pour chaque catégorie de compétence sont les suivantes :

- La méthode AHP permet de prendre en considération l'interdépendance entre les éléments intervenant dans la prise de décision sans se focaliser sur une pensée linéaire. En effet, la AHP compare l'importance de chaque critère dans l'atteinte de l'objectif vis-à-vis des autres critères. Les critères que nous avons utilisé dans le cadre de notre travail (efficacité, efficience et vélocité) sont indépendants, d'où l'utilisation de la méthode AHP, va nous permettre de trouver une bonne résolution du problème et peut être une résolution optimale [153].
- Elle organise l'objectif, les critères et les alternatives dans une structure hiérarchique de prise de décision. Les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie sont comparés deux à deux. Des jugements subjectifs sont attribués à chaque critère et convertis en des valeurs numériques en utilisant l'échelle de Saaty qui facilite la tâche au manager du processus pour organiser ses préférences.
- Parmi plusieurs méthodes d'aide à la décision multicritère (telles que MACBETH, TOPSIS, ELECTRE), la méthode AHP a montré une certaine fiabilité [83]. Comme il a affirmé [84], d'après une première observation, il semble que la méthode MACBETH a de fortes similarités avec la méthode AHP. Cependant, il existe des différences dans la manière la structuration et l'évaluation des alternatives doivent être menées (les échelles utilisées pour la validation des jugements sont différentes. De plus, pour évaluer les alternatives, la méthode MACBETH utilise la méthode de programmation linéaire alors que la méthode AHP utilise la méthode des valeurs propres).

Pour appliquer la méthode AHP [150], nous suivrons les étapes suivantes :

1. Décomposer le problème en une hiérarchie d'éléments inter-reliés. Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Le dernier niveau est celui des alternatives identifiées.
2. Procéder à des comparaisons par paires des critères. Cette étape permet de construire la matrice de comparaison (matrice de décision). Les valeurs de cette matrice sont obtenues par la transformation des réponses du manager du processus en valeurs numériques selon l'échelle de Saaty (des valeurs de 1 à 9).

3. Déterminer l'importance relative des critères en calculant le vecteur propre correspondant aux valeurs propres maximales de la matrice de comparaison.
4. Établir la performance relative de chacune des alternatives et sélectionner la meilleure alternative pour chaque catégorie de compétence C_{ci}.

Modèle hiérarchique

En appliquant la première étape, nous avons construit trois niveaux hiérarchiques (Figure 5.5). L'objectif se situe au niveau le plus haut de la hiérarchie. Les critères, étant les éléments qui influencent l'objectif, se trouvent dans le niveau intermédiaire de la hiérarchie. Les alternatives qui vont être comparées par rapport à chaque critère sont au niveau le plus bas de la hiérarchie.

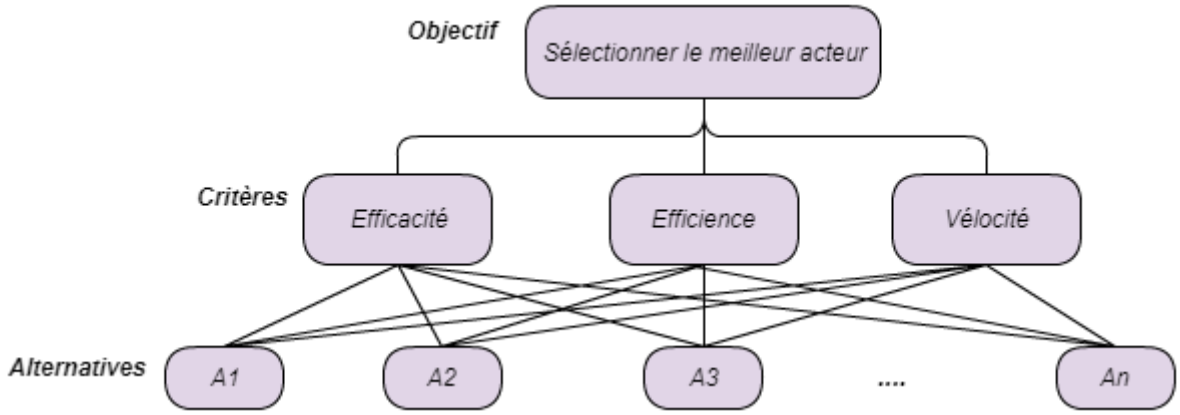


FIGURE 5.5 – Modèle hiérarchique

Comme souligné précédemment, les alternatives sont décomposées en sous ensembles selon la catégorie de compétence correspondante. Il faut noter qu'il existe deux scénarios lors de l'identification de compétences acquises conformément aux compétences requises (Figure 5.6) :

- Correspondance 1-1 : dans ce cas, un seul acteur est capable de satisfaire la compétence requise. Il s'agit d'une compétence individuelle. Pour chaque catégorie de compétence requise une seule compétence acquise est sélectionnée.
- Correspondance 1-N : ce cas nécessite d'étendre la sélection de compétences par la composition d'un ensemble de compétences individuelles. En effet, il arrive parfois de ne pas trouver une compétence individuelle qui répond au besoin. Il est nécessaire d'étendre la sélection de compétence par la composition d'un ensemble de compétences qui concordent avec l'exigence fonctionnelle du manager du processus. La composition de ces compétences forment la compétence collective.

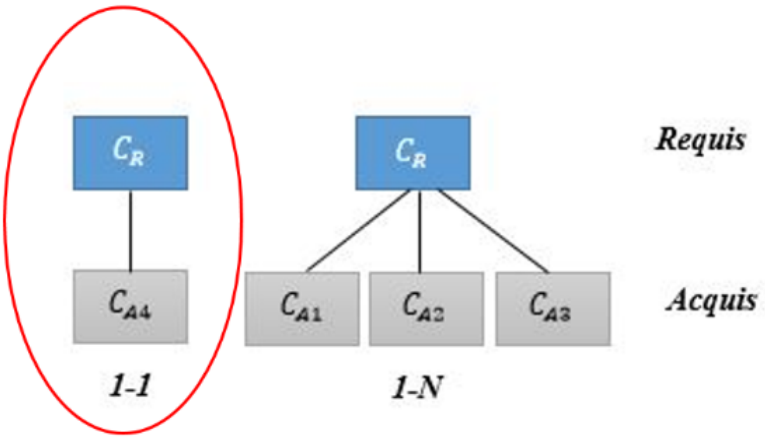


FIGURE 5.6 – Correspondance Requis-Acquis

Dans le cadre de cette thèse, nous avons uniquement traité le cas de la correspondance 1-1. Donc une seule alternative sera sélectionnée pour chaque catégorie de compétence. Le second cas (correspondance 1-N) fera l'objet de perspectives à ce travail.

Ayant défini le modèle hiérarchique, pour la suite, nous avons besoin en premier lieu de construire la matrice de décision. Cette matrice reflète les intensités de préférences du manager du processus vis-à-vis des critères sélectionnés (efficacité, efficience et vélocité).

Génération du modèle de préférences

Nous avons retenu trois critères : la vélocité, l'efficience et l'efficacité comme souligné précédemment. Ce qui permet de remplir une matrice de décision de dimension *3x3*, où la forme générale est :

$$A_{di_{Rj}} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \tag{5.7}$$

Les cases de la matrice sont remplies par les intensités de préférences constituant une comparaison entre une paire de critères. Tout en respectant le principe de réciprocité (i.e, si le critère i se voit attribuer une valeur lorsqu'il est comparé au critère j, j aura donc la valeur inverse lorsqu'on le compare à i) les cases de la matrice $A_{di_{Rj}}$ sont remplies avec :

$$a_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{si} \quad \text{i=j} \\ \dfrac{1}{a_{ij}}, & \text{sinon} \end{cases} \tag{5.8}$$

La méthode AHP utilise une échelle de quantification des intensités de préférences entre les critères en transformant des jugements sémantiques selon l'échelle de

Saaty comme résumé dans le tableau suivant. Cette échelle contient des niveaux de préférences de 1 à 9.

Valeur numérique	**Jugement verbal**
1	Importance Egale
3	Modérément plus important
5	Fortement plus important
7	Très fortement plus important
9	Extrêmement plus important
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements, utilisés pour affiner le jugement

Tableau 5.2 – Echelle de Saaty

Nous avons défini des règles de transformations des réponses selon l'échelle de Saaty. Ainsi, en répondant aux questions, le manager du processus rempli la matrice de décision d'une manière implicite en utilisant les règles présentées dans la Figure 5.7.

- **Importance égale**

  « si $(N(Q_i) - N(Q_j) = 0)$ alors $(a_{ij} = 1 \text{ et } a_{ji} = 1)$ »

- **Modérément plus important**

  « si $(N(Q_i) - N(Q_j) = 1)\left(respectivement\ (N(Q_j) - N(Q_i) = -1)\right) alors\ (a_{ij} = 3)$ $\left(respectivement\ a_{ji} = \frac{1}{3}\right)$»

- **Fortement plus important**

  « si $(N(Q_i) - N(Q_j) = 2)\left(respectivement\ (N(Q_j) - N(Q_i) = -2)\right) alors\ (a_{ij} = 5)$ $\left(respectivement\ a_{ji} = \frac{1}{5}\right)$»

- **Très fortement plus important**

  « si $(N(Q_i) - N(Q_j) = 3)\left(respectivement\ (N(Q_j) - N(Q_i) = -3)\right) alors\ (a_{ij} = 7)$ $\left(respectivement\ a_{ji} = \frac{1}{7}\right)$»

- **Extrêmement plus important**

  « si $(N(Q_i) - N(Q_j) = 4)\left(respectivement\ (N(Q_j) - N(Q_i) = -4)\right) alors\ (a_{ij} = 9)$ $\left(respectivement\ a_{ji} = \frac{1}{9}\right)$»

FIGURE 5.7 – Régles de remplissage de la matrice de décision

Avec $N(Q_i)$est le niveau attribué au critère Q_i selon notre échelle de 1 à 5 (voir Figure 5.3) et $a_{i,j}$ est la valeur dans la matrice de décision qui reflète le degré d'importance du critère Q_i par rapport au critère Q_j. Ce qui permet de remplir

la matrice de décision (de dimension 3x3), telle que nous l'avons définie dans la section précédente. Pour obtenir l'ensemble des priorités globales du problème, il faut procéder à des opérations de pondération et d'addition qui fournissent un chiffre unique indiquant la priorité de chaque élément. Où les poids d'importance w_i doivent vérifier la condition $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$, avec n est le nombre de critères [150].

Les trois étapes à suivre pour arriver aux valeurs des priorités sont les suivantes :

- Additionner les colonnes de la matrice de décision : tous les éléments d'une même colonne sont additionnés ;
- Normaliser la matrice de décision : chaque entrée de la matrice est divisée par le total de sa colonne. La normalisation de la matrice permet alors des comparaisons significatives entres les éléments. La matrice $An_{di_{Rj}}$ obtenue à partir de la matrice $A_{di_{Rj}}$ est sous la forme suivante :

$$An_{di_{Rj}} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \quad avec \sum_{i=1}^{3} b_{ij} = 1 \quad et \quad b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{3} a_{ij}}^{3} \tag{5.9}$$

- Calculer la moyenne des lignes : tous les éléments d'une même ligne de la matrice normalisée sont additionnés et ensuite divisés par le nombre d'entrées qu'elle comporte. Ce qui permet de déterminer l'importance relative à chaque élément. Cette importance est évaluée selon la formule suivante [150] :

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} b_{\mathrm{ij}}}{n} \tag{5.10}$$

avec $\sum_{i=1}^{n} w_i$=1 et n est le nombre des critères considérés pour résoudre le problème. Dans le cadre de notre approche, nous avons défini les critères suivants : la vélocité, l'efficience et l'efficacité donc $n = 3$ et :

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{3} b_{\mathrm{ij}}}{3} \tag{5.11}$$

Ce qui permet de déterminer le modèle de préférences du manager du processus d_i. Il s'agit du vecteur suivant, comme nous l'avons défini précédemment :

$$V_{pref}(d_j, R_j) = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{pmatrix} \tag{5.12}$$

Exemple : Considérons que les réponses du manager du processus d_i aux trois questions pour une requête R_j sont regroupées dans le vecteur $V^t_{pref}(d_i, R_j)$=*(1 2 3)* avec ($V^t_{pref}(d_i, R_j)$ est le transposé de $V_{pref}(d_i, R_j)$). Voir Figure 5.8

[3] [150]

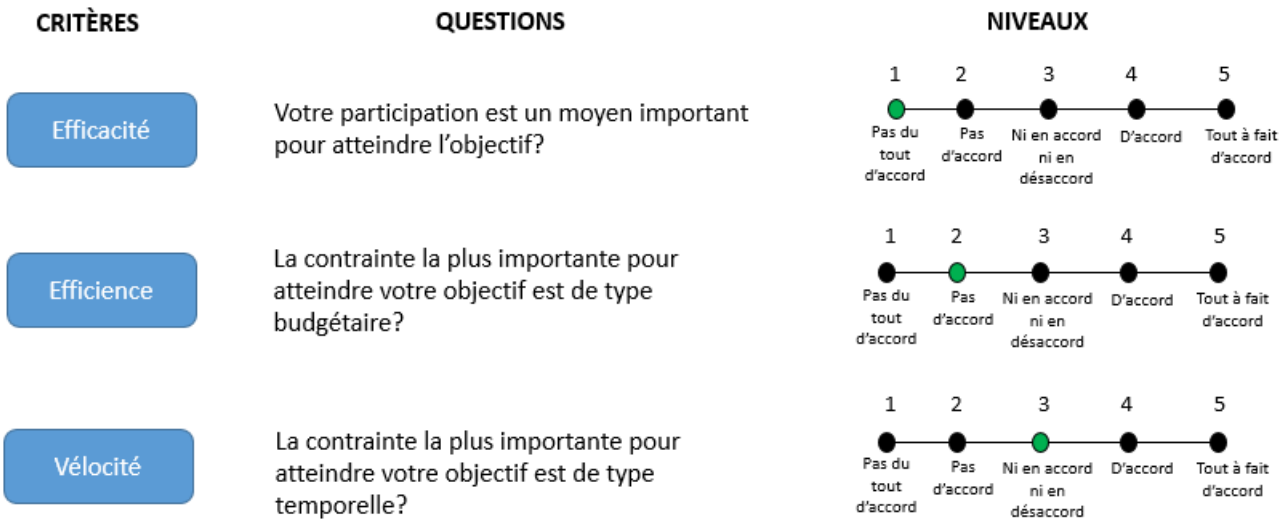


FIGURE 5.8 – Capture des réponses du manager du processus

Ces réponses sont traduites dans une matrice où les cases de la matrice $A_{di_{Rj}}$ sont remplies en utilisant les règles de remplissage présentées dans Figure 5.7. La matrice normalisée est présentée dans $An_{di_{Rj}}$.

$$A_{di_{Rj}} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 3 & 1 & \frac{1}{3} \\ 5 & 3 & 1 \end{pmatrix} \tag{5.13}$$

$$An_{di_{Rj}} = \begin{pmatrix} 0.11 & 0.07 & 0.13 \\ 0.33 & 0.23 & 0.217 \\ 0.55 & 0.7 & 0.65 \end{pmatrix} \tag{5.14}$$

Ce qui permet de déduire le vecteur de modèle de préférences du manager du processus d_j est $V^t_{rep}(d_i, R_j)$=*(0.103 0.259 0.633)*. ($V^t_{rep}(d_i, R_j)$ est le transposé de $V_{rep}(d_i, R_j)$)

Une fois le modèle de préférences défini, l'étape suivante consiste à sélectionner la meilleure alternative vis-à-vis de ces critères. Pour faire cela, nous avons besoin de remplir la matrice des évaluations.

- *Matrice des évaluations* : les évaluations sont composées de données vis-à-vis de chaque critère. Le type de données est le même pour chaque critère.

$$A_{j_{C_{ci}}} = \begin{array}{c} \begin{matrix} E_1 & E_2 & E_3 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \\ \dots & \dots & \dots \\ v_{ki1} & v_{ki2} & v_{ki3} \end{pmatrix} \end{array} \begin{array}{l} \\ \leftarrow Ex_{i1} \\ \leftarrow Ex_{i2} \\ \leftarrow Ex_{i3} \\ \leftarrow \dots \\ \leftarrow Ex_{iki} \end{array} \tag{5.15}$$

où E_1,E_2,E_3 : l'ensemble des critères définis précédemment (efficacité, efficience et vélocité).
Ex_{i1},Ex_{i2},Ex_{i3},. . . ,Ex_{iki} : L'ensemble des acteurs candidats qui maitrisant des compétences de la catégorie C_{ci}.

Evaluation des alternatives

Comme présenté dans la section précédente, l'évaluation de différents critères pour chaque alternative permet de remplir la matrice des évaluations notée $A_{j_{C_{ci}}}$ pour chaque catégorie de compétence C_{ci}. Il faut noter que si nous avons k catégorie de compétences donc il faut remplir k matrices des évaluations. Nous avons spécifié précédemment que nous utilisons trois critères pour évaluer les différentes alternatives : efficacité, efficience et vélocité.

Évaluation de l'efficacité
L'efficacité dépend de la relation sociale entre le manager du processus et l'acteur. Dans notre travail, nous utilisons la théorie de graphe [103] pour représenter le réseau social d'organisation et quantifier les relations entre les membres. Utiliser un graphe pour symboliser un réseau social facilite l'analyse et l'évaluation des relations sociales. Pour quantifier la relation sociale entre un acteur Ex_i et un acteur Ex_j nous choisissons de modéliser le réseau social comme un graphe pondéré. Un graphe est dit pondéré quand les arêtes sont caractérisés par des poids. Nous utilisons la description suivante pour décrire les éléments du réseau social. Nous définissons un réseau social par un triple (Id, E, W) où :

- Id=(Ex_1,Ex_2,. . . ,Ex_n) représente les identifiants des acteurs présents dans le réseau social correspondant ;
- E=(e_1,e_2,. . . ,e_m) représente les connexions entre les individus ;
- W =(w_1,w_2,. . . ,w_m) : la relation sociale quantifiée entre deux individus.

Granovetter a déclaré, "The more two members interact, the closer they are socially" [82]. Donc nous avons proposé d'évaluer les interactions entre un acteur Ex_i et un acteur Ex_j pour déduire la force de la relation sociale entre eux. Dans le cadre de notre travail, le poids w_i attribué à chaque connexion e_i entre deux nœuds Ex_i et Ex_j reflète la fréquence de contact totale entre les deux individus Ex_i et Ex_j. Nous avons identifié 9 sources classées en deux catégories ; *privée* et *publique* comme l'illustre le tableau suivant. Nous avons défini la fréquence de contact totale comme étant la somme des fréquences de contact pour chaque source. Nous proposons la formule suivante :

$$Fl_{i_j} = \sum_{i=1}^{9} F_{i_j} \tag{5.16}$$

Avec F_{i_j} la fréquence de contact selon la source correspondante.

Tableau 5.3 – Données utilisées pour quantifier la relation sociale

Type de donnée	**Source de donnée**	**Donnée récupérée**
Publique	Intranet	F_1 : l'acteur Ex_i a envoyé une invitation de réunion à l'acteur Ex_j

Tableau 5.3 – Données utilisées pour quantifier la relation sociale (suite)

Type de donnée	**Source de donnée**	**Donnée récupérée**
	Event logs	F_2 : l'acteur a fait une activité collaborative avec l'acteur Ex_j F_3 : l'acteur Ex_i a travaillé sur une instance de processus avec l'acteur Ex_j
	Gestion électronique des documents (GED)	F_4 : l'acteur Ex_i a consulté un document ajouté par Ex_j F_5 : l'acteur Ex_i a téléchargé un document ajouté par Ex_j F_6 : l'acteur Ex_i a modifié un document ajouté par Ex_j
	Réseau social	F_7 : l'acteur Ex_i a réagi à une publication de l'acteur Ex_j
Privée	E-mails	F_8 : l'acteur Ex_i a contacté l'acteur Ex_j
	Chat	F_9 : fréquence de contact entre deux acteurs

$$F_8 = |\sum(recu - envoye)| \tag{5.17}$$

S'appelle "determination degree" en analyse du réseau social [89]. Prenant l'exemple suivant :

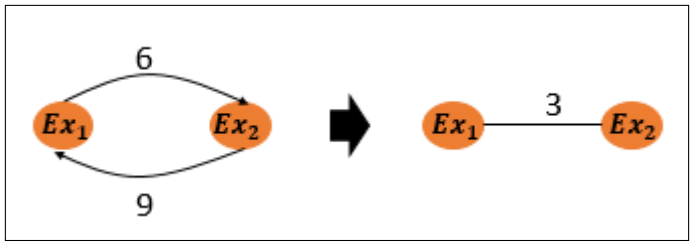


FIGURE 5.9 – Degré de détermination

Nous avons Ex_1 a contacté Ex_2 6 fois et Ex_2 a contacté Ex_1 9 fois donc :

$$F_8 = |6 - 9| = 3 \tag{5.18}$$

L'évaluation de la fréquence de contact selon ces sources permet de définir la matrice d'adjacence du réseau social pondéré [170] de l'organisation. En effet, le réseau social pondéré peut être représenté sous la forme d'une matrice nxn (avec n est le nombre des individus présents dans le graphe) remplie par les valeurs de la force du lien social entre deux individus Ex_i et Ex_j.

$$a_{ij} = \begin{cases} w_{ij}, & \text{si} \quad \text{(i,j)} \in \text{Id} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \tag{5.19}$$

Une valeur nulle de a_{ij} correspond à une absence de relation sociale. La figure suivante illustre un exemple d'un réseau social pondéré et sa matrice d'adjacence.

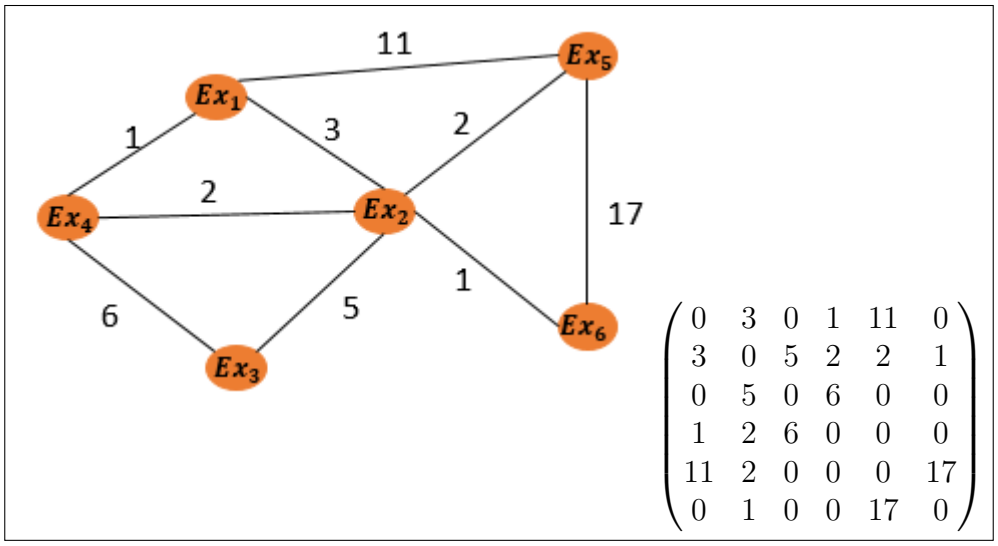


FIGURE 5.10 – Correspondance graphe et matrice adjacente

L'évaluation des forces du lien social (les éléments de la matrice d'adjacence) nous permet de remplir le vecteur des alternatives vis-à-vis du critère efficacité comme suit :

$$Efficacite_{Candidats} = \begin{pmatrix} C_{ci} \\ \downarrow \\ Fl_{i_1} \\ Fl_{i_2} \\ Fl_{i_3} \\ \dots \\ Fl_{i_n} \end{pmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \leftarrow Ex_1 \\ \leftarrow Ex_2 \\ \leftarrow Ex_3 \\ \leftarrow \dots \\ \leftarrow Ex_n \end{matrix} \tag{5.20}$$

avec Fl_{i_j} la force du lien social entre le manager du processus i et l'acteur j récupérée de la matrice d'adjacence.

Evaluation de l'efficience

Dans le cadre de notre travail, l'efficience est liée au coût engendré pour s'adapter au nouveau contexte. Nous considérons que l'efficience dépend de deux facteurs : coût d'exécution réel p_j et coût de déplacement cp_{i_j}. Nous l'avons définie comme étant la somme du coût d'exécution réel et du coût de déplacement comme le montre la formule suivante :

$$Eff_{i_j} = p_j + \sigma_{i_j} * cp_{i_j} \tag{5.21}$$

Avec :

- σ_{i_j} : critère de décision binaire (qui vaut 1 s'il y a un déplacement et 0 sinon)

Il est à noter que si le manager du processus d_i et l'acteur Ex_j sont localisés sur le même site alors le coût de déplacement cp_{i_j} est nul ($\sigma_{i_j} = 0$).

Le coût d'exécution réel (p_j) correspond au coût d'exécution de la compétence acquise avec le niveau de maitrise acquis par l'acteur Ex_j. Dans notre travail, nous sommes intéressés par le coût d'utilisation des ressources pour réaliser chaque compétence, les coûts des ressources humaines sont en dehors de ce travail. Comme nous l'avons souligné précédemment, chaque compétence requise est caractérisée par un coût minimum d'exécution. Nous avons défini le coût d'exécution réel comme étant proportionnel au niveau de maîtrise de la compétence acquise. Nous proposons la formule suivante pour définir le coût d'exécution réel p_j :

$$p_j = p_s * \frac{n_r}{n'_{sj}} \tag{5.22}$$

avec :

- p_s : coût d'exécution prévu de la compétence requise C_s. Ce coût est défini en multipliant la durée d'exécution de la compétence en question par la somme des coûts d'utilisation des ressources requises (voir section 3.2.2).
- n_r : niveau de maitrise minimum requis de la compétence requise C_s
- n'_{sj} : niveau de maîtrise de la compétence C_s par l'acteur Ex_j après l'effet de dégradation (voir Annexe C).

La formule 5.21 permet de prendre en considération la notion de sur-compétent. Un acteur Ex_j ayant un niveau de maitrise supérieur au niveau de maitrise minimum requis de la compétence C_s est susceptible de réaliser C_s avec un coût moindre. Ce coût se réfère au coût d'utilisation des ressources requises à la réalisation de la compétence en question.

Ainsi le vecteur des alternatives vis-à-vis du critère d'efficience est sous la forme suivante pour chaque catégorie de compétence :

$$Efficience_{Candidats} = \begin{array}{c} C_{ci} \\ \downarrow \\ \left(\begin{array}{c} Eff_{i_1} \\ Eff_{i_2} \\ Eff_{i_3} \\ \dots \\ Eff_{i_n} \end{array} \right) \end{array} \begin{array}{l} \\ \\ \leftarrow Ex_1 \\ \leftarrow Ex_2 \\ \leftarrow Ex_3 \\ \leftarrow \dots \\ \leftarrow Ex_n \end{array} \tag{5.23}$$

Avec Eff_{i_j} l'efficience de la réalisation de la compétence acquise par l'alternative Ex_j pour la catégorie de compétence C_{ci}.

Evaluation de la vélocité

Dans le cadre de notre travail, la vélocité est liée au temps requis pour s'adapter au nouveau contexte d'exécution. Selon les informations contextuelles que nous avons définies au début de la section 3.2, nous considérons que la vélocité Vl_{i_j} dépend de quatre facteurs la réactivité de l'acteur R_j, la durée réelle d'exécution de la compétence d_j, la durée de déplacement dp_{i_j} et le taux de disponibilité de ressource td_R. Nous proposons la formule suivante pour définir la vélocité. Cette formule consiste à diviser la somme de la durée totale d'exécution de compétence

et de la durée de déplacement par le produit de la disponibilité et la réactivité de l'acteur en question. La durée totale d'exécution de la compétence correspond au quotient de sa durée réelle d'exécution et le taux de disponibilité total des ressources requises.

$$\forall k_i \in k, i \in k_i, m_i \in m, j \in m_i, z \in b_i$$

$$Vl_{i_j} = \frac{td_R^{-1} * d_j + \sigma_{i_j} * dp_{i_j}}{1 + (1 - \tau_j) * (R_j - 1)} \tag{5.24}$$

$$td_R = \frac{\sum_{z=1}^{b_i} td_{Rz}}{b_i} \tag{5.25}$$

Avec :

- σ_{i_j} est un critère de décision binaire (qui vaut 1 s'il y a un déplacement et 0 sinon)
- τ_j est un critère de décision binaire (qui vaut 1 si l'acteur Ex_j est disponible et 0 s'il n'est pas disponible)
- td_R taux de disponibilité total des ressources requises pour réaliser la compétence en question
- b_i nombre de ressources requises pour réaliser la compétence en question
- k est la cardinalité de l'ensemble de catégories de compétences requises $C_c = \{C_{ci} \quad \forall i \in [1, k]\}$ retourné par le système de recherche de compétences et k_i est la cardinalité de la catégorie de compétence C_{ci}. Le cas k_i=1 est un cas particulier où la compétence requise C_{ri} n'a pas de relation de similarité avec une autre compétence dans l'ontologie. Dans ce cas, la catégorie de compétence C_{ci}=C_{ri}.
- m est la cardinalité de l'ensemble $R_t = \{C_{Exj} \quad \forall j \in [1, m]\}$ identifié en utilisant le treillis de compétences acquises. Cet ensemble est décomposé en k ensembles correspondants aux k catégories de compétences C_{ci} identifiées en utilisant l'ontologie de compétences requises. Soit m_i la cardinalité de l'ensemble r_{ti} correspondant à la catégorie de compétence C_{ci}. Il faut noter que $m = \sum_{i=1}^{k} m_i$.
- R_j la réactivité de l'acteur Ex_j. Elle n'est prise en considération que lorsque l'acteur Ex_j n'est pas disponible.
- d_j la durée d'exécution de la compétence en question par l'acteur Ex_j. Elle dépend du niveau de maîtrise acquis par l'acteur correspondant. Nous avons défini qu'elle est inversement proportionnelle au niveau de maîtrise de la compétence correspondante pour prendre en considération la notion de sur-compétent.

  $$d_j = d_s * \frac{n_r}{n_{sj}^{'}} \tag{5.26}$$

  Avec :

  - d_s : durée d'exécution prévue de la compétence requise C_s.
  - n_r : niveau de maitrise minimum requis de la compétence requise C_s
  - $n_{sj}^{'}$: niveau de maîtrise de la compétence C_s par l'acteur Ex_j après l'effet de dégradation (voir Annexe C).

Il faut noter que nous avons eu recours à l'ontologie de compétences requises pour récupérer le taux de disponibilité des ressources requises à la réalisation de la compétence en question.

L'évaluation de la vélocité selon la formule 5.24 permet de remplir le vecteur des alternatives vis-à-vis de ce critère comme suit :

$$Velocite_{Candidats} = \begin{array}{c} C_{ci} \\ \downarrow \\ \begin{pmatrix} Vl_{i_1} \\ Vl_{i_2} \\ Vl_{i_3} \\ \dots \\ Vl_{i_n} \end{pmatrix} \end{array} \begin{array}{l} \\ \leftarrow Ex_1 \\ \leftarrow Ex_2 \\ \leftarrow Ex_3 \\ \leftarrow \dots \\ \leftarrow Ex_n \end{array} \tag{5.27}$$

Avec Vl_{i_j} la vélocité de la réalisation de la compétence acquise par l'alternative Ex_j pour la catégorie de compétence C_{ci}.

Sélection finale

La dernière étape consiste à sélectionner la meilleure alternative ayant la meilleure note vis-à-vis des critères et du modèle de préférences du manager du processus. Le processus de comparaison rapporte un rangement relatif des priorités. L'agrégation des trois vecteurs permet de remplir la matrice des alternatives $B_{C_{ci}}$ de la forme suivante :

$$B_{C_{ci}} = \begin{pmatrix} Fl_{i1} & Eff_{i_1} & Vl_{i_1} \\ Fl_{i2} & Eff_{i_2} & Vl_{i_2} \\ Fl_{i3} & Eff_{i_3} & Vl_{i_3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Fl_{dn} & Eff_{i_n} & Vl_{i_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{nn} \end{pmatrix} \tag{5.28}$$

Les valeurs des critères ne sont pas toutes de même dimension. Étant donné l'existence de ces différences, les valeurs des propriétés non fonctionnelles ne peuvent pas être comparées directement entre elles. Une étape de normalisation devient nécessaire. D'où l'étape suivante qui consiste à normaliser la matrice (5.29) en utilisant la formule suivante :

$$y_{\mathrm{ij}} = \frac{x_{\mathrm{ij}}}{\sum_{i=1}^{n} x_{\mathrm{ij}}} \tag{5.29}$$

Ce qui permet d'obtenir la matrice normalisée $B_{norm_{C_{ci}}}$.

$$B_{norm_{C_{ci}}} = \begin{pmatrix} y_1 1 & y_1 2 & y_1 3 \\ y_2 1 & y_2 2 & y_2 3 \\ y_3 1 & y_3 2 & y_3 3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ y_n 1 & y_n 2 & y_n n \end{pmatrix} \tag{5.30}$$

Et on pourra ensuite faire le calcul du poids de chaque alternative en utilisant la formule suivante (formule 5.31) qui consiste à faire la somme de poids attribué à l'alternative en question pour chaque critère.

$$g(Ex_i) = \sum_{i=1}^{3} y_{\text{ij}} * w_j \quad Avec \sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \tag{5.31}$$

Exemple Reprenons l'exemple que nous avons utilisé dans les chapitre 3 et 4 pour illustrer la démarche. Nous avons 2 catégories de compétences et 8 acteurs comme le montre la figure 5.11. Notre domaine de recherche n'est pas assez grand. Il s'agit d'un nombre restreint de compétences à affecter ainsi qu'un nombre bien déterminé d'acteurs. Mais ce nombre dépend du nombre de catégories de compétences retourné par le système de recherche de compétences et le nombre d'alternatives pour chaque catégorie de compétence retourné par le système de recherche d'acteurs. L'objectif est de sélectionner un acteur pour chaque catégorie de compétence.

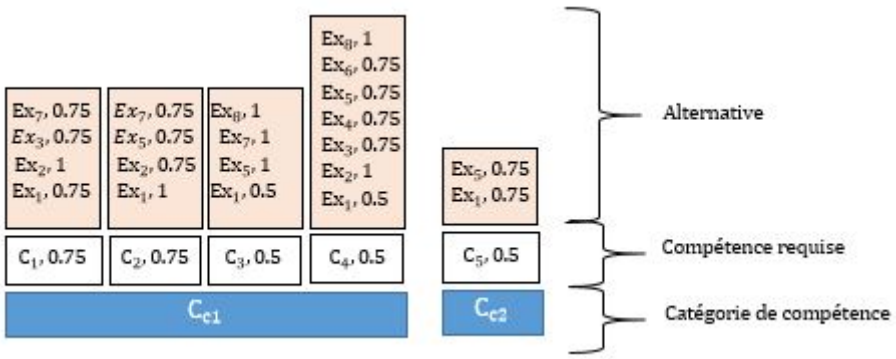


FIGURE 5.11 – Résultat de l'exemple du chapitre 3 et 4

Avec :

- C_1=Maitriser Ansys
- C_2=Maitriser Adapco
- C_3=Maitriser Axa
- C_4=Maitriser Comsol
- C_5=Elaborer cahier des charges fonctionnel

Supposons que le modèle de préférences du manager du processus généré par le système est sous la forme suivante (que nous avons déduit dans la section 3.3.2) :

$$V_{pref}(d_j, R_j) = \begin{pmatrix} 0.103 \\ 0.259 \\ 0.633 \end{pmatrix} \tag{5.32}$$

L'évaluation des matrices d'évaluations pour les deux catégories de compétences sont détaillées dans Annexe C. Après avoir défini les matrices d'évaluations normalisées (Annexe C) pour les deux catégories de compétences, nous procédons au calcul de degré de satisfaction total en utilisant la formule 5.31 pour chaque alternative et pour chaque catégorie de compétence. Les résultats de ce calcul sont résumés dans le tableau 5.4.

Acteur	C_{c1}				C_{c2}
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
Ex_1	0.239	0.185	0.362	0.09	0.44
Ex_2	0.158	0.22	0	0.25	0
Ex_3	0.42	0	0	0.11	0
Ex_4	0	0	0	0.1	0
Ex_5	0	0.33	0.25	0.17	0.546
Ex_6	0	0	0	0.16	0
Ex_7	0.16	0.22	0.13	0	0
Ex_8	0	0	0.18	0.09	0
Meilleure alternative	**0.42**	0.33	0.368	0.25	**0.546**

Tableau 5.4 – Degré de satisfaction total pour chaque acteur

Comme le montre le tableau 5.4, la meilleure alternative pour la première catégorie de compétence est l'acteur Ex_3 disposant de la compétence C_1 et la meilleure alternative pour la deuxième catégorie de compétence est l'acteur Ex_5 disposant de la compétence C_5.

4 Reconfiguration dynamique

La dernière étape de notre approche de déploiement de compétences est la *Reconfiguration dynamique*. Elle est composée de deux sous étapes comme le montre la Figure 5.12.

Définition. Cette étape utilise le résultat de l'étape précédente (liste finale des acteurs, LFA) pour définir le schéma de solution. Le schéma de solution correspond à l'ordonnancement des activités émergentes déduit de l'ordonnancement des compétences requises. Chaque schéma de solution est composé des activités émergentes et des flux de contrôle. Les activités émergentes sont déduites à partir des compétences requises finalement retournées par le système de déploiement de compétences. Les flux de contrôle sont déduits à partir des relations conceptuelles reliant les compétences requises renseignées dans l'ontologie de compétences requises. La démarche de définition du schéma de solution est expliquée dans la section 4.2.

Intégration. L'objectif de cette étape est d'intégrer le schéma de solution défini dans l'étape précédente au niveau de l'instance impactée. L'instance impactée

est l'instance en cours d'exécution qui a eu un besoin de changement. L'objectif est de modifier uniquement les parties qui ont besoin d'être changées tout en conservant la stabilité des autres parties. Pour appliquer les changements, intégrés au niveau instance, au niveau modèle du processus correspondant, l'expert du processus intervient à ce moment et valide ou non cette application. En d'autres termes, dans le cadre de notre travail, les changements sont réalisés par défaut au niveau instance du processus par le système de déploiement de compétences et ils seront intégrés au niveau modèle du processus qu'après la validation de l'expert du processus.

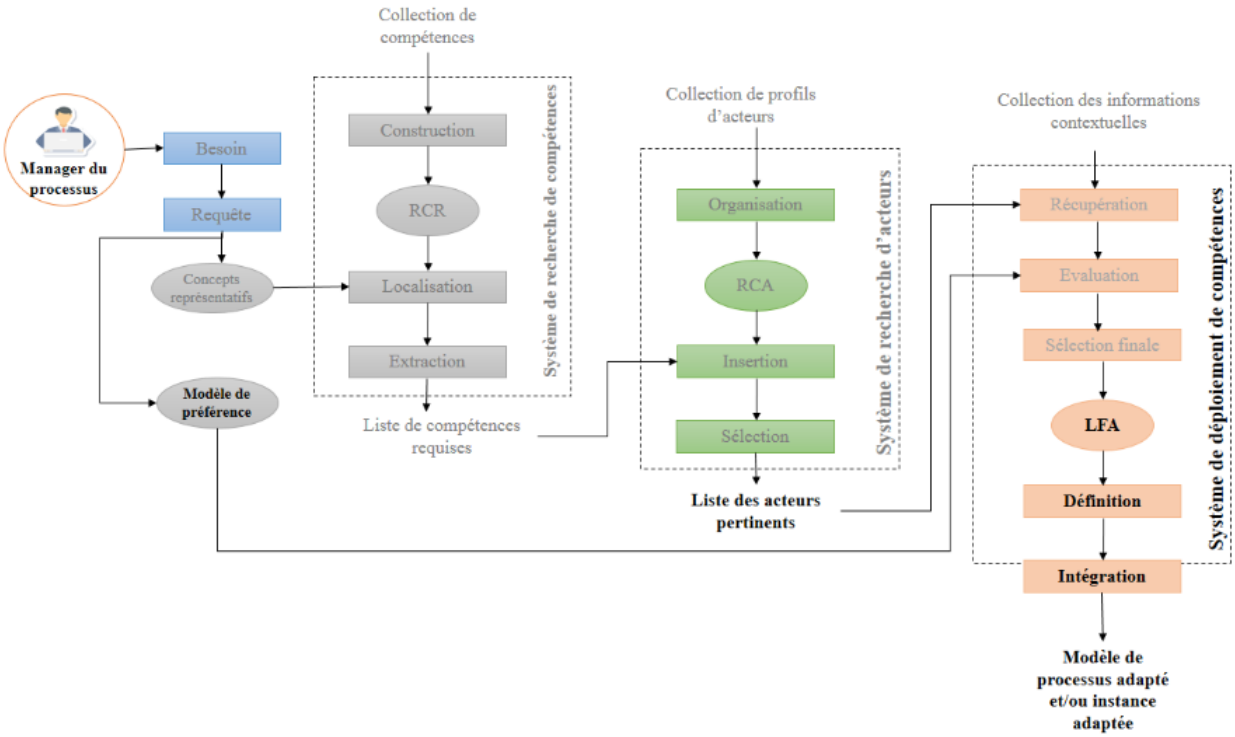


FIGURE 5.12 – Approche de déploiement de compétences

Après la validation de l'expert du processus pour intégrer les changements au niveau modèle du processus, la reconfiguration peut être vue comme une transformation du modèle processus d'une situation E1 à une situation E2. A titre de guide, la figure 5.13 en représente les différentes étapes traitées dans le cadre de notre travail qui seront détaillées dans la suite de ce chapitre. Comme souligné précédemment l'objectif de notre travail de thèse est de supporter l'exécution des processus. Pour chaque modèle du processus défini dans la phase de modélisation, plusieurs chemins d'exécution peuvent être définis. Ces alternatives d'exécution correspondent aux instances du processus. Notre approche d'adaptation est par défaut au niveau de l'instance en cours d'exécution impactée par le changement et elle est réalisée par le système de déploiement de compétences. Pour assurer l'adaptation au niveau instance, nous utilisons un modèle du processus initial. Ce modèle est défini par

l'expert du processus (étape 1 dans la figure 5.13). Lors de la survenue d'un besoin de changement sur une instance en cours d'exécution, le système de déploiement de compétences après la sélection finale des acteurs assure l'adaptation nécessaire au niveau de cette instance (étape 2 dans la figure 5.13). Finalement, l'expert du processus sera le responsable de valider ou non l'intégration des changements au niveau modèle du processus (étape 3 dans la figure 5.13). Si l'expert du processus valide qu'il faut intégrer les changements au niveau modèle du processus, alors cette adaptation est réalisée par le système de déploiement de compétences (étape 4 dans la figure 5.13).

Nous détaillons chacune de ces étapes dans la suite de cette section.

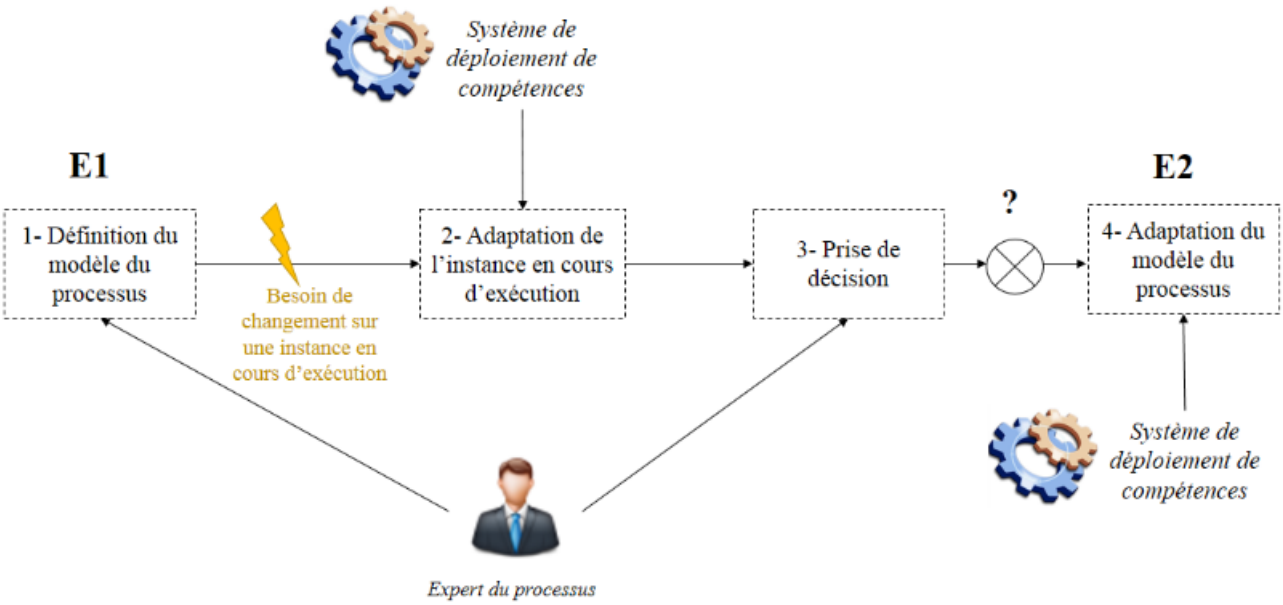


FIGURE 5.13 – Processus d'adaptation

4.1 Définition du modèle du processus

Différents langages de modélisation ont été proposés dans la littérature. A titre d'exemple, nous pouvons citer BPMN et UML AD qui ont fait l'objet d'une normalisation [78]. Chaque langage de modélisation possède son propre vocabulaire. Dans le cadre de notre approche, Il est utile de s'appuyer sur des concepts indépendants des langages de modélisation. C'est dans cette perspective que nous voulons avoir un ensemble suffisant des éléments requis à une modélisation simplifiée de tout processus métier. La définition du modèle du processus est sous la responsabilité de l'expert du processus.

Chaque processus est composé d'un ensemble d'activités et des flux de contrôle. Les activités permettent de définir le contenu du processus et les flux de contrôle

permettent de spécifier sa structure. Il existe plusieurs sortes de flux de contrôle dans la littérature [149] [3]. Les flux de contrôle considérés dans ce travail sont : Séquence, AND, OR et XOR. Le flux de séquence permet de spécifier les contraintes de précédence entre les éléments du processus. Le flux AND permet de représenter les parties du processus qui peuvent être exécutées en parallèle. Quant aux flux OR et XOR, ils permettent de spécifier la possibilité de choix multiple entre plusieurs chemins d'exécution. La sélection d'un chemin requiert la vérification d'une condition.

Dans une entreprise agile, les processus sont itératifs [125] [186]. Pendant son exécution et lors de la survenue d'un besoin de changement, un processus peut être reconfiguré où des nouvelles activités peuvent être intégrées. Les changements que nous considérons dans notre travail sont définis au niveau de granularité de la réalisation d'un processus métier, c'est-à-dire au niveau des activités qui le constituent. Nous définissons les activités qui ne sont pas définies lors de la phase de modélisation mais découvertes au moment de l'exécution du processus par activité émergente. Une activité émergente est une unité d'évolution du processus pour s'adapter au changement. Le concept d'acteur correspond à la ressource humaine impliquée dans la réalisation des processus ou d'une ou plusieurs activités émergentes. L'association entre l'acteur et les activités émergentes est basée sur le concept de compétence. Nous avons détaillé dans tout ce qui précède la démarche suivie pour sélectionner les acteurs pertinents lors de la survenue d'un besoin de changement en se référant à ses compétences.

Nous avons caractérisé chaque processus métier par deux types de contraintes : coût et durée. Chaque processus est finalisé, c'est à dire qu'il produit un livrable pour un client. Chaque client a des contraintes spécifiques en termes du coût et de durée. Donc la contrainte budgétaire et temporelle pour un processus correspond au maximum des contraintes spécifiées par les clients ayant intérêt au processus en question. Le coût du processus (C_p) correspond au coût maximum autorisé pour réaliser le processus. Et la durée du processus (D_p) correspond à la durée maximale autorisée pour réaliser le processus. De ce fait, le coût et la durée de chaque instance du processus ne doit pas dépasser les contraintes du processus C_p et D_p.

Pour prendre en considération les changements survenus pendant l'exécution du processus, nous caractérisons chaque activité émergente par quatre attributs spécifiques :

- At1 : Dégradation : une activité émergente est dégradée si la compétence associée est dégradée. Comme nous l'avons souligné précédemment la dégradation de la compétence est prise en considération quand le système de déploiement de compétences retourne des compétences similaires aux compétences explicitement mentionnées par le manager du processus en saisissant sa requête (Annexe C). Notons cet attribut At1 par :

$$deg_i = \begin{cases} 1, & \text{si il y a dégradation de compétences} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \tag{5.33}$$

- At2 : Niveau de criticité : cet attribut spécifie si la contrainte temporelle est le critère le plus important pour le manager du processus dans la réponse au besoin de changement. Il prend deux valeurs soit 1 s'il a le plus important poids dans le modèle de préférences du manager du processus et 0 sinon. En d'autres termes, si le manager du processus en définissant son modèle de préférences à spécifier que la contrainte la plus importante pour satisfaire le besoin de changement est du type temporel alors toutes les activités émergentes identifiées pour répondre au besoin de changement seront qualifiées comme critiques et non critiques sinon. Notons cet attribut At2 par :

$$Crt_i = \begin{cases} 1, & \text{si la contrainte la plus importante est de type temporel} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \tag{5.34}$$

- At3 : Durée d'exécution : cet attribut correspond à la durée d'exécution de la compétence acquise par l'acteur finalement sélectionné par le système de déploiement de compétences pour répondre au besoin de changement. La durée réelle d'exécution comme nous l'avons définie précédemment (voir section 3.3.3.3) est :

$$d_i = d_s * \frac{n_r}{n'_{si}} \tag{5.35}$$

- At4 : Coût d'exécution : il correspond au coût réel d'exécution de la compétence acquise par l'acteur finalement sélectionné par le système de déploiement de compétences pour répondre au besoin de changement. Le coût réel d'exécution comme nous l'avons défini précédemment (voir section 3.3.3.2) est :

$$p_i = p_s * \frac{n_r}{n'_{si}} \tag{5.36}$$

4.2 Adaptation de l'instance en cours d'exécution

La flexibilité visée dans le cadre de notre travail est a posteriori (i.e. par adaptation)[123]. Les approches qui offrent ce genre de flexibilité sont basées sur des formalismes de modélisation qui considèrent que la définition du processus qui en résulte n'est pas vraiment flexible, mais plutôt adaptatif. En effet, pour être flexible, un processus doit intégrer un changement sans avoir besoin d'être redéfini dés le début. Les changements considérés dans notre travail sont des changements non prévus pouvant découler de la nécessité de modifier le comportement d'un processus métier durant son exécution. Cela sous entend donc que ces changements affectent les instances d'un processus métier. Les changements appliqués au niveau des instances du processus métier sont également connus comme étant des changements spécifiques [116] [124]. Ils n'ont généralement pas d'incidence sur le reste des instances du processus en cours d'exécution et génèrent un impact local [123]. La finalité de cette étape est d'effectuer le scénario d'adaptation adéquat pour intégrer le changement au niveau de l'instance impactée. Pour la suite, nous accordons les définitions suivantes :

- Une instance du processus I_{P_i} est définie par un triplet $I_{P_i} = (n_{Pi}; A_i; Ex_i)$ où :

  - n_{Pi} est le nom du processus correspondant
  - A_i est l'ensemble des activités composants l'instance I_{P_i}
  - Ex_i est l'ensemble des acteurs participants à l'exécution des activités de l'ensemble A_i
- Une activité a_j de l'ensemble A_i est définie par le triplet $a_j = (n_aj; et_j; Fc_j)$ où :
  - n_{aj} est le nom de l'activité a_j
  - et_j est l'état de l'activité a_j
  - Fc_j est l'ensemble des flux de contrôle affectés à a_j

Suite à l'apparition de nouveaux événements : une situation contextuelle SCi à un instant t peut basculer vers une autre situation contextuelle SCj à un instant $t+1$. Cette transformation T^t consiste à associer une/des activité(s) émergente(s) a_{ei} à l'instance impactée au niveau de l'activité impactée a_i. Une instance impactée/activité impactée est l'instance du processus/l'activité de l'instance qui a subit un changement. Ceci nécessite la mise en place d'un cadre méthodologique permettant d'assurer une projection sur les éléments impactés (I_{P_i} et a_i) par le changement. Pour ce faire, nous supposons que l'information est présente dans le contexte de la requête du manager du processus. Ce contexte renseigne des informations sur l'instance du processus et les activités impactés par le besoin de changement.

$$T^t : (I_{P_i}, a_i) \rightarrow a_{ei} \tag{5.37}$$

Pour assurer la reconfiguration dynamique de l'instance en cours d'exécution, nous avons identifié deux sous étapes (voir la Figure 5.12) : (i) *la définition du schéma de solution* : pour adapter l'instance en cours d'exécution, nous considérons que chaque compétence identifiée est équivalente à une activité émergente. En effet, les compétences sélectionnées correspondent à des compétences individuelles. Les dépendances entre ces compétences déduites de l'ontologie de compétences requises permettent de déduire les relations entre les activités émergentes correspondantes. (ii) *l'intégration du schéma de solution*, une fois l'ordonnancement de compétences converti en un ordonnancement d'activité (i.e schéma de solution), nous procédons à une étape d'intégration permettant de faire évoluer l'instance du processus I_{P_i}. La suite de cette section donne plus de détails sur ces deux sous étapes.

A l'issue de la demande du manager du processus, sa requête permet d'identifier les compétences requises qui a fait l'objet de la première partie de notre approche. Supposons qu'il y a n compétences requises pour satisfaire une requête. Cet ensemble est défini comme suit :

$$C_r = \{C_{r1}, C_{r2}, C_{r3}, ..., C_{rn}\} \tag{5.38}$$

Nous ne parlons plus de catégories de compétences requises dans cette étape, vu qu'une seule compétence requise de chaque catégorie est sélectionnée suite à l'étape précédente (*Evaluation & Filtrage*). Donc l'ensemble C_r correspond aux compétences requises finalement sélectionnées qui sont maitrisées par l acteurs, ceci est noté :

$$\begin{aligned} & \forall 1 < i < n, \quad \forall 1 < j < l \\ Ex_s = \{ex_j \quad telque \quad \forall i \in [1,n] \quad \exists C_{Exj} \in C_r\} \\ & \gamma_j = \{C_{Exj}\} : Profil \quad de \quad e_j \end{aligned} \tag{5.39}$$

Nous définissons chaque compétence requise C_{ri} de l'ensemble C_r par le triplet $C_{ri} = (n_{C_{ri}}, o_{C_{ri}}, Rl_{C_{ri}})$. Avec :

- $n_{C_{ri}}$, le nom de la compétence requise C_{ri} ;
- $o_{C_{ri}}$, l'objectif de la compétence requise C_{ri}
- et $Rl_{C_{ri}}$ les relations conceptuelles associées à la compétence requise C_{ri}.

Ces informations sont collectées à partir de l'ontologie de compétences requises. Pour les conventions d'appellation et par mesure de simplification, nous avons proposé de désigner chaque activité émergente par l'objectif de la compétence requise en question. Pour cela, l'ensemble de compétences requises C_r est traduit par un ensemble d'objectifs comme suit :

$$O_r = \{O_{r1}, O_{r2}, O_{r3}, ..., O_{rn}\} \tag{5.40}$$

Comme nous l'avons souligné précédemment, la définition du schéma de solution consiste en une transformation de l'ordonnancement des compétences en un ordonnancement d'activités. Cette transformation dépend des relations disponibles entre les compétences requises. Les relations $(C_{ri} - C_{rj})$ existantes dans l'ontologie de compétences requises sont des relations conceptuelles comme présenté dans le chapitre 3 : *EstSimilaireAx*, *EstComposéeDe* et *Requiert*. A la fin de l'étape *Evaluation & Filtrage*, les relations *EstSimilaireAx* sont éliminées. Ainsi, les compétences sélectionnées sont liées par les relations suivantes : *EstComposéeDe*, *Requiert*. L'ordonnancement de compétences noté $Mr_c = \{C_i, R_c\}$ est converti en un ordonnancement d'activités $Mr_a = \{ae_i, Fc\}$. Avec :

- C_i est une compétence requise
- ae_i est l'activité émergente correspondante à la compétence requise C_i
- F_c est le flux de contrôle correspondant à la relation conceptuelle R_c.

Dans le cadre de notre travail, nous caractérisons chaque flux de contrôle par les attributs suivants :

- Nom : désignation du flux de contrôle ;
- Destination : l'élément cible du flux de contrôle ;
- Source : l'élément source du flux de contrôle.

Ainsi que nous caractérisons le schéma de solution (i.e l'ordonnancement des activités émergentes) Mr_a par les attributs suivants :

- Éléments : indique la liste des activités et liaisons existantes entre elles ;
- Début : indique le début du schéma de solution ;
- Fin : indique la fin du schéma de solution.

Selon [123], les opérations d'adaptation sont classifiées en deux types : (i) les opérations basiques permettant d'insérer, de supprimer ou de modifier une activité, de changer un flux de contrôle et (ii) les opérations complexes définies comme étant des compositions de plusieurs opérations basiques. Dans le cadre de notre travail, le changement est partiel et au niveau de l'activité impactée (définie par le manager du processus). Nous proposons que le scénario d'adaptation dépend de l'état de

l'activité impactée. Par exemple si une activité A_i est annulée par le manager du processus d_j alors le scénario d'adaptation consiste à substituer l'activité A_i par l'activité émergente a_{ei}. Pour effectuer cette substitution deux opérations basiques sont mises en œuvre [123] : la suppression de l'activité A_i et l'insertion de l'activité a_{ei}. Alors que si l'activité A_i est en cours d'exécution et le manager du processus d_j lance une requête de recherche d'expertise, alors le scénario d'adaptation dans ce cas consiste en une insertion de l'activité émergente. Pour une insertion séquentielle, l'activité émergente à insérer sera insérée séquentiellement à une activité dans un branchement séquentiel ou dans un branchement parallèle. De même, pour une insertion parallèle, l'activité émergente à insérer sera insérée parallèlement à une activité dans un branchement séquentiel ou dans un branchement parallèle.

La démarche que nous avons définie pour définir le schéma de solution et l'intégrer dans l'instance du processus impactée est résumée dans les tableaux suivants.

Définition du schéma solution
Pour toute compétence C_{ri} dans l'ensemble de compétences C_r Convertir chaque compétence requise en une activité émergente comme suit : ae_i.nom=C_{ri}.objectif (c'est-à-dire : $ae_i.n_{aei}$=$C_{ri}.o_{C_{ri}}$) ae_i.At1=Deg_i ae_i.At2=Crt_i ae_i.At3=C_{ri}.durée ae_i.At4=C_{ri}.coût S'il existe une relation conceptuelle Rl_C entre C_{ri} et C_{rj} alors lier les activités correspondantes comme suit : Définir un flux de contrôle de type séquence : $F_(ae_i, ae_j)$.Nom=Séquence $F_(ae_i, ae_j)$.source=ae_j $F_(ae_i, ae_j)$.destination=ae_i Sinon s'il n'existe pas de relations conceptuelles entre C_{ri} et C_{rj} alors lier les activités correspondantes par un flux de contrôle de type parallèle : $F_(ae_i, ae_j)$.Nom=Parallèle $F_(ae_i, ae_j)$.source=Mr_a.début $F_(ae_i, ae_j)$.destination =Mr_a.fin

Intégration du schéma solution
Pour toute requête R_j du manager du processus, Vérifier l'état de l'activité impactée Si et_i=A_i.etat=en cours Procéder à un ajout parallèle du schéma de solution $Mr_a i$ à l'instance impactée $F_(A_i, Mr_a)$.Nom=parallèle $F_(A_i, Mr_a)$.Source=A_{i-1} $F_(A_i, Mr_a)$.Destination=Mr_a.début

Intégration du schéma solution (suite)
$F_(A_i, Mr_a)$.Destination=A_i
Sinon si $et_i = A_i$.etat=annulée
Procéder à un remplacement de A_i par Mr_a
A_i.attribut = Mr_a.attribut
Sinon si $et_i = A_i$.etat=terminée
Procéder à une insertion parallèle de Mr_a
$F_(A_i, Mr_a)$.Nom=parallèle
$F_(A_i, Mr_a)$.Source=A_i
$F_(A_i, Mr_a)$.Destination=Mr_a.début
$F_(A_i, Mr_a)$.Destination=A_{i+1}

4.3 Prise de décision et adaptation du modèle du processus

Une fois que les nouvelles activités émergentes ont été intégrées selon la démarche d'adaptation que nous avons définie dans la section précédente, l'ensemble des informations nécessaires est disponible pour faire un différentiel entre l'instance du processus avant et après la satisfaction du besoin de changement. Il est ainsi possible de savoir si les changements réalisés doivent être considérés uniquement au niveau instance du processus ou doivent être intégrés au niveau modèle du processus. Une nouvelle version d'instance du processus est créée chaque fois il y a eu un changement sur la version précédente. L'application de ces changements sur le modèle de processus correspondant est sous la responsabilité de l'expert du processus qui a le choix de valider l'intégration des changements au niveau modèle du processus ou de le considérer seulement comme une version d'instance qui peut être réutilisée en cas du besoin. Pour des fins de capitalisation et de réutilisation, nous définissons deux types de référentiels :

- RMP (Référentiel des modèles du processus) : Ce référentiel est composé de tous les modèles du processus disponibles dans l'entreprise. L'ajout d'un modèle du processus au RMP peut être réalisé de deux manières différentes : (i) pendant la phase de modélisation, avant que le processus sera exécuté, l'expert du processus sauvegarde le modèle en question pour la première fois dans le RMP. (ii) Une nouvelle version du modèle du processus est créée chaque fois il y a eu une intégration des changements sur la version précédente validée par l'expert du processus. En d'autres termes, après avoir répondu à un besoin de changement, l'expert du processus intervient à ce moment et valide ou non l'intégration des changements au niveau modèle du processus et le sauvegarde de cette nouvelle version dans le RMP.
- RIMP (Référentiel des instances) : Pour chaque processus sauvegardé dans le RMP, plusieurs chemins d'exécution peuvent être suivis pour sa réalisation. Toutes ces alternatives sont stockés dans le RIMP en tant qu'instances du processus. Chaque fois qu'un processus est exécuté, une nouvelle version du chemin suivi est sauvegardé dans le RIMP. Les changements définis pour répondre à un besoin de changement permettent de toujours créer une nouvelle version d'instance stockée dans le RIMP.

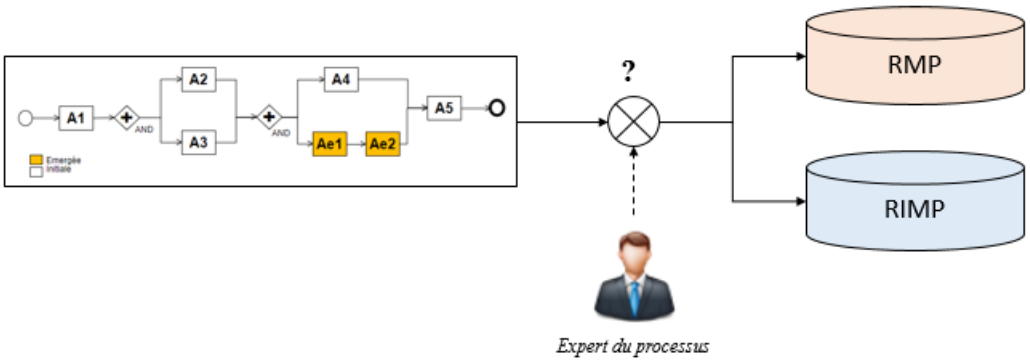


FIGURE 5.14 – Sauvegarde et prise de décision

La détermination des activités émergentes permet de savoir concrètement quelles sont les modifications réalisées permettant de restreindre le champ d'investigation. Chaque changement survenu sur l'instance au moment de son exécution crée une nouvelle version qui doit être considérée comme une nouvelle instance et stockée dans le RIMP. Si l'expert du processus décide que les changements appliqués au niveau instance doivent être appliqués au niveau modèle du processus alors le schéma de solution sera intégré avec un branchement XOR au niveau du l'activité impactée dans le modèle du processus en question. La démarche que nous avons définie pour assurer l'adaptation du modèle de processus est résumée dans le tableau suivant.

Adaptation du modèle de processus
Pour toute validation d'intégration des changements au niveau modèle du processus par l'expert de processus Identifier l'activité du processus A_{p_i} qui correspond à l'activité impactée A_i dans l'instance du processus impactée I_{P_i} Si $et_i = A_i$.etat=en cours ou $et_i = A_i$.etat=annulée Procéder à un ajout XOR du schéma de solution Mr_a au modèle du processus correspondant à l'instance du processus impactée I_{P_i} comme suit $F_(A_{p_i}, Mr_a)$.Nom=XOR $F_(A_{p_i}, Mr_a)$.Source=$A_{p_{i-1}}$ $F_(A_{p_i}, Mr_a)$.Destination=Mr_a.début $F_(A_{p_i}, Mr_a)$.Destination=A_{p_i} Sinon si $et_i = A_i$.etat=terminée Procéder à un ajout XOR du schéma de solution Mr_a au modèle du processus correspondant à l'instance du processus impactée I_{P_i} comme suit $F_(A_{p_i}, Mr_a)$.Nom=XOR $F_(A_{p_i}, Mr_a)$.Source=A_{p_i} $F_(A_{p_i}, Mr_a)$.Destination=Mr_a.début $F_(A_{p_i}, Mr_a)$.Destination=$A_{p_{i+1}}$

Nous considérons ici que pour garantir la cohérence, deux changements pour le même

processus ne peuvent pas être résolus en parallèle. En d'autres termes, les réponses aux besoins de changements sont réalisés d'une manière séquentielle et atomique pour le même processus. Comme souligné précédemment, chaque activité émergente est caractérisée par quatre attributs spécifiques : A1, A2, A3 et A4. De ce fait, nous pouvons déduire les caractéristiques du schéma de solution intégré comme suit :

- At_t1 : attribut de dégradation du schéma de solution. Pour un besoin de changement donné, toutes les activités émergentes définissant le schéma de solution partagent le même attribut At1. De ce fait, l'attribut de dégradation du schéma de solution At_t1=At1
- At_t2 : attribut criticité du schéma de solution. Pour un besoin de changement donné, toutes les activités émergentes définissant le schéma de solution partagent le même attribut At2. De ce fait, l'attribut criticité du schéma de solution At_t2=At2
- At_t3 : la durée totale du schéma de solution correspond à la somme des durées des activités émergentes dans un branchement séquentiel et de la durée maximale des activités émergentes dans un branchement parallèle. De ce fait, $At_t3=\sum_{i=1}^{a} At3_i + \max_{j=1...b} At3_j$ avec $a + b = k$ est l'ensemble des activités émergentes (k est le nombre de catégories de compétences retournées par le système de recherche de compétences, a est le nombre des activités dans un branchement séquentiel et b est le nombre des activités dans un branchement parallèle).
- At_t4 : le coût total du schéma de solution correspond à la somme des coûts des activités émergentes dans un branchement séquentiel et du coût maximal des activités émergentes dans un branchement parallèle. De ce fait, $At_t4=\sum_{i=1}^{a} At4_i + \max_{j=1...b} At4_j$ avec $a + b = k$ est l'ensemble des activités émergentes (k est le nombre de catégories de compétences retournées par le système de recherche de compétences, a est le nombre des activités dans un branchement séquentiel et b est le nombre des activités dans un branchement parallèle).

Si l'expert du processus après la satisfaction du besoin de changement a considéré que les changements réalisés au niveau de l'instance impactée doivent être intégrés au niveau du modèle du processus alors les contraintes C_p et D_p doivent être mises à jour en prenant en considération les attributs At_t3 et At_t4 du schéma de solution. Nous supposons à l'état actuel de nos travaux que ces contraintes sont flexibles. Toutefois la prise en compte de ces contraintes dans la sélection finale des alternatives fera l'objet de perspectives à ce travail.

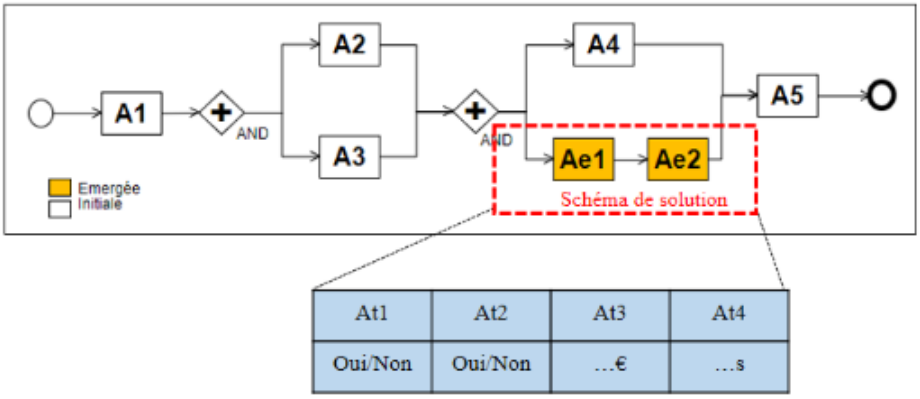


FIGURE 5.15 – Caractéristiques activités émergentes

Exemple :
Pour illustrer la démarche présentée dans ce chapitre, nous allons considérer le processus illustré dans la Figure 5.16. Il est initié suite à un changement du besoin de la part du client sur un exemplaire pré-serie. Il s'agit d'un changement de matériau ferromagnétique d'un contacteur électromagnétique. Sur un contacteur électromagnétique la section du matériau ferromagnétique du circuit est dimensionnée au minimum par la quantité du flux qui doit passer dans cette section et au maximum par le poids du dispositif [140]. Ces deux indicateurs dépendent des caractéristiques du matériau considéré. Donc pour changer le matériau ferromagnétique, les activités suivantes doivent être exécutées :

- L'activité A1 : Décrire le problème en analysant la demande du client et modifiant le cahier des charges.
- L'activité A2 : Rédiger à partir du cahier des charges les caractéristiques du nouveau matériau.
- L'activité A3 : Choisir les traitements en fonction de l'usage, de la performance et l'adéquation du matériau au mode de fabrication du produit final.
- L'activité A4 : Évaluer les choix méthodologiques sur la production.
- L'activité A5 : Le nouveau prototypage peut être effectué et le processus se termine.

Supposons qu'au moment de l'exécution du processus, les activités A1, A2 et A3 sont exécutées comme prévu. A l'initialisation de l'activité A4, l'acteur responsable de sa réalisation a reçu une information indiquant que le produit envoyé dernièrement au client ne respecte pas les exigences de dimensionnement et qu'il est renvoyé à l'entreprise. Cet événement inattendu n'est pas pris en considération et il s'agit d'une première occurrence. Il affecte l'instance en cours d'exécution puisqu'il doit être traité immédiatement pour éviter d'autres retards. A cet effet, l'activité A4 : "Evaluer les choix méthodologiques sur la production" est interrompue et elle sera reprise une fois le problème est résolu.

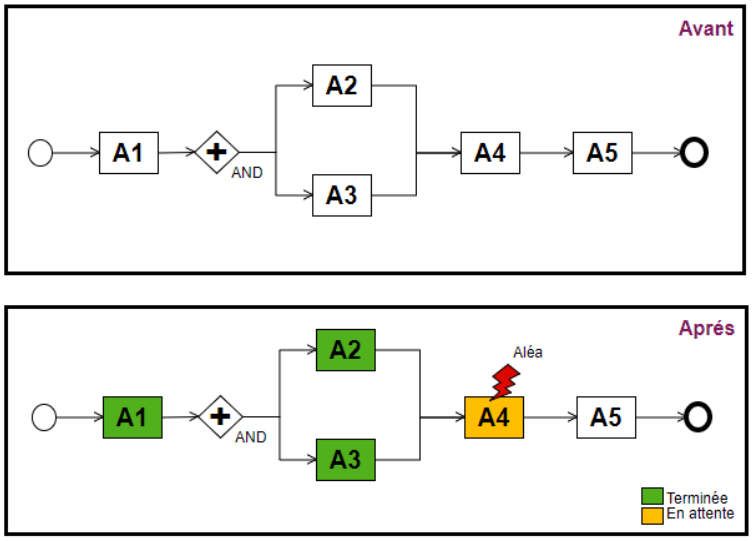


FIGURE 5.16 – Processus de changement de matériau d'un contacteur électromagnétique

Reprenons l'exemple de la requête traitée dans les chapitres 3, 4 et 5, les compétences requises identifiées sont affectées aux 2 acteurs comme suit :

- C_3 est affectée à l'acteur Ex_3
- C_5 est affectée à l'acteur Ex_5

De ce fait, les ensembles C_r et Ex_i sont définis comme suit :

$$C_r = \{C_3, C_5\} = \{MaitriserAdapco, Eaborercahierdescharges fonctionnel\}$$

$$Ex_i = \{Ex_3, Ex_5\} = \{Georges, Richard\}$$

Entre les compétences C_3 et C_5 il n'y a pas de relation conceptuelle selon l'ontologie de compétences requises présentée dans le chapitre 3, donc les activités émergentes correspondantes ae_3 et ae_5 sont liées par un flux de contrôle de type *Parallèle* avec :

- ae_3.Nom=C_3.Objectif=*Réaliser simulation*
- ae_5.Nom=C_5.Objectif=*Vérifier et identifier les lacunes*

La figure 5.17 illustre le schéma de solution i.e. l'ordonnancement des activités émergentes, déduit à partir de l'ordonnancement de compétences, intégré dans le modèle du processus de la figure 5.16. En effet, l'expert du processus a décidé d'intégrer le schéma solution au niveau modèle de processus, donc cette nouvelle version est sauvegardée dans le RMP où un branchement XOR est défini pour intégrer le changement survenu.

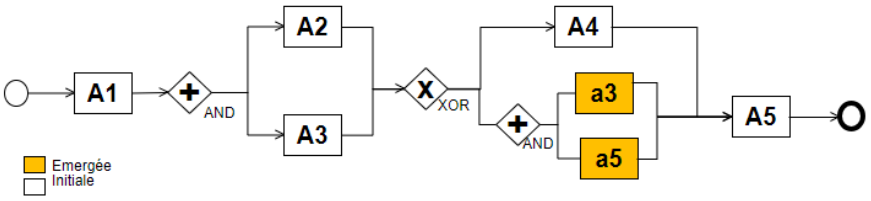


FIGURE 5.17 – Processus de la Figure 5.6 après la satisfaction du besoin de changement

5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la dernière étape de notre approche, déploiement de compétences et ainsi répondant au dernier problème traité dans cette thèse *Comment sélectionner la meilleure alternative pour assurer un déploiement optimal de compétences pendant l'exécution du processus ? et comment intégrer les changements pour adapter le modèle et/ou du processus ?*. Le déploiement de compétences est composé de deux étapes. Pour assurer les fonctionnalités de la première étape, *Evaluation & filtrage* nous avons utilisé la méthode AHP pour sélectionner la meilleure alternative pour chaque catégorie de compétence requise en satisfaisant les préférences du manager du processus. Quant à la reconfiguration dynamique, elle est appliquée par défaut au niveau instance du processus par le système de déploiement de compétences. Elle consiste à convertir chaque compétence requise en une activité émergente. Cette conversion est assurée grâce à la vision intentionnelle que possède la compétence déduite à partir de l'ontologie de compétences requises par le concept (*objectif*). Ainsi que les relations conceptuelles renseignées dans l'ontologie de compétences requises permettent de déduire l'ordonnancement des activités émergentes. L'adaptation du modèle de processus correspondant est sous la responsabilité de l'expert du processus. En d'autres termes, pour appliquer les changements survenus, intégrés au niveau instance en cours d'exécution, niveau modèle du processus, l'expert du processus intervient à ce moment et à le choix de valider ou non l'application. Si l'expert du processus a validé la création d'une nouvelle version du modèle de processus, l'adaptation est réalisée par le système de déploiement de compétences. Une telle extension du modèle permet au processus d'être agile afin de répondre à des événements qui n'ont pas été pris en compte lors de la phase de modélisation. Ce qui permet d'entremêler les phases de modélisation et d'exécution en modélisant le processus à la volée.

Conclusions et perspectives

Conclusion

Les entreprises ont eu recours d'une part à la gestion des processus d'entreprise (BPM) pour automatiser leurs processus, les gérer et les améliorer et d'autre part à l'agilité pour faire face à l'environnement incertain et complexe. Au sein de l'entreprise, l'agilité a été étudiée selon deux domaines (i.e agilité d'entreprise et agilité du processus) et selon deux dimensions (i.e organisationnelle et technique). Dans la revue de littérature, que nous avons présentée dans le chapitre 1, les principaux critères d'agilité selon les deux dimensions (organisationnelle et technique) sont identifiés. Ces critères sont utilisés à la fin de ce chapitre pour analyser les apports des approches étudiées. A partir de la revue bibliographique, nous avons noté :

- ⋆ l'absence des travaux traitant à la fois de l'agilité organisationnelle et l'agilité technique des processus métier. En effet, la plupart des auteurs abordent le concept d'agilité sous un prisme particulier (agilité technique ou agilité organisationnelle) sans l'aborder dans sa globalité ;
- ⋆ la rareté des études sur l'agilité organisationnelle des processus métier qui est encore peu étudiée aujourd'hui ;
- ⋆ que la totalité des approches proposées sont orientées vers l'amélioration de l'agilité technique et principalement résoudre le problème de rigidité des processus en offrant la flexibilité nécessaire. Toutes ces solutions restent dans la vision d'une représentation orientée activité et prescriptive des processus d'entreprise ;
- ⋆ que les approches proposées pour améliorer l'agilité organisationnelle des processus ont intégré principalement des techniques de collaboration et de communication. Malgré leur importance, les approches proposées ne sont pas matures. Aucune d'elles n'a réussi à intégrer la notion de compétence en offrant le support adéquat pour extraire et exploiter les compétences pendant le cycle de vie de processus et principalement pendant son exécution.

Les travaux de cette thèse portent sur la gestion agile de processus métier selon la dimension organisationnelle dans une optique complémentaire aux travaux sur l'agilité technique. La gestion de compétences occupe une position centrale dans l'approche proposée puisqu'il s'agit d'identifier la/les compétence(s) adéquate(s) lors de la survenue d'un aléa, un besoin de changement. Trois problèmes sont identifiés et explorés dans cette thèse :

- ⋆ quels sont les principes de l'agilité organisationnelle des processus métier à respecter dans l'entreprise ?

- ⋆ comment intégrer la notion de compétence pour supporter l'exécution des processus d'entreprise et répondre à tout besoin de changement ;
- ⋆ quels sont les mécanismes qui peuvent être utilisés pour supporter l'agilité organisationnelle des processus métier et en complémentarité de la dimension technique.

Bilan

Pour synthétiser les contributions apportées par nos travaux de recherche, nous reprenons chaque chapitre du manuscrit et résumons les contributions associées.

Cadre conceptuel pour l'agilité organisationnelle

Nous avons vu dans le chapitre 2 qu'il n'y a pas de travaux qui ont identifié les concepts clés de l'agilité organisationnelle dans le domaine de gestion de processus d'entreprise. Ce qui nous a conduit à proposer un cadre conceptuel sur l'agilité organisationnelle en s'appuyant sur les travaux étudiés [176]. En effet, l'agilité n'est pas une solution ultime mais un ensemble de concepts et principes appliqués dans l'entreprise. Pour répondre au changement deux dimensions distinctes de l'agilité organisationnelle sont identifiées en synthétisant les apports des différents auteurs :

La réactivité se fonde sur la flexibilité réactive et correspond à la possibilité de répondre rapidement aux changements, en particulier non anticipés, par l'optimisation des ressources existantes. Elle relie les notions de détection et d'adaptation à la dimension temporelle.

La proactivité consiste à analyser l'environnement dans lequel évolue l'entreprise, cette dernière prévient une situation évolutive et l'exploite pour donner un avantage compétitif au client en anticipant ses besoins et en apportant plus de valeurs.

Plusieurs concepts sont définis pour soutenir la dimension organisationnelle de l'agilité. Développer et maintenir ces concepts dépend du contexte dans lequel l'agilité est adoptée. Dans le cadre de cette thèse, nous avons focalisé sur la dimension réactive de l'agilité organisationnelle. Ainsi, seuls les concepts de la dimension réactive de l'agilité organisationnelle sont pris en considération dans notre approche. Nous mettons en avant des principes de la réponse réactive à savoir la responsabilisation des acteurs, l'autonomie des acteurs et la décentralisation de la prise des décisions. Essentiellement basée sur la notion de compétence, l'approche que nous proposons agit sur la perspective organisationnelle et comportementale du processus.

Définition de notre approche

Notre deuxième contribution se situe dans l'approche proposée. En effet, aucune méthode permet aujourd'hui de lier dans le domaine de la gestion de processus et selon l'objectif d'être agile de pouvoir identifier les acteurs pour répondre à

un changement en passant par la notion de compétence. Nous avons présenté dans la deuxième partie du chapitre 2 l'architecture globale de notre approche. Notre travail s'inscrit dans une dimension réactive de l'agilité organisationnelle. Ainsi, la problématique traitée dans cette thèse est : *suite à un aléa, un besoin de changement, survenu pendant l'exécution du processus quelle(s) est/sont la/les compétence(s) adéquate(s) pour assurer l'adaptation du processus au nouveau contexte d'exécution.* Nous avons proposé qu'une gestion agile du processus requiert la prise en compte des étapes suivantes : (1) la détection du besoin du changement, (2) l'expression du besoin en lien avec le changement, (3) la définition de la réponse au besoin du changement et (4) la mise en oeuvre de la réponse. Dans le cadre de nos travaux, nous nous sommes intéressés essentiellement à l'étape expression du besoin et réponse au changement et partiellement à l'étape mise en œuvre de la réponse au changement.

L'architecture de notre approche comporte trois niveaux : process level, requirement level et repository level. Pour résumer cette architecture, l'identification de compétences et l'adaptation du processus à la nouvelle situation se compose principalement de deux étapes principales : (i) *Recherche de compétences*, elle comporte l'expression du besoin et l'identification des compétences requises et la sélection des acteurs susceptibles de répondre au besoin du changement. Et (ii) *déploiement de compétences* permet de prendre en considération le contexte d'exécution du processus pour affiner le résultat retourné par la première étape et intégrer les changements survenus au niveau instance du processus en question. La notion de compétence occupe une place centrale dans l'approche proposée. Elle est utilisée pour d'une part supporter l'agilité organisationnelle des processus en identifiant les compétences requises pour satisfaire un besoin émergent et en sélectionnant les acteurs pertinents disposant de ces compétences et d'autre part les actions d'adaptation définies pour supporter l'agilité technique des processus sont basées sur l'intentionnalité offerte par la compétence.

Cette approche met en oeuvre des travaux et méthodes dans différents domaines (système de recherche d'information, ontologie, analyse des concepts formels, aide à la décision...). Concernant le couplage entre les méthodes nous citons les apports suivants :

1. Nous avons choisi d'utiliser une requête en langage naturel pour faciliter la tâche d'expression du besoin. Bien que l'utilisation de la requête pour un besoin de recherche puisse sembler peu originale, à notre connaissance aucune méthode n'a utilisé cette technique dans un contexte industriel et particulièrement pour une recherche de compétence pendant l'exécution du processus. Nous avons proposé une démarche d'analyse de requête qui n'a pas pour prétention de résoudre tous les problèmes ni de proposer une démarche meilleure que celles issues dans le domaine de la recherche d'information.
2. Notre contribution dans le domaine de l'ontologie se situe à deux niveaux. Tout d'abord, nous avons proposé une ontologie de compétences requises en passant en revue les travaux menés dans la modélisation de compétences pour définir les concepts phares à manipuler dans notre approche. En plus nous avons défini

une méthode de structuration en définissant deux types de relations ontologiques : conceptuelles et sémantiques. L'utilisation des concepts plutôt que des termes permet de rendre possible la gestion de plusieurs langues grâce à la notion de synonymie où plusieurs termes peuvent être associés au même concept. Différents axiomes ont été définis à savoir ceux à utiliser pour vérifier les relations conceptuelles entre deux concepts de type *compétence* : *EstSimilaireA*, *EstComposéeDe* et *Requiert*. Ensuite, nous avons proposé une démarche de recherche pour extraire les compétences requises à partir de l'ontologie guidée par le résultat de l'étape précédente (*Expression du besoin*). Cette démarche permet de rendre l'exploitation de l'ontologie de compétences requises possible pendant l'exécution du processus. Pour cela, deux algorithmes ont été définis : (i) le premier permet de localiser le concept dans l'ontologie ayant la plus forte similarité sémantique avec les concepts représentatifs de la requête. La mesure de Dice est adoptée dans ce contexte. Et (ii) le deuxième algorithme permet d'assurer une navigation contrôlée dans l'ontologie à partir du concept localisé pour n'extraire que les concepts de type *compétence*. Ces compétences sont organisées en catégories de compétences. Cette organisation permet d'étendre l'espace de recherche d'acteurs pertinents.

3. Ensuite nous avons adopté l'approche de Galois pour définir le référentiel de compétences acquises. Nos contributions dans ce domaine sont à trois niveaux. D'une part, nous avons proposé une méthode de définition des profils d'acteurs. Cette méthode comporte l'indexation des compétences acquises et l'auto-évaluation de ces compétences. Les concepts pères identifiés pour indexer la compétence dans l'ontologie de compétences requises (OCR) sont utilisés dans le treillis de compétences acquises ($\theta(k)$) pour définir les profils des acteurs et assurer l'alignement entre l'OCR et $\theta(k)$. Le choix d'auto-évaluation de compétences correspond à la volonté de responsabiliser les acteurs dans les approches agiles. L'échelle du référentiel ROME [36] est utilisé dans ce contexte. Ensuite, en passant en revue les travaux menés dans le domaine de l'analyse des concepts formels et particulièrement la construction du treillis de Galois, nous avons adapté l'algorithme de Bordat [26] à nos besoins de recherche d'acteurs. Cette adaptation consiste à appliquer la contrainte suivante en organisant les profils d'acteurs *que les acteurs ayant un niveau de maitrise supérieur ou égal au niveau de maitrise requis sont insérés dans le treillis*. L'objectif final de ce chapitre était de rendre exploitable le treillis de compétences acquises pour sélectionner les acteurs disposant des compétences requises. Pour cela, nous avons proposé une démarche de navigation dans le treillis en s'inspirant de la méthode de [114]. Bien que le treillis de Galois a prouvé son efficacité et a été largement utilisé dans la recherche documentaire à notre connaissance, aucun travail ne l'a utilisé pour des fins de recherche de compétences dans un contexte industriel.
4. Afin de fournir un bon déploiement de compétences, nous avons étudié les informations contextuelles qui interagissent fortement au moment de la survenue d'un aléa pendant l'exécution du processus. Nous avons adopté la méthode AHP pour filtrer le résultat retourné par le système de recherche d'acteurs et solliciter la meilleure alternative par catégories de compétences. Une fois, que

la meilleure alternative est sélectionnée, l'instance du processus est modifiée en utilisant les actions d'adaptation nécessaires. Une modification au niveau modèle du processus correspondant est validé par l'expert du processus.

Le travail de cette thèse a donné lieu à des publications dans des conférences internationales [176], [177] et [178].

Nos contributions ne prétendent pas apporter une réponse parfaite et indiscutable aux différentes problématiques de cette thèse. Soucieux de la continuité de nos travaux, nous avons dégagé un ensemble de perspectives.

Perspectives

Les perspectives de cette thèse portent sur deux volets. Le premier volet inclut les perspectives liées à la suite de nos contributions. Le second volet s'intéresse aux perspectives qui s'inscrivent dans une optique de travail connexe.

Perspectives liées à la continuité de ce travail de thèse

Perspectives liées à la mise en oeuvre et l'outillage de l'approche proposée

Le premier travail à conduire à l'issue des travaux de cette thèse, consiste au développement de l'outil adéquat pour mettre en oeuvre l'approche proposée. Aujourd'hui dans un contexte en forte évolution, rares sont les processus qui n'ont pas subi des modifications durant leur cycle de vie. Il serait intéressant également d'appliquer notre approche sur des cas réels de processus métier.
Pour réaliser l'outil, il faut développer les différents systèmes avec leurs composants (i.e système d'expression du besoin, système de recherche de compétences, systèmes de recherche d'acteurs et système de déploiement de compétences) dont nous avons déjà proposé toutes les démarches dans les chapitres 3 et 4 et 5. Le grand souci pourrait être les processus de construction manuelle de deux référentiels de compétences (ontologie de compétences requises et treillis de compétences acquises). En effet, c'est un processus long et coûteux en termes de temps et d'effort. Ainsi, d'autres pistes pour accélérer la construction de ces deux référentiels de compétences sont abordées dans la section suivante.

Perspectives liées aux référentiels de compétences

A l'état actuel, le remplissage de l'ontologie de compétences requises est manuel et nécessite une intervention humaine pour définir les différentes fonctionnalités couvertes par l'entreprise qui a décidé de les mettre à disposition des acteurs internes. Néanmoins, il serait bénéfique de se baser sur une base de données lexicale comme wordnet. Cette dernière repose sur un ensemble de synonymes appelés synsets permettant ainsi, de décrire sémantiquement et d'une manière non ambiguë et exploitable par les machines, les concepts et les propriétés proposées dans l'ontologie. En effet, chaque synset contient tous les mots synonymes pouvant exprimer le sens auquel il fait référence. D'autre part, l'ontologie définie ne

s'intéresse qu'aux compétences techniques (métier) les plus utilisées dans les entreprises industrielles. Alors qu'une extension de cette ontologie en intégrant la notion de compétence comportementale/sociale sera bénéfique et améliore l'efficacité du processus d'identification de compétences et donc de prendre en considération la correspondance 1-N. C'est-à-dire la proposition d'une compétence collective pour satisfaire un besoin émergent. Ainsi, il serait intéressant d'approfondir les travaux réalisés sur l'ontologie des compétences comportementales. En effet, son élaboration est longue, car régulièrement soumise à débat. Il est difficile de cerner les comportements humains et de bien faire la frontière entre traits de personnalité et compétences comportementales. Afin que l'ontologie soit la plus pertinente possible, il serait intéressant de travailler dans certains domaines, en particulier dans les travaux réalisés en psychologie sur les traits de personnalité et sur les comportements des individus. Pour prolonger cette recherche, il faudrait des contacts avec des psychologues afin de débattre et de construire cette ontologie de la façon la plus juste possible.

Actuellement, la définition du treillis de compétences acquises est semi-automatique et nécessite une intervention de la part de chaque acteur pour définir son profil (liste de compétences et niveaux de maitrises correspondants). Il serait également intéressant d'utiliser les traces d'exécutions et l'ontologie de compétences pour identifier les compétences implémentées par chaque acteur et donc remplir la matrice relationnelle utilisée pour construire le treillis de Galois. De ce fait, le treillis sera construit en s'appuyant sur la relation *acteur x compétences* déduite de la relation *acteur x activité* des traces d'exécution. C'est un travail laborieux et à l'intersection de plusieurs domaines dont notamment celui de la recherche d'information, de l'extraction d'information et de l'analyse d'information. Les compétences identifiées peuvent être évaluées en se référant par exemple aux critères tels que : la fréquence d'exécution de chaque compétence, la durée d'exécution correspondante et la durée de rupture d'exécution...

Par ailleurs, un attribut *réputation* pourrait être défini pour caractériser l'acteur. Cet attribut sera défini par le manager du processus qui a intérêt au résultat fourni par la compétence C_{ij} de l'acteur a_i. Chaque manager du processus peut attribuer une note selon son degré de satisfaction. Un degré est défini selon une échelle de 5 valeurs par exemple (de 1 à 5) soit (1, 2, 3, 4, 5). Il sera traduit en une valeur entre 0 et 1 qui est divisé sur 5 niveaux soit (0, 0.25, 0.5, 0.75, 1). Nous proposons de retenir la médiane pour définir un degré de satisfaction global pour tous les manager du processus par rapport à la compétence C_{ij}. En effet, la médiane n'est pas sensible aux valeurs extrêmes (satisfaction élevée pour un manager du processus qui ne peut pas être le même cas pour les autres). La réputation pourrait être utilisé pour donner plus d'objectivité au niveau de maitrise de chaque compétence acquise.

Perspectives liées au système d'expression du besoin et de recherche de compétences requises

Une utilisation du langage naturel pour exprimer les besoins facilite la tâche aux acteurs, mais requiert une méthode de décomposition syntaxique et d'analyse mor-

phosyntaxique pour extraire les concepts les plus représentatifs de la requête et qui peuvent être insérés dans l'ontologie pour identifier les compétences requises. En effet, dans ce travail nous avons supposé que les concepts représentatifs de la requête sont sous leurs formes canoniques. Donc la définition d'une méthode de construction et d'identification des concepts représentatifs qui ne peuvent pas être saisis sous forme canonique serait intéressante. D'autre part, la méthode de localisation de compétences dans l'ontologie pourrait être améliorée en utilisant une méthode heuristique permettant d'accélérer le processus de recherche de compétences requises.

Perspectives liées au système de déploiement de compétences

Nous identifions deux limites majeures de notre approche de déploiement de compétences. La première concerne la prise en compte d'autres informations contextuelles. Il serait intéressant par exemple de prendre en considération les contraintes des processus que nous avons défini dans le chapitre 5 (coût maximal et durée maximale). Ce qui permet de retourner les meilleures alternatives par catégories de compétences vis-à-vis du modèle de préférences du manager du processus et les contraintes du processus en question. Concernant la méthode d'aide à la décision adoptée dans le cadre de notre travail, particulièrement l'évaluation du critère efficacité de chaque alternative, il serait intéressant de classer les résultats selon les 3 niveaux (i) strong, (ii) weak, (iii) absent. Ces niveaux de liens sociaux font référence au travail de Granovetter [82] et nous proposons de les définir comme suit :

- **Strong** : un lien est dit strong quand il dépasse le seuil de relation sociale que nous définissons dans la formule suivante (5.41).
- **Weak** : un lien est dit weak quand la fréquence totale est comprise entre 0 et le seuil de relation sociale.
- **Absent** : l'absence d'une connexion entre deux nœuds dans le réseau social traduit une valeur nulle de la fréquence de contact et donc une absence du lien social.

$$s_{ls} = \frac{2 * \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_i j}{|m|} \tag{5.41}$$

S'appuyant sur les théories de la transitivité et de l'équilibre structural, Granovetter [82] fait l'hypothèse que plus le lien entre deux individus est fort, plus les ensembles que forment les relations respectives de chacun sont superposés : si des liens forts, qui unissent généralement des personnes qui se ressemblent, unissent un individu donné à deux autres individus, il y a des chances pour que ces deux individus se ressemblent puisqu'ils sont tous deux semblables au premier, ce qui augmente la probabilité qu'ils aient une relation sociale lorsqu'ils se rencontrent. À l'intérieur d'un réseau, une contrainte pèse sur les relations fortes : si les liens entre A-B et A-C sont des liens forts, il ne peut pas ne pas exister au moins un lien faible entre C et B, car il est peu probable que A et B d'une part, A et C d'autre part, aient des relations fortes sans que B et C ne soient amenés à se rencontrer. La prise en considération de cette théorie permet de compléter le réseau social de l'entreprise en identifiant les liens faibles manquants.

La deuxième limite concerne le fait de changer une instance en cours d'exécution n'est pas suffisant pour résorber tous les problèmes rencontrés. L'évolution d'un schéma du processus métier nécessite souvent la propagation de ces changements sur le reste des éléments du schéma ainsi que sur ses instances en cours d'exécution. Ce type de changement produit un impact global [123]. Si l'expert du processus a validé l'intégration des changements survenus au niveau modèle de processus alors ces changements ne peuvent être accomplis avec succès que si toutes les instances en cours d'exécution seront modifiées. Il serait intéressant, une fois l'expert du processus a validé l'adaptation du modèle du processus, d'appliquer les changements survenus sur toutes les instances en cours d'exécution. Par ailleurs, il serait également intéressant d'étudier l'impact de changement avant de décider de l'appliquer.

Perspectives qui s'inscrivent dans une optique de travail connexe

1. La première perspective de travail connexe consisterait à utiliser la notion de compétences pour supporter les phases de modélisation et d'exécution du processus. En faisant ainsi, l'entreprise aura une vue synthétisée des compétences qu'elle détient et elle peut allouer efficacement les compétences aux processus. Une approche d'allocation devrait être proposée, basée sur la programmation linéaire ou sur une méta-heuristique, afin d'allouer les compétences aux activités tout en considérant la spécificité des acteurs. Les différentes exigences fonctionnelles et non fonctionnelles pour chaque activité du modèle de processus seront renseignées pendant la phase de modélisation et une allocation dynamique de compétences selon les exigences mentionnées sera réalisée pendant la phase d'exécution. Les approches d'allocation de ressources aux processus métier basées sur des méthodes d'aide à la décision partent des attentes fonctionnelles en termes de capacités de ressources et non-fonctionnelles, telles que la disponibilité, le temps de réponse, le coût, etc. et guident le processus de décision (le processus de sélection de ressources). Et pour prendre en considération toute évolution survenue pendant l'exécution des processus, la définition des activités émergentes permet d'assurer une adaptation au niveau métier et IT.

2. Une deuxième perspective concerne l'environnement d'utilisation de notre approche. Actuellement notre approche est à utiliser dans un environnement collaboratif entre plusieurs entités internes de la même entreprise. Toutefois, elle peut être utilisée dans un environnement collaboratif entre plusieurs participants appartenant à différentes entreprises voulant construire un écosystème d'échange de compétences. Dans un contexte B2B, chaque entreprise expose les compétences qu'elle a choisi à partager à travers un référentiel. Ceci définit un contexte de découverte de compétences distribuée comme il est résumé dans la figure 5.18. Dans le cadre d'un écosystème, le processus d'extraction de compétences pourrait être vu comme une association de deux sous-processus : (1) un sous-processus permettant de pointer sur les référentiels adéquats pour effectuer la recherche et donc réduire le temps du

calcul et (2) un sous-processus permettant de naviguer dans chaque référentiel pour extraire la/les compétence(s) requise(s).

Pour accélérer le processus de recherche de compétences, les référentiels de compétences disponibles (ontologies de compétences requises) de chaque entreprise peuvent être regroupés dans un même cluster. De ce fait, comme mentionné précédemment le processus de recherche sera divisé en deux étapes (1 et 2). L'identification de cluster adéquat à la demande (1) permet de pointer directement vers les fournisseurs adéquats de compétences requises pour satisfaire la demande (2) (fournisseur dans ce cas c'est l'entreprise qui a décidé de mettre ses compétences à disposition des autres membres de l'écosystème). Un cluster de référentiels peut être défini comme un groupe de référentiel partageant des compétences similaires. A noter qu'un référentiel de compétences peut appartenir à un ou plusieurs clusters avec un certain degré d'appartenance. Nous pouvons faire une analogie avec les méthodes de recherche d'information dans une collection de documents ou chaque référentiel peut être représenté par un vecteur de mots clés. La relation pondérée MotClé-référentiel indique le degré de similarité entre le mot clé et le contenu du référentiel. Pour organiser un cluster de référentiels, une technique de clustering de données sera nécessaire pour identifier les clusters permettant de classifier les différents référentiels et ainsi affecter chaque référentiel au cluster adéquat. Cette technique permet également de diminuer les similarités entre les clusters et donc identifier des clusters ayant des éléments moyens différents et similaires au sein du même cluster.

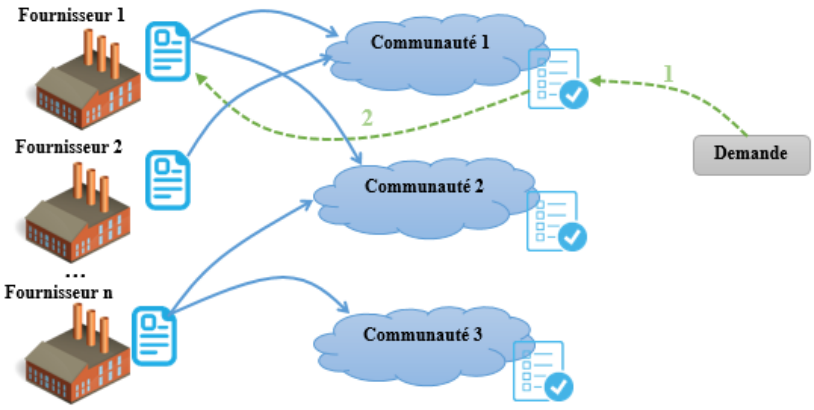


FIGURE 5.18 – Architecture de communauté de compétences

Il faut noter qu'une technique de clustering de données affecte à chaque référentiel un seul cluster ce qui ne permet pas d'identifier les relations (n-n) entre les référentiels et les clusters. De ce fait, il serait intéressant d'utiliser des techniques de clustering floue [198] pour organiser les référentiels en clusters. Ce qui permet de regrouper les référentiels d'une manière inclusive (chaque référentiel peut appartenir à un ou plusieurs clusters selon son degré d'appartenance). Le degré d'appartenance de chaque référentiel au cluster adéquat

pourrait être identifié en utilisant une métrique de distance. Chaque cluster C_i sera décrit par un triple (ID, C_g, M_i). ID représente l'identifiant de cluster en question. Cg est la liste des compétences génériques offertes par l'ensemble des référentiels. Ce sont des compétences abstraites dont au moins une doit être offerte par le référentiel pour qu'il puisse être membre du cluster. M_i est la liste des membres de cluster (la liste des référentiels).

Bibliographie

[1] F.Vernadat and M. Hamaidi. La modélisation en entreprise : Méthodes descriptives des processus opérationnels. In *Paris, Economica.*, 1996.

[2] W. M. P. Van der Aalst, C. Gunther, J. Recker, and M. Reichert. Using process mining to analyse and improve process flexibility. In *Business Information Systems (BIS)*, pages 1–14, 2009.

[3] W. M. P. Van der Aalst, A. H. M. Hofstede, and M. Weske. Business process management : A survey. In *Business Process Management, Lecture Notes in Computer Science.*, pages 1–12, 2003.

[4] W. M. P. Van der Aalst and S. Jablonski. Dealing with workflow change : Identification of issues and solutions. In *International Journal of Computer Systems, Science, and Engineering*, pages 267–276, 2001.

[5] W. M. P. Van der Aalst, M. Weske, and D. Grunbauer. Case handling : a new paradigm for business process support. In *Data and Knowledge Engineering*, number 53, pages 129–162, 2005.

[6] A. Abdmouleh. Composants pour la modélisation des processus métier en productique basés sur cimosa. In *Thèse soutenue le 15 Septembre 2004 Ecole nationale dingénieurs de Metz*, 2004.

[7] E. Acuna and C. Rodriguez. The treatment of missing values and its effect in the classifier accuracy. In *Classification, clustering and data mining*, 2004.

[8] S. M. Adams, J. Sarkis, and D. Liles. The development of strategic performance metrics. In *Engineering Management Journal,*, 2006.

[9] AFNOR. Management de la valeur - caractéristiques fondamentales de l'analyse de la valeur. In *NFX*, pages 50–152, 2007.

[10] A. AFNOR. Terminologie relative la fiabilit-maintenabilit. 1988.

[11] G. Alonso, D. Agrawal, A. ElAbbadi, and C. Mohan. Functionality and limitations of current workflow management systems. In *IEEE Expert, 12(5)*, 1997.

[12] A. Arsanjani, S. Ghosh, A. Allam, T. Abdollah, S. Ganapathy, and K. Holley. Soma : A method for developing service-oriented solutions. In *IBM systems Journal*, 2004.

[13] F. Baader, D. McGuinness, D. L. Nardi, and P. F. Patel-Schneider. The description logic handbook : Theory, implementation, and applications. 2003.

[14] O. Badot. Théorie de l'entreprise agile. In *Paris, LHarmattan*, 1997.

[15] J. Barrand. Le manager agile, vers un nouveau management pour affronter la turbulence. In *Dunod Paris*, 2006.

[16] J. Barrand. L'entreprise agile : Agir pour une performance durable. In *Stratégies et management, Dunod*, 2010.

[17] S. Bassil, R. K. Keller, and P. G. Kropf. A workfloworiented system architecture for the management of container transportation. In *Business Process Management. Volume 3080 Lecture Notes in Computer Science., Springer*, pages 116–131, 2004.

[18] Y. Bastide, R. Taouil, N. Pasquier, G. Stumme, and L. Pascal. un algorithme dextraction des motifs fréquents. In *Technique et science informatiques*, pages 65–95, 2002.

[19] BEA, Intalio, SAP, and Microsystems Sun. Web service choreography interface (wsci). In *http ://wwws.sun.com/software/xml/developers/wsci/wsci-spec-10.pdf*, 2006.

[20] S. Bellier. Compétences comportementales : appellation non controlée. In *Textes des 10 Entretiens de la Villette*, 2002.

[21] S. Ben Tekaya, S. Ben Yahia, and Y. Slimani. Algorithme de construction d'un treillis des concepts formels et de détermination des générateurs minimaux. In *Revue Africaine de la Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées, INRIA*, 2005.

[22] B. Benatallah, F. Casati, D. Grigori, H. Motahari-Nezhad, and F. Toumani. Developing adapters for web services integration. In *International Conference Advanced Information System Engineering (CAiSE)*, 2005.

[23] Y. Benkler. The wealth of networks : How social production transforms markets and freedom. In *Yale University Press*, 2006.

[24] J.M. Bhat and N. Deshmukh. Methods for flexibility in business processes. In *In Workshop on Business Process Modeling, Design and Support (BP-MDS05)*, 2005.

[25] E. Bonjour and M. Dulmet. Articulation entre pilotage des systèmes de compétences et gestion des connaissances. In *1er colloque de gestion des compétences et des connaissances en génie industriel*, pages 43–50, 2002.

[26] J. P. Bordat. Practical calculation of lattice galois correspondence. In *Mathématiques et Sciences Humaines*, 1986.

[27] K. Boukadi. Coopération interentreprises à la demande : Une approche flexible à base de services adaptables. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, 2009.

[28] M. Boukhebouze, Y. Amghar, A. N. Benharkat, and Z. Maamar. A rule based modeling for the description of flexible and self healing business processes. In *East European conference on advance databases and information systems*, 2009.

[29] A. Boumane, A. Talbi, D. Bouami, and C. Tahon. Contribution à la modélisation de la compétence. In *Modélisation, Optimisation et Simulation des Systèmes : Défis et opportunités*, 2006.

[30] C. Bourne and B. Anderson. Dialog labworkbook, second edition, lockheed information systems. In *PaloAlto, Californie (USA)*, 1979.

[31] R. Boyatis. The competent manager. In *John Wiley and Sons*, 1982.

[32] BPMDS. Adequate design of business processes and support systems. In *The 8th workshop of business process modeling, development and support, CAISE*, 2007.

[33] M. Brambilla, P. Fraternali, and C. K. V. Ruiz. Combining social web and bpm for improving enterprise performances : the bpm4people approach to social. In *Proceedings of the World Wide Web Conference, Lyon, France*, number 21, page 223226, 2012.

[34] K. Breu, C. J. Hemingway, M. Strathern, and D. Bridger. Agility : The new employee strategy for the knowledge economy. In *Journal of information technology*, number 17, 2001.

[35] G. Bruno. Requirements elicitation as a case of social process : an approach to its description. In *BPMS2'09 Proceedings*, number 43, pages 243–254, 2010.

[36] P. Burlat and X. Boucher. Vers l'intégration des compétences dans le pilotage des performances de l'entreprise. In *Journal Europeen des Systémes Automatisés*, pages 363–390, 2003.

[37] P. Burlat and X. Boucher. Vers l'intégration des compétences dans le pilotage des performances de l'entreprise. In *Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA)*, number 37, pages 363–390, 2003.

[38] C. Carpineto and G. Romano. Information retrieval through hybrid navigation of lattice representations. In *International Journal of Human-Computer Studies*, 1996.

[39] D. Cazal and A. Dietrich. Compétences et savoirs : entre grh et stratégie. In *Cahiers de la recherche de l'IAE*, 2003.

[40] M. Chaabane, E. Andoloff, L. Bouzguenda, and R. Bouaziz. Versions to adress business process flexibilty issue. In *Advances Databases and information Systems*, pages 2–14, 2009.

[41] M. A. Chaabane, E. Andonoff, R. Bouaziz, and L. Bouzguenda. Versions to adress business process flexibilty issue. In *Advances Databases and information Systems*, pages 2–14, 2009.

[42] M. A. Chaabane, E. Andonoff, R. Bouaziz, and L. Bouzguenda. Modélisation multidimensionnelle des versions de processus. In *Journal on ingénierie des systèmes d'information*, pages 89–114, 2010.

[43] V. Charbonnier. The development and partial testing of the psychometric properties of a measurement scale of organizational agility. In *Management*, number 2, pages 119–156, 2011.

[44] F. Charoy and C. Godart. Coo-flow : a process technology to support cooperative processes. In *Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. Special issue : Best Papers from SEKE*, 2003.

[45] F. Charoy, A. Guabtni, and M. Valdes Faura. A dynamic workflow management system for coordination of cooperative activities. In *Business Process Management Workshops*, pages 205–216, 2006.

[46] H. Chelli. Urbaniser l'entreprise et son système d'information. In *Guide des entreprises agiles*, 2003.

[47] D. Chen, M. Dassisi, B. Elvesaeter, H. Panetto, N. Daclin, F. W. Jaekel, T. Knothe, A. Solberg, V. Anaya, and R. Sanchis. Enterprise

interoperability-framework and knowledge corpus. In *Deliverable DI.2, INTEROP-NOE FP6 IST-2003-508011*, 2006.

[48] ComputerWorldUK. Social bpm, engaging people in value driven bpm. 2012.

[49] M. Craven, D. DiPasquo, D. Freitag, A. McCallum, A. Mitchell, K. Nigam, and S. Slattery. Learning to construct knowledge bases from the world wide web. In *Artificial Intelligence*, number 118, page 69113, 2000.

[50] E. Crusson. Business process management. In *www.intalio.com, INTALIO*, 2003.

[51] B. Curtis, M. I. Kellner, and J. Over. Process modeling. In *Communication ACM*, 1992.

[52] N. Daclin and V. Chapurlat. Evaluation de l'interoprabilité organisationnelle et managériale des systèmes industriels : le projet carioner. 2008.

[53] K. Dahman, F. Charoy, and C. Godart. Generation of component based architecture from business processes : Model driven engineering for soa. In *Eighth IEEE European Conference on Web Services*, 2008.

[54] T. Davenport. Process innovation : reengineering work through information technology. In *Harvard Business School Press, Boston*, 1990.

[55] G. S. Day. The capabilities of market-driven organizations. In *Journal of Marketing*, number 58, pages 37–52, 1994.

[56] B. Débauche and P. Megard. Bpm business process management. In *pilotage métier de l'entreprise Lavoisier*, 2004.

[57] F. Debili and C. Fluhr. Interrogation en langue naturelle de données mixtes, textuelles et factuelles. In *RIAO*, 1985.

[58] C. Defélix and D. Retour. La gestion des compétences dans la stratégie de croissance d'une pme innovante : le cas microtek. In *Revue internationale P.M.E*, 2003.

[59] M. Dejoux. Les compétences au coeur des performances. In *Edition dorganisation*, 2001.

[60] A. DeMoor. Community memory activation with collaboration patterns. In *the International Community Informatics Conference CIRN*, page 911, 2009.

[61] L. R. Dice. Measures of the amount of ecologic association between species. In *Ecology*, pages 297–302, 1945.

[62] S. Dick. The theory of functional grammar part 1. In *The structure of the clause Dordrecht*, 1989.

[63] M. H. Dodani. From objectis to services : A journey in search of component reuse nirvana. In *Journal of object technology*, 2004.

[64] T. Dollmann, C. Houy, P. Fettke, and P. Loos. Collaborative business process modeling with comomod - a toolkit for model integration in distributed cooperation environments. In *International Workshops on Enabling Technologies : Infrastructures for Collaborative Enterprises*, page 217 222. IEEE Computer Society, 2011.

[65] R. Dove. Agile enterprise cornerstones : Knowledge, values and response ability. Number 1-11, 2001.

[66] P. Drucker. The age of discontinuity : guidelines to our changing society. In *Harper and Row, New York.*, 1968.

[67] Y. Duan and M. Huadong. Modelling flexible workflow based on temporal logic. In *In Computer Supported Cooperative Work in Design*, pages 508–513, 2005.

[68] F. Dufour. Approche dynamique de lintelligence économique en entreprise : apports dun modèle psychologique des compétences. In *Thèse de doctorat, Université Rennes*, 2010.

[69] T. Durand. Strategizing for innovation : competence analysis in assessing strategic change. In *Competence-based strategic management*, pages 127–150, 1997.

[70] S. Erol, M. Granitzer, S. Happ, S. Jantunen, B. Jennings, A. Koschmider, S. Nurcan, D. Rossi, R. Schmidt, and P. Johannesson. Combining bpm and social software : Contradiction or chance ? In *Business Process Management*, number 22, pages 449–479, 2010.

[71] A. Ferchichi. Contribution à lintégration des processus métier : Application à la mise en place dun réferentiel qualité multi-vues. In *Thèse*

préparée dans le 114 Laboratoire de Génie Industriel de Lille Ecole Centrale de Lille et Recherche Opérationnelle Innovation, 2008.

[72] C. J. Fillmore. Lexical entries for verbs. In *JSTOR : Foundations of Language, vol. 4, no. 4*, page 373393, 1968.

[73] H. Foster, S. Uchitel, J. Magee, and J. Kramer. Model-based verification of web service compositions. In *In the18th IEEE International Conference on Automated Software Engineering*, pages 152–161, 2003.

[74] L. R. Francisco and T. F. Manuela. Exploring agile methods in construction small and medium enterprises : a case study. In *Journal of Enterprise Information Management*, number 23, pages 161–180, 2010.

[75] B. Ganter. Two basic algorithms in concept analysis. 1986.

[76] B. Ganter and R. Wille. Formal concept analysis : Mathematical foundations. 1999.

[77] Gartner Group. The magic quatrant for bpa. In *Gartner Research*, 2004.

[78] C. V. Geambasu. Bpmn vs. uml activity diagram for business process modeling. In *ACCOUNTING AND MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS*, 2012.

[79] J. N. Gillot. The complete guide to business process management : Business process. In *www.processus-metier.fr*, 2008.

[80] S. L. Goldman and R. N. Nagel. Technology and agility : the emergence of new era in manufacturing. In *Management*, pages 18–38, 1997.

[81] S.L. Goldman, R.N. Nagel, and K. Preis. Agile competitors and virtual organizations : Strategies for enriching the customer. In *Van Nostrand Reinhold, New York.*, 1995.

[82] M. Granovetter. The strength of weak ties : A network theory revisited. In *Sociological Theory*, number 1, pages 201–233, 1983.

[83] M. Grimaldi, V. Pellecchia, and I. Fasolino. Urban plan and water infrastructures planning : A methodology based on spatial anp. 2017.

[84] A. Guenoche. Construction du treillis de galois d'une relation binaire. In *Mathématiques, informatique et sciences humaines*, pages 41–53, 1990.

[85] M. Harzallah, G. Berio, and Vernadat ; F. Analysis and modeling of individual competencies : toward better management of human resources. In *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A : Systems and Humans*, 2006.

[86] M. Harzallah and F. Vernadat. It-based competency modeling and management : From theory to practice in enterprise engineering and operations. In *International Conference on Extending Database Technology (EDBT)Comput. Ind.*, number 48, pages 157–179, 2002.

[87] M. Hauder. Bridging the gap between social software and business process management : A research agenda. 2014.

[88] H. He. What is service-oriented architecture ? 2003.

[89] P. Holme, B. J. Kim, C. N. Yoon, and S. K. Han. Attack vulnerability of complex networks,. In *Physical review*, 2002.

[90] D. Hoyle. Systems and processes- is there a difference ? In *Software for performance excellence*, 2006.

[91] IDEAS. Interoperability development for enterprise application and software. In *Public Reports*, 2003.

[92] IEEE. Recommended practice for architectural description of software intensive. In *IEEE-std-1471*, 2000.

[93] IEEE Standard 610. Ieee standard gloassary of software engineering terminology. 1990.

[94] ISOTC184/SC5. Automation systems - requirements for enterprise-reference architectures and methodologies (patent). In *ISO 15704*, 2000.

[95] M. L. Joroff, W. L. Porter, B. Feinberg, and C. Kukla. The agile workplace. In *Journal of Corporate Real Estate*, number 4, pages 293–311, 2003.

[96] B. KamsuFoguem, T. Coudert, and L. Geneste. Knowledge formalization in experience feedback processes : An ontology-based approach. In *In : Special issue on Enterprise Integration and Interoperability in Manufacturing Systems*, 2008.

[97] M. Keidl and A. Kemper. A framework for context-aware adaptable web services (demonstration). In *International Conference on Extending Database Technology (EDBT)*, 2004.

[98] B. Kent, B. Mike, V. B. Arie, C. Alistair, C. Ward, and F. Martin. The agile manifesto. In *http ://AgileAlliance.org*, 2001.

[99] H. Kim, S. Yang, S. Song, and J. G. Breslin. Tag mediated society with scot ontology. In *ISWC*, 2007.

[100] T. Kim, C. K. Chang, and C. Mitra. Design of service-oriented systems using soda. In *Services Computing, IEEE Transactions*, 2008.

[101] J. Klein and F. Fleurey. Tissage d'aspects comportementaux. In *In Langages et Modèles à Objets*, pages 101–116, 2000.

[102] J. Klingemann. Controlled flexibility in workflow management. In *12th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAISE)*, pages 126–141, 2000.

[103] D. Konig. Theorie der endlichen und unendlichen graphen. 1936.

[104] A. Koschmider, M. Song, and H. A. Reijers. Social software for business process modeling. *JIT*, (3) :308322, 2010.

[105] K. Kumar and M.N. Narasipuram. Defining requirements for business process flexibility. In *In Seventh Workshop on Business Process Modeling, Development, and Support*, 2006.

[106] A. Lanz, M. Reichert, and P. Dadam. Robust and flexible error handling in the aristaflow bpm suite. 2010.

[107] G. LeBoterf. Construire les compétences individuelles et collectives : les réponses 90 questions. In *3éme édition, Editions dOrganisation*, 2004.

[108] G. LeBoterf and F. Vernadat. De la compétence à la navigation professionnelle. In *Les Editions dOrganisation*, 2002.

[109] C. Levy-Leboyer. Evaluation du personnel : Quelles méthodes choisir ? In *Paris, France : Les Editions dOrganisation*, 1996.

[110] M. Lezoche, M. Missikof, and L. Tinini. Business process evolution : a rule-based approach. In *Int. Conference on advanced Information Systems*, pages 407–414, 2008.

[111] C. Longépé. The enterprise architecture it project. In *The urbanisation paradigm*, 2003.

[112] A. Maedche and S. Staab. Ontology learning for the semantic web. In *IEEE Intelligent systmes*, 2001.

[113] R. Van der Merwe. Sigma-point kalman filters for probabilistic inference in dynamic state-space models. In *Scholar Archive. 8*, 2004.

[114] N. Messai, M. D. Devignes, A. Napoli, and M. Smail Tabbone. Brexplorer : An fca-based algorithm for information retrieval. In *In Fourth Internationnal Conference on Concept Lattices and their Applications*, 2007.

[115] S. Michel and M. Ledru. Capital compétence dans lentreprise, une approche cognitive. In *ESF*, 1991.

[116] M. Minor, D. Schmalen, A. Koldehoff, and R. Bergmann. Structural adaptation of workflows supported by a suspension mechanism and by case-based reasoning. In *16th IEEE International Workshops on Enabling Technologies : Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*, pages 370–375, 2007.

[117] C. Morley, J. Hugues, B. Leblanc, and O. Hugues. Processus métiers et s.i. evaluation, modélisation, mise en oeuvre. In *DUNOD*, 2007.

[118] F. Mortureux. La lexicologie entre langue et discours. In *(Campus. Linguistique, Paris*, 1997.

[119] R. N. Nagel and R. Dove. 21st century manufacturing enterprise strategy : An industry-led view. In *DIANE Publishing*, 1992.

[120] B. Nobert, B. Sanjay, L. Walker, and A. Lynch. Impact of service-oriented architecture on enterprise systems, organizational structures, and individuals. In *IBM Systems Journal*, number 44, pages 691–708, 2005.

[121] E. M. Norris. An algorithm for computing the maximum rectangles of a binary relation. pages 243–250, 1978.

[122] N. F. Noy and D. L. McGuinness. Ontology development 101 : Aguide to creating your first ontology. In *Technical Report SMI-2001-0880, Stanford Medical Informatics*, 2001.

[123] S. Nurcan. A survey on the flexibility requirements related to business processes and modeling artifacts. In *International Conference on System Sciences*, 2008.

[124] S. Nurcan, A. Etien, R. Kaabi, I. Zokar, and C. Roland. A strategy driven business process modelling approach. In *Business Process Management Journal*, pages 628–649, 2005.

[125] B. Nuseibeh. Weaving together requirements and architectures. In *Computer 34*, pages 115–119, 2001.

[126] OASIS. Reference model tc, reference model for service oriented architecture 1.0. In *Rapport technique*, 2006.

[127] E. Olding, C. Rozwell, and J. Sinur. Social bpm : Design by doing. 2010.

[128] N. Palmer. Understanding the bpmn-xpdl-bpel value chain. In *Business Integration Journal*, 2011.

[129] H. Panetto and A. Molina. Enterprise integration and interoperability in manufacturing systems : trends and issues. In *Computers in Industry*, 2008.

[130] M. P. Papazoglou. Service-oriented computing : concepts, characteristics and directions. In *Web Information Systems Engineering*, pages 3–12, 2003.

[131] G. Pépiot, R. Glardon, and N. Cheikhrouhou. Modélisation des entreprises sur la base des compétences. In *10.5075/epfl-thesis-3300*, 2005.

[132] G. Petasis, V. Karkaletsis, G. Paliouras, A. Krithara, and E. Zavitsanos. Knowledge-driven multimedia information extraction and ontology evolution : Bridging the semantic gap. In *chapter Ontology Population and Enrichment : State of the Art*, page 134166, 2011.

[133] N. Pflanzl and G. Vossen. Challenges of social business process management. pages 3868–3877, 2014.

[134] C. Pourcel and D. Gourc. Modélisation d'entreprise par les processus : activités, organisation et applications. In *Toulouse, Cépaduès-édition.*, 2005.

[135] F. Pourraz and H. Verjus. Managing service-based eai architectures evolution using a formal architecture-centric approach. In *Business Information Processing*, number 3, pages 269–280, 2008.

[136] L. Qiu, Z. Shi, and F. Lin. Context optimization of ai planning for semantic web services composition. In *Service Oriented Computing and Applications*, pages 117–128, 2007.

[137] H. Qu, J. Sun, and H. T. Jamjoom. Scoop : Automated social recommendation in enterprise process management. In *Services Computing*, pages 101– 108, 2008.

[138] Godin ; R., R. Missaoui, and H. Alaoui. Incremental concept formation algorithms based on galois (concept) lattices. In *Computational Intelligence*, 1995.

[139] M. E. Raginha and B. Karakostas. Process recommendation and role assignment in social business process management. In *Proceedings of the Science and Information Organization, Science and Information (SAI) Conference*, page 810 818. IEEE, 2014.

[140] R. Ramarotafika. Modélisation stochastique de la variabilité des propriétés magnétiques des matériaux ferromagnétiques : Application sur des stators de machines éléctriques. 2012.

[141] M. E. Rangiha. A framework for social bpm based on social tagging. 2016.

[142] R. L. Raschke. Process-based view of agility : The value contribution of it and the effects on process outcomes. In *Int. J. Account. Inf. Syst.*, number 11, page 297313, 2010.

[143] G. Regev, P. Soffer, and R. Schmidt. Taxonomy of flexibility in business processes. In *Business Process Modelling, Development and Support (BPMDS)*, 2006.

[144] M. F. Reinbold and J. M. Breillot. Gérer la compétence dans lentreprise. In *L'Harmattan*, 2000.

[145] S. Rinderle, M. Reichert, and P. Dadam. Evaluation of correctness criteria for dynamic workflow changes. In *The International Conference On Business Process Management (BPM)*, pages 41–57, 2003.

[146] E. Rivard. Proposition dune méthodologie agile en intelligence daffaires pour réduire les risques déchecs. In *Mémoire de maitrise en Thèse de doctorat, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, Longueuil, Québec, Canada*, 2005.

[147] S. Roberston, S. Walker, S. Beaulie, and S. Willett. Okapi at trec-7 : Automatic ad hoc, filtering, vlc and interactive track. 1999.

[148] N. Roberts and V. Grover. Investigating firm's customer agility and firm performance : The importance of aligning sense and respond capabilities. In *Journal of Business Research*, number 65, 2012.

[149] N. Russell, A. H.M. ter Hofstede, W. M. P. Van der , Aalst, and N. Mulyar. Workflow control-flow patterns a revised view. In *BPM Center Report*, 2006.

[150] T. L. Saaty and A. Joyce. Conflict resolution : The analytic hierarchy process. In *New York, New York : Praeger.*, 1989.

[151] W. Sadiq and M. E. Orlowska. On capturing process requirements ofworkflow basedbusiness information systems. In *3rd International Conference on Business Information Systems BIS*, pages 281–294, 1999.

[152] D. Sadoun. Peuplement dune ontologie modélisant le comportement dun environnement intelligent guidé par lextraction d'instances de relations. In *In Actes des 14ème Rencontres des étudiants Chercheurs en Informatique pour le Traitement Automatique des Langues*, page 281294, 2012.

[153] V. Salomon and J. A. B. Montevechi. A compilation of comparisons on the analytic hierarchy process and others multiple criteria decision making methods : some cases developed in brazil. In *ISAHP*, 2002.

[154] G. Salton. The smart retrieval system, experiments in automatic document processing. 1971.

[155] G. Salton and M. J. McGill. Introduction to modern information retrieval. In *McGraw-Hill, Inc.*, 1987.

[156] L. M. Sanchez and R. Nagi. A review of agile manufacturing systems. In *International Journal Production Research*, number 39, page 35613600, 2002.

[157] R. Schmidt and S. Nurcan. Bpm and social software. In *In Business Process Management Workshops*, pages 649–658, 2009.

[158] H. Schonenberg, R. Mans, N. Russell, N. Mulyar, and W. M. P. Van der Aalst. Towards a taxonomy of process flexibility. In *Proceedings of the Forum at the CAiSE'08 Conference, Montpellier, France*, 2007.

[159] R. Seethamraju and D. Krishna Sundar. Influence of erp systems on business process agility. In *IIMB Manag. Rev. 25*, page 137149, 2013.

[160] R. A. Shafer, L. Dyer, and J. Kilty. Crafting a human resource strategy to foster organizational agility : A case study crafting. In *A Human Resource Strategy To Foster Organizational Agility*, 1999.

[161] H. Sharifi and Z. Zhang. Methodology for achieving agility in manufacturing organisations : an introduction. In *Int. J. Prod. Econ.*, number 62, pages 7–22, 1999.

[162] A. R. Silva, R. Meziani, R. Magalhaes, D. Martinho, A. Aguiar, and N. Flores. Agilipo : Embedding social software features into business process tools. In *Proceedings of BPM 2009 International Workshops*, pages 219–230. Springer Berlin Heidelberg, 2010.

[163] B. Silver. Bpms watch ratings for q2. In *BPMS Watch*, 2008.

[164] P. Soffer. On the notion of flexibility in business processes. In *Workshop on Business Process Modeling, Design and Support*, pages 35–42, 2005.

[165] L. Spencer and S. Spencer. Competence at work models for superior performance. In *John Wiley and Sons*, 1993.

[166] D. Sprott and L. Wilkes. Understanding service-oriented architecture. 2004.

[167] R. Studer, R. Benjamins, and D. Fensel. Knowledge engineering : Principles and methods. In *Data and Knowledge Engineering*, number 25, pages 161–198, 1998.

[168] G. Stumme, R. Wille, and U. Wille. Conceptual knowledge discovery in databases using formal concept analysis methods. In *Springer-Verlag BerlinHeidelberg*, 1998.

[169] J. Surowiecki. The wisdom of crowds. 2005.

[170] D. Tapscott, A. Williams, and A. Sklar. Wikinomics : How mass collaboration changes everything. In *Portfolio*, 2011.

[171] F. Théroude, C. Braesch, and A. Haurat. Olympios : un modèle pour le pilotage des processus. In *in MOSIM'01 : conférence francophone de modélisation et simulation, Troyes, France*, pages 249–253, 2002.

[172] J. Thomphson and M. P. Heimdalh. Extending the product family approach to support n- dimensional and hierarchical product lines. 1967.

[173] TIBCO. Extending the benefits of soa beyond the entreprise. 2006.

[174] G. Tomas and M. Hult. Market-focused sustainability : market orientation plus. In *Marketing and International Business*, 2011.

[175] M. Tremblay. Remunérer les compétences plutot que lactivité. In *Revue francaise de Gestion*, pages 129–139, 1999.

[176] W. Triaa, L. Gzara, and H. Verjus. Organizational agility key factors for dynamic business process management. In *Conference on Business Informatics CBI*, 2016.

[177] W. Triaa, L. Gzara, and H. Verjus. Exploring the influence of social software on business process management. In *IFAC, Toulouse*, pages 12968 – 12978, 2017.

[178] W. Triaa, L. Gzara, and H. Verjus. A new approach for sbpm based on competencies management. In *20th International Conference on Enterprise Information Systems*, 2018.

[179] A. Tversky and D. Kahneman. Choices values and frames. In *American Psychologist*, number 39, pages 341–350, 1984.

[180] J. S. Ulmer. *Approche générique pour la modélisation et l'implémentation des processus.* PhD thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2011.

[181] D. Vanderhaeghen, P. Fettke, and P. Loos. Organizational and technological options for business process management from the perspective of web 2.0. In *Business and Information Systems Engineering*, page 1528, 2013.

[182] E. Verbeek, A. Hirnschall, and W. M. P. Van der Aalst. Xrl/flower : supporting inter-organizational workflows using xml/petrinet technology. In *Web Services, E-Business, and the Semantic Web, CAiSE*, page 93109, 2002.

[183] G. Vergnaud. Le développement cognitif de ladulte. In *in Ph.Carre et P. Caspar, Traité des sciences et des techniques de la formation*, 1999.

[184] F. Vernadat. Techniques de modélisation en entreprise : Applications aux processus opérationnels. In *Paris, Economica.*, 1999.

[185] L. Veybel and P. Prieur. Le knowledge management dans tous ses états. In *Les Editions d'Organisation.*, 2003.

[186] M. von Rosing, J. von Scheel, and A. Q. Gill. Applying agile principles to bpm. In *The Complete Business Process Handbook. Morgan Kaufmann, Boston*, page 553577, 2015.

[187] W3C. https ://www.w3.org/news/2004. 2004.

[188] W3C. Owl web ontology language overview.https ://www.w3.org/tr/owl-features/. 2004.

[189] W3C. Web services glossary. In *Disponible sur http ://www.w3.org/TR/ws-gloss*, number CBDI Forum, 2004.

[190] W3C. Rdf schema 1.1. https ://www.w3.org/tr/rdf-schema/. 2014.

[191] B. Weber, S. Rinderle, and M. Reichert. patterns and change support features in processaware information systems. In *Krogstie J, Opdahl AL, Sindre G (eds) Advanced information systems engineering.*, page 574588, 2006.

[192] M. Wei, D. W. Russell, B. Mallinckrodt, and D. L. Vogel. The experiences in close relationship scale (ecr)-short form : Reliability, validity, and factor structure. In *Journal of Personality Assessment*, pages 187–204, 2007.

[193] WFMC. Workflow management coalition - terminoly and glossary. In *WFMC-TC-1011 (patent)*, 1999.

[194] R. Wille. Concept lattices and conceptual knowledge systems. In *Computers and Mathematics with Applications,*, pages 293–515, 1992.

[195] R. Wille and I. Rival. Restructuring lattice theory : An approach based on hierarchies of concepts, ordered sets. 1986.

[196] N. Yefim. Service-oriented architecture scenario. In *Gartner Group : https ://www.gartner.com/doc/391595/serviceoriented-architecture-scenario.*, 2003.

[197] Y. Yusuf, M. Sarhad, and A. Gunasekara. Agile manufacturing : drivers, concepts and attributes. In *International Journal of Production Economics*, pages 33–43, 1999.

[198] L. Zadeh. Fuzzy sets. In *Information and Control*, number 8, page 338353, 1965.

[199] W. Zhang, M. S. Branicky, and S. M. Phillips. Stability of networked control systems. In *IEEE Control Systems*, 2001.

Annexe A

Cadre conceptuel de l'AO

Cet annexe présente le référentiel d'agilité organisationnelle qui est aussi présenté à l'article suivant :

Triaa W., Gzara L. and Verjus H., 2016, Organizational agility key factors for dynamic business process management, *Conference on Business Informatics* CBI 2016

1 Introduction

L'étude que nous avons mené et la somme des travaux que nous avons analysés nous ont permis de proposer un cadre conceptuel sur l'agilité organisationnelle des processus métier.

Le changement, le facteur déclencheur de la réponse agile, peut se produire dans l'environnement de travail interne (dirigés par la culture de l'organisation, les savoir-faire différenciateurs, les ressources humaines. . .) ou externe (les mutations des clients, les concurrents qui se développent, l'ouverture de nouveaux marchés, les partenaires, la nouvelle technologie, la nouvelle réglementation. . .). Quel que soit le type de changement, il doit être exploité promptement. L'interaction avec les clients et les fournisseurs est basé sur les concepts clés de l'agilité organisationnelle à savoir :

- la collaboration (responsabilité globale et collective),
- la communication (échange de données),
- la coopération (poursuite d'un objectif commun),
- l'apprentissage,
- et le suivi continu.

Pour répondre au changement deux dimensions distinctes de l'agilité organisationnelle sont identifiées en synthétisant les apports des différents auteurs :

La réactivité qui se fonde sur la flexibilité réactive et correspond à la possibilité de répondre rapidement aux changements, en particulier non anticipés, par l'optimisation des ressources existantes. Elle relie les notions de détection et d'adaptation à la dimension temporelle. Détecter l'inadéquation et s'adapter à la nouvelle situation le plus rapidement possible.

La proactivité qui consiste à analyser l'environnement dans lequel évolue l'entreprise, cette dernière prévient une situation évolutive et l'exploite pour donner

un avantage compétitif au client en anticipant ses besoins et en apportant plus de valeurs.

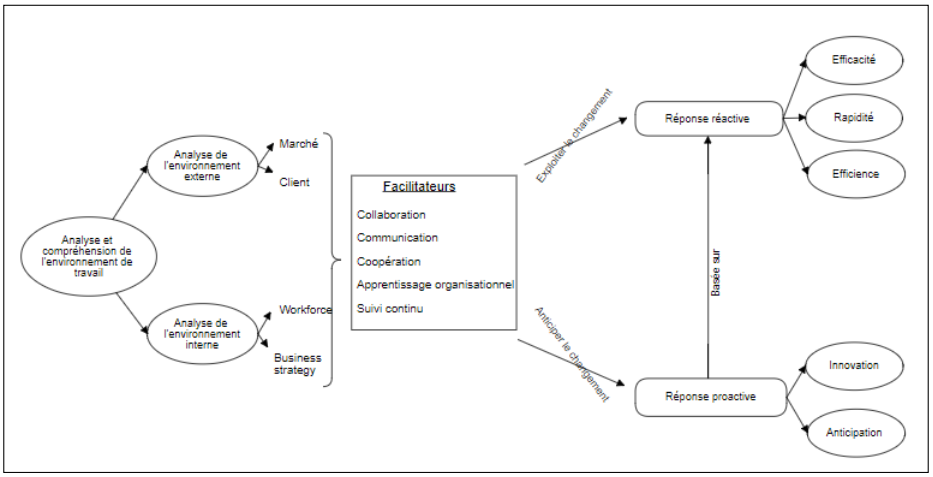


FIGURE A.1 – Compréhension intime de l'environnement de travail

Si on considère le moment d'apparition d'une situation évolutive est "t", la réaction de l'entreprise au moment "t-1" crée une réponse proactive et sa réaction au moment "t+1" c'est-à-dire après la détection du changement développe une réponse réactive. Dans la littérature, certains auteurs ont utilisé la notion de réactivité pour décrire la capacité d'une organisation à réagir rapidement face à un changement. Dans notre recherche, nous voulons faire une distinction entre la durée, la qualité et le coût d'une réponse agile. Donc nous utilisons la rapidité pour mesurer la dimension temporelle d'une réponse agile (en d'autres termes la réactivité englobe la rapidité).

D'après [174], "le succès et le développement de la firme dépend de deux éléments primordiaux : son positionnement externe et des ressources qu'elle a à sa disposition et qu'elle mobilise à sa façon au service de son offre pour ses clients". L'entreprise n'est plus vue comme un outil de production qui va chercher à maîtriser au mieux le prix de ses produits et ses ressources ainsi que les processus mis en place pour produire ses livrables. L'entreprise est considérée comme un outil productif qui assurera son positionnement et sa capacité à se renouveler et à se régénérer au moins autant qu'en adaptant ses ressources. Il est à noter que la frontière entre la détection et l'adaptation reste floue, de par la nature même de ces deux notions : l'agilité organisationnelle se présente alors comme un construit multidimensionnel latent. C'est la capacité d'un système à réaliser, dans le laps de temps le plus court possible, la détection de son inadéquation à l'environnement dans lequel il évolue et la mise en œuvre de l'adaptation nécessaire. La réponse réactive de la réponse agile relie ces deux dimensions à la dimension de la performance (l'adaptation doit être rapide, juste et efficiente).

2 Réponse réactive

La réponse réactive dépend de trois facteurs clés : la vélocité (velocity), l'efficacité (effectiveness) et l'efficience (efficiency) qui doivent être alignés (synchronisés les uns avec les autres). Les attributs correspondants à chaque facteur sont représentés dans Figure A.2.

La vélocité d'une réponse réactive représente la différence entre le moment de détection du changement et le moment d'adaptation à la nouvelle situation. Pour réduire cette durée, les entreprises doivent éliminer toutes sources de perte de temps et les facteurs qui peuvent retarder l'adaptation à chaque nouvelle situation. Nous avons identifié deux niveaux d'adaptation : (i) selon le modèle de processus et (ii) selon les ressources. D'une part, un modèle de processus flexible permet de disposer à tout moment d'un modèle de la situation réelle (en tant qu'image la plus fidèle possible). L'adaptation de la structure vers la conformation la plus appropriée fait référence au design-time (couvrir au mieux le domaine des situations possibles) ou run-time (improviser la (re)construction de la meilleure conformation possible au moment opportun. En d'autres termes l'adaptation des processus à la volée). Cette adaptation requiert l'intégration de la notion du contexte dans la modélisation du processus et la disposition d'une coordination dynamique entre les différents éléments du processus. Et d'autre part, les ressources humaines, en particulier celles qualifiées et expérimentées, comptent parmi les atouts les plus précieux d'une entreprise. La flexibilité constitue toujours aujourd'hui un domaine de recherche important et transversal dans les sciences de gestion [33]. Le lien a souvent été établi entre les impératifs stratégiques de réactivité et d'adaptation pesant sur les entreprises actuelles, et l'usage de politiques de flexibilisation de la main-d'œuvre permettant de satisfaire à ces exigences [84] [99] [12]. La "bonne flexibilité" fondée sur l'autonomie et la responsabilisation serait opposable à la "mauvaise flexibilité", fondée sur l'usage de contrats atypique et génératrice de précarité [54]. En outre, dans une entreprise centralisée, les décisions sont prises à des niveaux élevés et généralement situés au sommet de la hiérarchie. La décentralisation, par conséquence, est le degré dans laquelle la prise de décision se trouve distribué dans l'organisation. Les employés qui sont dans les bas niveaux de la hiérarchie de l'entreprise peuvent avoir plus accès à l'information que ceux qui sont dans les hauts niveaux qui sont ceux qui ont un contact direct avec les consommateurs et les caractéristiques spécifiques et techniques des activités de la société. Dans une décision centralisée au plus haut niveau, la décision peut manquer d'information, ou avoir une demande de coûts exubérants pour ceux qui sont plus haut placés. Cette centralisation de la prise de décision présente certains inconvénients à savoir : la lenteur dans la prise de décision, le manque de réactivité et la connaissance insuffisante des particularités locales et des prises de décisions éloignées de la réalité. En outre, dans le contexte économique actuel, disposer de la bonne information au bon moment est un enjeu crucial permettant aux acteurs internes ou externes de se préparer adéquatement aux changements. Communiquer la bonne information, au bon moment et à la bonne personne ne s'improvise pas, c'est une

question de méthode mais aussi d'état d'esprit.

L'efficacité de la réponse réactive constitue un bon indicateur de la performance de l'agilité organisationnelle. Cette efficacité permet ainsi de mesurer la capacité des processus à évoluer en fonction du contexte afin de toujours satisfaire les objectifs. Elle peut également être utilisée à des fins d'apprentissage et de retour d'expérience afin de comprendre les implications des choix réalisés lors de l'adaptation vis-à-vis du résultat obtenu (en terme d'atteinte des objectifs). L'amélioration de la qualité des résultats obtenus par les processus définis et suivis dépend de l'amélioration de la qualité des tâches exécutées et des compétences allouées. L'utilisation efficace de compétences s'avère indispensable à la satisfaction des objectifs de performance imposés. La connaissance et la maîtrise de la performance engendrée localement au niveau de chaque activité par les acteurs impliqués permet de connaître la performance engendrée par un processus pour une allocation donnée. Un autre facteur clé pour améliorer l'efficacité est la motivation des employés. Ce facteur est devenu une préoccupation centrale dans le management des entreprises et des organisations en général. En effet, la motivation au travail a un effet sur la qualité du travail et sur l'efficacité des salariés. La responsabilité, l'autonomie et la reconnaissance de la hiérarchie sont des éléments clés de la motivation.

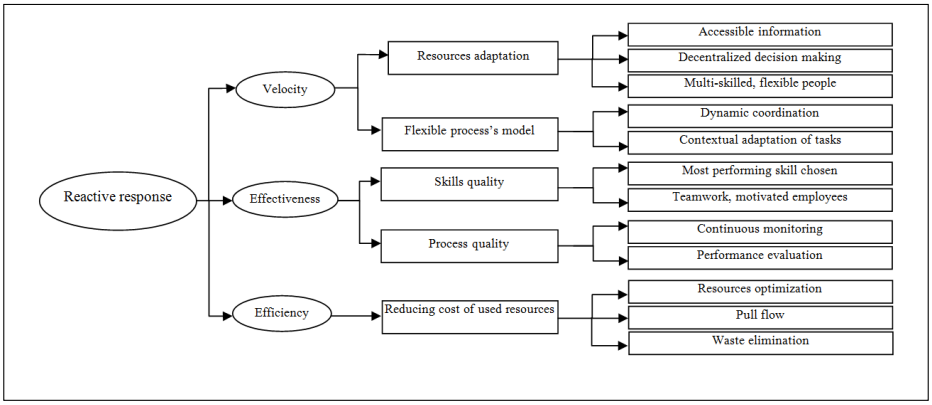


FIGURE A.2 – Réponse réactive

L'efficience de la réponse réactive est liée aux ressources et moyens utilisés pour s'adapter. Les pertes et les gaspillages sont un frein à la performance opérationnelle de toute organisation. La participation de l'ensemble des collaborateurs dans la lutte contre les pertes et gaspillages tout en permettant d'améliorer les conditions de travail et augmenter la productivité sont les principes de Lean management qui veut simplement dire "Produire Maigre" ou plus encore "Produire sans Gaspillages". D'autres pratiques issues du management japonais, à savoir le flux tendu ou encore le juste à temps visent à éliminer les gaspillages et produire selon la demande tout en nécessitant une rigueur et une coordination exemplaire pour faire face aux imprévus.

3 Réponse proactive

La proactivité est l'activité initiée en utilisant l'anticipation de ce qui pourrait se produire et la décision définie de que faire pour aboutir aux résultats souhaités. Ainsi, la réponse proactive est décomposée en deux facteurs : l'anticipation organisationnelle et l'innovation définie comme la capacité de créer, d'inventer de meilleures façons de faire les choses, de combiner des idées anciennes avec des situations nouvelles. Ces facteurs doivent être pratiquement synchronisés entre eux et alignés avec les facteurs précédemment présentés de la réponse réactive. Plusieurs auteurs mettent également en lumière la facette proactive de l'agilité, en tant qu'aptitude à exploiter le changement comme une opportunité [65], [66], [75], [89] et [161]. Il s'agit en effet d'anticiper et de saisir des opportunités nouvelles ou de provoquer des "ruptures" par le biais de l'innovation notamment par une entente exceptionnelle avec l'ensemble des acteurs internes comme externes à l'entreprise. D'où l'importance du synergisme issu de la collaboration dans le développement de cette réponse. Elle suppose par ailleurs de mettre en place des pratiques de création de valeur pour les clients, focalisées sur sa satisfaction et en particulier sur ses perceptions de la valeur de la solution proposée. Les attributs de la réponse proactive correspondent aux principes suivants : la collaboration externe et le management dynamique des ressources humaines permettant d'anticiper toute évolution, l'enrichissement des activités, le développement de compétences et l'amélioration continue permettant de créer de la valeur pour l'entreprise. En plus, l'amélioration continue issue de la démarche japonaise connue sous l'appellation Kaizen formé de deux idéogrammes japonais "kai" et "zen" qui signifient respectivement "changement" et "meilleur" est un attribut de la réponse proactive. Cette démarche repose sur des petites améliorations faites jour après jour avec constance. Ce qui est recherché c'est l'implication des acteurs qui s'approprient cette posture de recherche d'améliorations et œuvrent à leur niveau avec les moyens dont ils disposent. D'un point de vue systémique, l'innovation ne peut se faire qu'en étudiant les éléments traduisant l'évolution de la situation d'où l'anticipation. Or ces mêmes éléments traduisant l'évolution de la situation vont servir à définir la stratégie d'innovation à mettre en œuvre. L'anticipation et l'innovation se recouvrent en ce sens et elles ne sont pas nécessairement séquentielles et chronologiques. S'il paraît que l'innovation ne peut se faire sans avoir effectué l'anticipation, cela ne signifie pas que l'anticipation s'arrête lors de l'exécution de l'innovation. Elle peut continuer à s'exécuter, mais elle doit prendre en compte le fait que si une activité d'innovation est réalisée, le modèle de référence de la situation est modifié.

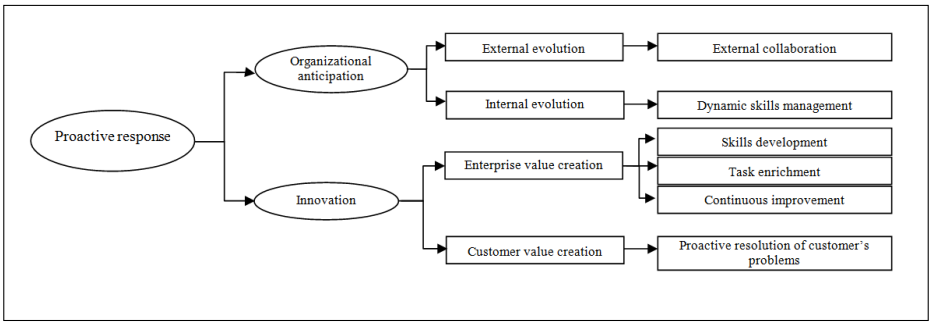


FIGURE A.3 – Réponse Réponse proactive

Annexe B

Axiomes définis pour l'OCR

Cet annexe présente les différents axiomes que nous avons défini pour assurer la pertinence de notre processus de recherche de compétences en utilisant l'ontologie de compétences requises (OCR).

1 Définition des axiomes

Dans le travail de [195], au delà des classes, propriétés, relations et instances, dans une ontologie, ce sont les axiomes qui permettent de vérifier sa cohérence et inférer de nouvelles connaissances. Ils représentent des assertions logiques qui doivent être toujours vraies. Pour qu'une ontologie soit compréhensible par la machine, elle doit être décrite par un langage de représentation d'ontologies. Dans le cadre de nos travaux, nous avons choisi d'utiliser la logique de description (DL) qui permet de représenter et de raisonner efficacement sur les éléments de l'ontologie. Nous identifions dans ce qui suit un ensemble d'axiomes que nous jugeons pertinents pour s'assurer de la qualité de notre ontologie en utilisant DL. Les DL contiennent deux catégories d'éléments : les concepts (classes) et les relations. Une description est une expression obtenue par application d'opérateurs de construction sur des noms de classes ou de relations. Ces descriptions sont nécessaires pour le raisonnement, comme il est affirmé dans le travail de [158] la majorité de raisonnements se produit aux niveaux de classes Terminological Box (TBox). En effet, dans une approche ontologique, deux ensembles sont identifiés :

- Terminological Box (TBox) définit la structure de l'ontologie (les concepts et les relations) et les différents axiomes.
- Assertional Box (ABox) précise les assertions sur les instances en spécifiant leur classes et leurs propriétés.

Le tableau B.1 présente des opérateurs de base de logique de description pour formuler les concepts et les relations dans un Tbox.

Opérateurs	**Syntaxe**
Universel (top)	$\top$
Vide (bottom)	$\bot$
Négation	$\neg$C
Quantificateur existentiel	$\exists$R.C
Quantificateur universel	$\forall$R.C
Conjonction	$C_1 \cap ... \cap C_n$
Disjonction	$C_1 \cup ... \cup C_n$

Tableau B.1 – Opérateurs de base de la logique de description

2 Axiome lié au concept compétence

L'ontologie que nous avons définie s'intéresse qu'aux composants de compétence : savoir et savoir faire. Afin de garantir l'évolutivité de notre ontologie de compétence (inclure le concept savoir être), nous soulignons que ces deux concepts sont disjoints.

$$SovoirFaire \cap Savoir \subseteq \bot; \tag{B.1}$$

Nous définissons deux types de savoir : savoir théorique et savoir procédural. Nous identifions l'axiome suivant pour restreindre l'appartenance des instances à un et un seul type parmi ces deux.

$$Sovoir \equiv SavoirTheorique \cup SavoirProcedural; SavoirTheorique \cap SavoirProcedural \subseteq \bot;$$

Nous définissons aussi deux types de savoir-faire : savoir-faire empirique et savoir-faire procédural. L'utilisation de l'axiome suivant permet d'illustrer une relation disjointe entre les deux concepts :

$$SovoirFaire \equiv SavoirFaireEmpirique \cup SavoirFaireProcedural; SavoirFaireEmpirique \cap SavoirFaireProcedural \subseteq \bot;$$

Puisqu'une compétence doit être caractérisée par les trois éléments (niveau requis, durée et coût), nous définissons l'axiome suivant afin d'illustrer une relation de jointure entre les trois caractéristiques :

$$NiveauRequis \cap DureeMin \cap CoutMin \equiv \bot; \tag{B.2}$$

3 Axiome lié au concept situation

Chaque situation d'utilisation de compétence comporte un objectif et des exigences. Nous avons défini une obligation de spécifier l'objectif de chaque si-

tuation à travers l'axiome suivant :

$$Situation \equiv Exigences \cup Objectif; Objectif \equiv Verbe \cup Cible; Verbe \cap Cible \equiv \perp;$$

4 Axiome lié au concept Ressource

Puisqu'une ressource doit être caractérisée par les deux éléments (taux de disponibilité et coût d'utilisation), nous définissons l'axiome suivant afin d'illustrer une relation de jointure entre ces deux caractéristiques :

$$TauxDisponibilite \cap CoutUtilisation \equiv \perp; \tag{B.3}$$

Pour une découverte adéquate de compétences, nous proposons d'introduire des inférences basées sur les relations et propriétés de compétences dans la section suivante. D'une manière générale, l'ajout des inférences dans une ontologie permet la découverte de nouvelles connaissances.

5 Raisonnements sur les relations de compétences

Afin de définir les règles, nous définissons la compétence comme un système dynamique caractérisé par un ensemble de ressources personnelles (savoir et savoir faire) et environnementales (technologiques, matérielles...) nécessaires pour produire un livrable. Elle dépend du contexte dont les exigences de la situation de travail permet de définir la composition de la compétence. Sur la base de cette définition, une compétence est caractérisée par un 4-uplet :

$$Cm_i = \{S, SF, C, o\} \tag{B.4}$$

Avec :

- S un ensemble de savoirs nécessaires pour Cm_i. Un élément S_i de cet ensemble peut être un savoir théorique ou procédural.
- SF ensemble de savoir-faire mis en pratique par la compétence Cm_i pour aboutir au résultat souhaité.
- C le contexte de la compétence Cm_i correspond à ses relations avec les autres concepts de l'ontologie : Situation, Ressource, Livrable...
- o l'objectif de l'implémentation de la compétence Cm_i. Il peut correspondre à une activité, tâche, processus...

En nous basant sur cette définition, nous pouvons déduire trois relations conceptuelles entre deux compétences : *estSimilaireà, estComposéede et Requiert* comme décrit dans ce qui suit.

5.1 Relation de similarité

Il arrive parfois de ne pas trouver les compétences qui répondent exactement aux besoins non fonctionnels du demandeur. Cependant il est nécessaire d'étendre la sélection des compétences par celles qui y sont similaires. Deux compétences Cm_i et Cm_j sont similaires, si elles partagent la totalité ou une partie des leurs opérations et de leur contexte. Le contexte d'une compétence concerne se(s) lien(s) avec les autres concepts (C) de l'ontologie. La spécification de cette relation est donnée par le tableau suivant :

Similarité : $Cm_i \rightarrow Cm_j$
$\forall\ Cm_i, Cm_j$: Cm
$Cm_i = estSimilaireà\ Cm_j$
$\forall\ C_i : Cm_i$.C
$\exists\ C_j : Cm_j$.C
$C_i \in Relation\ Cm_i \wedge C_j \in Relation\ Cm_j$
$\Rightarrow C_i = C_j$
$\vee\ C_i = Estun\ C_j$
$\vee\ C_j = Estun\ C_i$
$\forall\ Cm_i, Cm_j$: Cm
$Cm_i = estSimilairà\ Cm_j \leftrightarrow Cm_j = estSimilaireà\ Cm_i$

La relation de similarité est relative aux éléments partagés entre deux compétences. En effet, il y a des compétences peu similaires et d'autres très similaires (identiques). Ainsi, nous proposons d'utiliser la formule normalisée de modèle de contraste de Tversky [179] pour évaluer le degré de similarité entre deux compétences :

$$Sim(C_i, C_j) = \frac{Card(C_i \cap C_j)}{\beta Card(C_i - C_j) + \alpha Card(C_i - C_j) + Card(C_i \cap C_j)} \quad \text{(B.5)}$$

Avec α=β deux valeurs positives pour traduire la symétrie. Et Card(C_i-C_j) est le nombre des relations partagées par C_i et C_j.

Le degré de similarité permet de traduire une relation de symétrie quantifiée entre deux compétences selon une échelle entre [0, 1] comme résumé sur le tableau suivant :

Degré de similarité	**Signification**
0	Compétences non similaires
$0 \leq Sim(C_i, C_j) \leq 0.25$	Compétences quasi similaires
$0.25 \leq Sim(C_i, C_j) \leq 0.5$	Compétences similaires
$0.5 \leq Sim(C_i, C_j) \leq 0.75$	Compétences quasi identiques
$0.5 \leq Sim(C_i, C_j) \leq 1$	Compétences identiques

Tableau B.3 – Degré de similarité entre compétences

5.2 Relation de composition

Comme souligné précédemment, la compétence peut être définie à différents niveaux de granularité. Il existe une relation de composition entre C_i et C_j si tout S_i de l'ensemble S de C_i fait partie de l'ensemble S de C_j et de même tout SF_i de l'ensemble SF de C_i appartient à l'ensemble SF de C_j.

Composition : $Cm_i \rightarrow Cm_j$

$$
\begin{array}{l}
\forall\ Cm_i, Cm_j : \mathrm{Cm} \\
\quad Cm_i = \mathit{estComposéede}\ Cm_j \\
\qquad \leftrightarrow \forall\ SF_i : Cm_i.\mathrm{SF} \wedge S_i : Cm_i.\mathrm{S} \\
\qquad\quad \exists\ SF_j : Cm_j.\mathrm{SF} \wedge S_j : Cm_j.\mathrm{S} \\
\qquad\qquad \Rightarrow SF_i = SF_j \vee SF_i = \mathit{Estun}\ SF_j \\
\qquad\qquad\quad \Rightarrow S_i = S_j \vee S_i = \mathit{Estun}\ S_j \\
\forall\ Cm_i, Cm_j, Cm_k : \mathrm{Cm} \\
\quad Cm_i = \mathit{estComposéede}\ Cm_j \wedge Cm_j = \mathit{estComposéede}\ Cm_k \\
\leftrightarrow Cm_i = \mathit{estComposéede}\ Cm_k
\end{array}
$$

5.3 Relation de dépendance

La relation de dépendance entre deux compétences C_i et C_j se traduit par une relation séquentielle entre elles. En d'autres termes, le livrable de la compétence C_i est une ressource mobilisée par la compétence C_j. Dans ce cas, la sortie de C_i est une entrée pour C_j.

Dépendance : $Cm_i \rightarrow Cm_j$

$$
\begin{array}{l}
\forall\ Cm_i, Cm_j : \mathrm{Cm} \\
\quad Cm_i = \mathit{Requiert}\ Cm_j \\
\qquad \Rightarrow Cm_i = \neg \mathit{Estun}\ Cm_j \\
\qquad\quad \forall\ C_i : Cm_i.\mathrm{C} \in \mathit{Mobilise}\ Cm_i \\
\qquad\qquad \exists\ C_j : Cm_j.\mathrm{C} \in \mathit{Produit}\ Cm_j \\
\qquad C_i = C_j \\
\qquad\quad \vee\ C_i = \mathit{Estun}\ C_j \\
\qquad\quad \vee\ C_j = \mathit{Estun}\ C_i \\
\forall\ Cm_i, Cm_j, Cm_k : \mathrm{Cm} \\
\quad Cm_i = \mathit{Requiert}\ Cm_j \wedge Cm_j = \mathit{Requiert}\ Cm_k \\
\quad \leftrightarrow Cm_i = \mathit{Requiert}\ Cm_k
\end{array}
$$

Annexe C

Suite de l'exemple de chapitre 5

1 Dégradation du niveau de maitrise acquis

Cette section présente le mécanisme de dégradation de compétence que nous avons défini pour prendre en considération les préférences fonctionnelles du manager du processus.

Avant de procéder à l'évaluation de l'efficience et la vélocité, nous spécifions dans la suite une entrée supplémentaire outre les entrées susmentionnées (section 2 du chapitre 5) permettant de mieux évaluer les deux critères (efficience et vélocité) pour chaque alternative :

- Nous avons défini un facteur de dégradation de compétence x_{ij} si le manager du processus d_i précise explicitement dans sa requête qu'il cherche la compétence C_{ri}. Toute compétence C_{Exj} correspondant à une compétence C_{rj} qui a une relation de similarité avec la compétence C_i seront dégradées. Ce qui permet de prendre en considération les préférences fonctionnelles du manager du processus. Prenons l'exemple de deux compétences suivantes :
  - C_{r1} : Maitriser C/C++
  - C_{r2} : Maitriser java

  Supposons que ces deux compétences sont similaires avec un niveau de similarité x_{12}=0.75 (les niveaux de similarité sont renseignés dans l'ontologie de compétences requises). Supposons que le manager du processus d_i précise qu'il cherche la compétence C_{r1} et que nous avons deux ensembles d'acteurs Ext_1={ $Ex1_1$, $Ex1_2$, ..., $Ex1_n$ } disposant de la compétence C_{r1} et Ext_2={ $Ex2_1$, $Ex2_2$, ..., $Ex2_m$ } disposant de la compétence C_{r2}. Les niveaux de maitrise acquis de la compétence C_{r2} par les acteurs de l'ensemble Ext_2 sont dégradés selon la formule suivante :

  $$n_{ij}^{'} = n_{aj} * (1 - (1 - \alpha) * (1 - x_{ij})) = 0.75 * n_{Exj} \qquad \text{(C.1)}$$

  Avec α est une variable de décision ou ($\alpha = 0$ si le manager du processus précise dans sa requête qu'il cherche la compétence C_{ri} et $\alpha = 1$ sinon). Dans le cas où $\alpha = 1$ nous avons $n_{ij}^{'} = n_{Exj}$, donc il n'y aura pas de prise en considération de la notion de dégradation.

2 Evaluations de l'exemple support

Cette section présente les évaluations faites pour l'exemple support du chapitre 5.

Reprenons l'exemple que nous avons utilisé dans les chapitre 3 et 4 pour illustrer la démarche. Nous avons 2 catégories de compétences et 8 acteurs. Notre domaine de recherche n'est pas assez grand. Il s'agit d'un nombre restreint de compétences à affecter ainsi qu'un nombre bien déterminé d'acteurs. Mais ce nombre dépend du nombre de catégories de compétences retourné par le système de recherche de compétences (SRC) et le nombre d'alternatives pour chaque catégorie de compétences retourné par le système de recherche d'acteurs (SRA). L'objectif est de sélectionner un acteur pour chaque catégorie de compétence. Supposons que le modèle de préférence du manager du processus généré par le système est sous la forme suivante :

$$V_{pref}(d_j, R_j) = \begin{pmatrix} 0.103 \\ 0.259 \\ 0.633 \end{pmatrix} \tag{C.2}$$

2.1 Collecte de données et évaluation

Le tableau C.1 représente les valeurs récupérées pour chaque alternative que nous utilisons dans la suite pour évaluer leurs critères. Par exemple, le cinquième acteur a une forte relation sociale (Fl_{ij}) avec le manager du processus, il n'est pas disponible ($\tau_j = 0$), avec une forte réactivité ($R_{Exj} = 0.9$) et il maitrise quatre compétences requises (C_2, C_3, C_4 et C_5).

Acteur	n'_{ij}					$F_{l_{ij}}$	τ_j	R_{Exj}	σ_j
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5				
Ex_1	0.75	1	0.5	1	0.75	0.09	1	0.75	0
Ex_2	1	0.75	0	1	0	0.01	1	0.5	0
Ex_3	0.75	0	0	0.75	0	0.07	0	0.3	0
Ex_4	0	0	0	0.75	0	0.05	1	0.88	0
Ex_5	0	0.75	1	0.75	0.75	0.54	0	0.9	0
Ex_6	0	0	0	0.75	0	0.13	0	0.6	0
Ex_7	0.75	0.75	1	0	0	0.01	1	0.5	0
Ex_8	0	0	1	1	0	0.1	1	0.5	0

Tableau C.1 – Valeurs des attributs des alternatives

Supposons que les attributs des compétences requises renseignées dans l'ontologie de compétences requises sont les suivants (tableau C.2) :

Compétence requise	n_r	$d_s(min)$	$P_s(€)$	td_R
C_1	0.75	30	45	0.9
C_2	0.75	40	55	1
C_3	0.5	35	35	0.7
C_4	0.5	35	60	0.8
C_5	0.5	120	50	1

Tableau C.2 – Valeurs des attributs de compétences requises

En utilisant les données récupérées et résumées dans les tableaux C.1 et C.2, nous évaluons, dans ce qui suit, l'efficacité, l'efficience et la vélocité sur l'ensemble des alternatives générées par le système de recherche d'acteurs. La première catégorie de compétence est composée de 4 compétences et la deuxième catégorie de compétence est composée d'une seule compétence. Donc les matrices des évaluations sont les suivantes pour les trois critères et les différentes alternatives.

Efficacité : La matrice d'évaluation de l'efficacité pour les deux catégories de compétences est remplie par les valeurs de Fl_{ij} entre l'alternative en question et le manager du processus.

$$E_{C_{c1}} = \begin{pmatrix} 0.09 & 0.09 & 0.09 & 0.09 \\ 0.01 & 0.01 & 0 & 0.01 \\ 0.07 & 0 & 0 & 0.07 \\ 0 & 0 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0.54 & 0.54 & 0.54 \\ 0 & 0 & 0 & 0.13 \\ 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix} \tag{C.3}$$

$$E_{C_{c2}} = \begin{pmatrix} 0.09 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.54 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{C.4}$$

Efficience : La matrice d'évaluation de l'efficience pour les deux catégories de compétences est remplie en utilisant la formule 5.23 du chapitre 5 avec un coût de déplacement nul pour toutes les alternatives (tableau C.1 ;

σ_j=0).

$$EF_{C_{c1}} = \begin{pmatrix} 45 & 41.25 & 35 & 30 \\ 33.75 & 55 & 0 & 30 \\ 45 & 0 & 0 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 40 \\ 0 & 55 & 17.5 & 40 \\ 0 & 0 & 0 & 40 \\ 45 & 55 & 17.5 & 0 \\ 0 & 0 & 17.5 & 30 \end{pmatrix} \tag{C.5}$$

$$EF_{C_{c2}} = \begin{pmatrix} 33.33 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 33.33 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{C.6}$$

Vélocité : La matrice d'évaluation de la vélocité pour les deux catégories de compétences est remplie en utilisant la formule 5.25 du chapitre 5 avec une durée de déplacement nulle pour toutes les alternatives (tableau C.1 ; σ_j=0)

$$V_{C_{c1}} = \begin{pmatrix} 33.33 & 30 & 50 & 21.875 \\ 25 & 40 & 0 & 97.2 \\ 83.33 & 0 & 0 & 29.16 \\ 0 & 0 & 0 & 29.16 \\ 0 & 44.44 & 27.77 & 32.4 \\ 0 & 0 & 0 & 38.88 \\ 25 & 40 & 25 & 0 \\ 0 & 0 & 25 & 21.875 \end{pmatrix} \tag{C.7}$$

$$V_{C_{c2}} = \begin{pmatrix} 60 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 66.66 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{C.8}$$

Les formes normalisées des matrices d'évaluation de trois critères pour les deux catégories de compétences sont les suivantes :

Efficacité

$$E_{C_{c1}} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.13 & 0.12 & 0.09 \\ 0.05 & 0.015 & 0 & 0.01 \\ 0.38 & 0 & 0 & 0.07 \\ 0 & 0 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0.83 & 0.72 & 0.54 \\ 0 & 0 & 0 & 0.13 \\ 0.05 & 0.015 & 0.013 & 0 \\ 0 & 0 & 0.135 & 0.1 \end{pmatrix} \tag{C.9}$$

$$E_{C_{c2}} = \begin{pmatrix} 0.14 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.85 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{C.10}$$

Efficience

$$EF_{C_{c1}} = \begin{pmatrix} 0.26 & 0.2 & 0.4 & 0.12 \\ 0.2 & 0.26 & 0 & 0.12 \\ 0.26 & 0 & 0 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0.16 \\ 0 & 0.26 & 0.2 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0.16 \\ 0.26 & 0.26 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.12 \end{pmatrix} \tag{C.11}$$

$$EF_{C_{c2}} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{C.12}$$

Vélocité

$$V_{C_{c1}} = \begin{pmatrix} 0.19 & 0.19 & 0.39 & 0.08 \\ 0.16 & 0.25 & 0 & 0.35 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1 \\ 0 & 0.28 & 0.21 & 0.12 \\ 0 & 0 & 0 & 0.14 \\ 0.15 & 0.25 & 0.19 & 0 \\ 0 & 0 & 0.19 & 0.08 \end{pmatrix} \tag{C.13}$$

$$V_{C_{c2}} = \begin{pmatrix} 0.47 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.52 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{C.14}$$

2.2 Sélection finale

Après avoir défini les matrices d'évaluations normalisées pour les deux catégories de compétences, nous procédons au calcul de degré de satisfaction total pour chaque alternative et pour chaque catégorie de compétence. Les résultats de ce calcul sont résumés dans le tableau C.3

Acteur	C_{c1}				C_{c2}
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
Ex_1	0.239	0.185	0.362	0.09	0.44
Ex_2	0.158	0.22	0	0.25	0
Ex_3	0.42	0	0	0.11	0
Ex_4	0	0	0	0.1	0
Ex_5	0	0.33	0.25	0.17	0.546
Ex_6	0	0	0	0.16	0
Ex_7	0.16	0.22	0.13	0	0
Ex_8	0	0	0.18	0.09	0
Meilleure alternative	**0.42**	0.33	0.368	0.25	**0.546**

Tableau C.3 – Degré de satisfaction global pour chaque acteur

Comme le montre le tableau C.3, la meilleure alternative pour la première catégorie de compétence est l'acteur Ex_3 disposant de la compétence C_1 et la meilleure alternative pour la deuxième catégorie de compétence est l'acteur Ex_5 disposant de la compétence C_5.

Résumé

Les approches en gestion des processus d'entreprise (Business Process Management) permettent d'avoir une vision transversale de chaque processus. Le support informatique du BPM (connu sous l'appellation BPMS) a été conçu pour fournir un soutien aux acteurs impliqués pour la modélisation, l'automatisation, l'exécution, le suivi/contrôle des processus. Cependant, beaucoup d'entreprises font le constat que les approches classiques de BPM ne suffisent plus à rendre les processus performants et à assurer leur pérennité. Elles évoluent dans un environnement incertain, en pleine mutation et en constante évolution. Pour faire face à ces changements, le facteur clé de succès d'une transformation au sein de l'entreprise est sa capacité d'agilité. Cette agilité est basée à la fois sur l'agilité organisationnelle de ses processus métier et sur l'agilité de ses applications informatiques supportant ces processus. Ces deux dimensions de l'agilité (organisationnelle et technique) ont été abordées dans la littérature selon diverses méthodes et solutions agissant sur une ou plusieurs perspectives du processus (i.e. informationnelle, organisationnelle, fonctionnelle, opérationnelle et comportementale). Malgré la diversité de ces approches, l'agilité des processus d'entreprise reste encore de nos jours un vrai défi. La plupart des travaux se sont intéressés à la dimension technique (assurée par des langages de description, des systèmes d'exécution permettant de la reconfiguration dynamique, des méthodes d'analyse de processus notamment à partir de l'exploitation de données tracées, l'utilisation des techniques pertinentes comme le processus mining, etc). Alors que la prise en considération de la dimension organisationnelle de l'agilité est encore peu étudiée aujourd'hui. De ces constats, découle l'objectif de notre travail de thèse, celui de proposer une méthode et un environnement permettant d'améliorer l'agilité organisationnelle des processus industriels en cours d'exécution. Notre travail tient compte à la fois de la nature incertaine, imprévisible et dynamique de processus et d'autre part de ses perspectives organisationnelle et comportementale. Pour y parvenir, notre approche s'appuie sur certains principes de l'agilité favorisant la responsabilisation des acteurs et leurs capacités de prise de décision. Nous avons fixé les objectifs suivants : (i) prendre en considération des besoins survenus pendant l'exécution du processus pour prendre la bonne décision au bon moment, (ii) avoir un moyen systématique permettant d'identifier les acteurs adéquats pour réussir l'exécution des activités émergentes et vérifier si un acteur possède une compétence particulière et (iii) entremêler la modélisation et l'exécution du processus pour l'adapter à la nouvelle situation survenue pendant son exécution. Notre approche est basée sur l'identification des compétences et des acteurs disposant de ces compétences pour répondre à un besoin de changement. Cette approche met en œuvre des travaux et méthodes dans différents domaines (système d'information, recherche d'information, ontologie, analyse des concepts formels, aide à la décision multicritère...) Pour répondre à nos besoins, (i) notre travail est inspiré du système de recherche d'information. Nous utilisons une requête en langage naturel pour

exprimer le besoin de recherche d'expertise. (ii) Nous avons proposé deux référentiels de compétences, une ontologie de compétences requises traitant le problème d'hétérogénéité de description des compétences et un treillis de compétences acquises organisant les profils d'acteurs. Ces deux référentiels serviront à la découverte des compétences requises et des acteurs disposant de ces compétences. (iii) Nous avons considéré que le problème de déploiement de compétences dépend du contexte d'exécution du processus. Ainsi, une méthode d'aide à la décision est utilisée pour sélectionner les alternatives respectant au mieux le contexte d'exécution du processus. Afin d'intégrer les changements au niveau modèle et/ou instance du processus, des actions d'adaptation sont définies en se référant aux travaux traitant de l'agilité technique du processus.

Mots clés : BPM, BPM agile, gestion de compétences, maitriser le changement, agilité organisationnelle

Abstract

For several years, Business Process Management (BPM) is recognized as a holistic management approach that promotes business effectiveness and efficiency. The technical tool to manage business processes is Business Process Management System (BPMS). BPMSs provide a comprehensive platform to design, deploy, manage the enactment and monitor business processes. Increasingly, corporates find themselves, operating in business environment filled with unpredictable, complex and continuous change. Driven by these dynamic competitive conditions, they look for a dynamic management of their business processes to maintain their processes performance. One domain that has dominated the thinking of most managers from several years is agility. It is considered as inescapable feature of today's forward-looking corporates. Over the last two decades, corporates have focused on improving the agility of their business processes over two dimensions : organizational and technical level. Most of the work has focused on the technical dimension (provided by description languages, execution systems allowing dynamic reconfiguration, methods to analyze process, especially by the exploitation of events logs, using of relevant techniques such as process mining, etc.). Whereas the consideration of the organizational dimension of agility is still poorly studied today. In our work, we are focused on organizational agility, based on a set of principles and practices used to master change. Human dimension the key element of organizational agility was and stills not taken into consideration within BPM. Thus, in our approach, we integrate competency management to answer how stakeholders can find the right performers at the right time for the right type of contribution. Our goal aims to analyze and construct the social network between processes actors, to provide answers to two

important questions of "who owns what ?" and "who needs what ?" Owing to competencies retrieval process and data mining techniques, unplanned participations could be rapidly and dynamically taken into account. To move forward the following areas need to be investigated and addressed : (i) Accelerating the dissemination of information to make the right decision at the right time, (ii) identifying and exploiting competencies to optimize the choice of individual (or groups) for emergent tasks. (iii) Merging of the design and execution phase in the BPM model. So that there is no explicit or ordered distinction between the two phases. Our approach implements studies and methods from several domains (retrieval information system, ontology, Galois lattice,...). The above needs are achieved through our approach where : (i) a natural language query is used to define the need for expertise research. Each query will provide the intention behind the needed competencies to be performed. (ii) We have proposed two competency repositories. To deal with the heterogeneity problem of competency description, we propose an ontology of required competency. And to provide an efficient access to relevant performer, we decide to present all the identified profiles under the Galois approach. Based on these two repositories, the required competencies are identified and the possible candidates are extracted. (iii) Finally, the identified candidates are evaluated to select the relevant ones taking into account the execution context. After selecting the relevant performers, the process model and/or process instance could be adjusted based on the identified competencies.

Keywords : BPM, Agile BPM, Competency management, Master change, Organizational agility