



AVERTISSEMENT

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

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

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

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

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Thèse présentée et soutenue publiquement le 07 décembre 2016
pour l'obtention du grade de

Docteur de l'Université de Lorraine

Spécialité : Génie des Systèmes Industriels

**Gestion des connaissances lors d'un processus collaboratif
de créativité**

Alex Gabriel

Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI)

Ecole Doctorale Ressources Procédés Produits Environnements (RP2E)

Rapporteurs	Mme Gaëlle CALVARY	Professeur des universités, ENSIMAG, Grenoble-INP
Examineurs	M. Laurent GENESTE	Professeur des universités, ENIT, INP-Toulouse
	Mme Anne BOYER	Professeur des universités, UFR Mathématiques et Informatique, LORIA, Université de Lorraine
Directeur de Thèse	Mme Nada MATTA	Maitre de conférences, HDR, TechCICO Université de Technologie de Troyes
	Mme Cécile FAVRE	Maitre de conférences, ERIC, Université Lyon 2
Co-directeur de Thèse	M. Mauricio CAMARGO	Professeur des universités, ERPI, Université de Lorraine
	M. Davy MONTICOLO	Maitre de conférences, HDR, ERPI, Université de Lorraine
	M. Mario BOURGAULT	Professeur des universités, Polytechnique Montréal

Remerciements

Je tiens à remercier mes directeurs de thèse pour leur aide, leur temps et leur soutien. A Davy sans qui je n'aurais certainement pas fait de thèse mais qui a pensé à moi pour cette aventure. A Mario qui m'a offert l'opportunité de découvrir la belle province du Québec et plus spécialement la vie à Montréal. Finalement, je remercie Mauricio pour sa disponibilité et notamment les discussions concernant la recherche autour d'une bière. Ils ont formé une équipe qui m'a permis de découvrir les différents aspects de la recherche et sans qui ce travail n'aurait certainement pas existé.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe ERPI et ENSGSI pour avoir créé un cadre de travail accueillant et favorable à l'échange et à la discussion. Je remercie notamment Nicole Valence, Noémie Barthelemy et Stéphane Schneider pour leurs aides pour me sortir de méandres des démarches administratives.

Bien que très studieuses, ces trois années ont été des expériences de vie tant à Nancy qu'à Montréal. J'ai une pensée particulière pour Clara, Johanna, et Etienne, mes colocataires à Montréal pendant ces trois années de voyage, avec qui j'ai passé de formidables moments et des fêtes extraordinaires. Je n'oublie pas Ha-Loan qui m'a accueilli et avec qui j'ai eu de formidables discussions passionnées. Je pense également à mes collègues doctorants avec qui j'ai passé de très bons moments durant et hors travail : Manon, Brunelle, Lamia, Giovanni, Andrea, Aline, Fabio, Alexis, Julien G., Julien H., Elisa, Pierre, Hélène, Jonathan, Guillermo, et toutes les personnes que j'ai potentiellement oubliées. Je remercie également mes amies qui ont subi mes joies, mes frustrations ainsi que mes indisponibilités associées à ces trois ans.

J'ai également une pensée pour Emmanuel et Cédric qui ont subi à de multiples reprises mes idées de projets plus ou moins farfelues durant ces années passées au laboratoire ERPI.

Finalement, je remercie ma famille pour leurs encouragements durant toutes ces années d'études.

Table des Matières

1. Introduction	1
1.1. Contexte	3
1.1.1. Contexte général et positionnement	3
1.1.2. Contexte des travaux de recherche.....	4
1.2. Objectif et préoccupations de ce travail	5
1.2.1. Représentation du processus collaboratif de créativité	5
1.2.2. Conception d'un système intelligent pour supporter les activités de créativité	6
1.2.3. Création d'une ontologie décrivant la créativité collaborative.....	7
1.2.4. Traiter l'information pour permettre une assistance intelligente	8
1.3. Plan du document	8
2. Ingénierie des connaissances pour concevoir une architecture multi-agents dédiée au processus collaboratif de créativité	15
2.1. Résolution de problèmes, innovation et créativité	17
2.1.1. La résolution de problèmes.....	17
2.1.2. L'innovation	18
2.1.3. La créativité	20
2.1.4. Collaboration	23
2.2. Ingénierie des connaissances	25
2.2.1. Modélisation du traitement des connaissances.....	27
2.2.2. Représentation des connaissances	28
2.3. Conception du système support selon le paradigme agent	31
2.3.1. La notion d'agent.....	32
2.3.2. Le système multi-agents.....	33
2.3.3. Le paradigme agent, l'alternative au paradigme orienté objet	35
2.3.4. Ingénierie des connaissances pour un système support à la créativité	35
2.4. Conclusion	36

3. Cartographie des systèmes supports à la créativité	39
3.1. Méthode et matériels	41
3.1.1. Termes de recherche.....	41
3.1.2. Matériels.....	42
3.1.3. Critères d'observations	42
3.2. Résultats de la cartographie des Systèmes Supports à la Créativité	44
3.2.1. Phases du processus de créativité supportées par les systèmes	44
3.2.2. Conditions de collaboration des systèmes supports.....	45
3.2.3. Technologies utilisées par les systèmes supports à la créativité	46
3.2.4. Discussion	47
3.3. Conclusion.....	49
4. Modélisation du processus collaboratif de créativité	53
4.1. Les bases d'un atelier de créativité.....	55
4.1.1. Les rôles dans un atelier de créativité.....	55
4.1.2. Les techniques de créativité.....	57
4.1.3. Aspects génériques d'un atelier de créativité	58
4.2. Modéliser le processus collaboratif d'un atelier de créativité.....	59
4.2.1. Cadre du processus modélisé.....	60
4.2.2. Approche de modélisation	61
4.3. Formalisation du processus de l'atelier de créativité.....	63
4.4. Conclusion.....	67
5. Un système intelligent pour supporter le processus collaboratif d'un atelier de créativité.....	69
5.1. Agents et système multi-agents	72
5.1.1. Définitions d'un agent et d'un système multi-agents.....	72
5.1.2. Conception d'un système multi-agents.....	72
5.1.3. Système multi-agents appliqué à la créativité	73
5.2. Méthodologie pour modéliser un système multi-agents	74
5.2.1. Modèle de structure organisationnelle.....	75
5.2.2. Modèle de processus.....	76

5.2.3.	Modèle d'activité.....	78
5.2.4.	Caractéristiques de rôle.....	79
5.3.	Modélisation appliquée aux ateliers de créativité.....	80
5.3.1.	De l'organisation des agents humains aux agents cognitifs.....	81
5.3.2.	De l'organisation des agents computationnels aux agents réactifs.....	84
5.3.3.	Interactions entre les organisations cognitives, réactives et la base de connaissance	90
5.4.	Conclusion.....	92
6.	<i>Un vocabulaire pour représenter les connaissances du processus de créativité.....</i>	95
6.1.	Méthodologie de conception de l'ontologie	97
6.1.1.	Définition de l'étendue, de l'objectif et des aptitudes de l'ontologie	99
6.1.2.	Conceptualisation du vocabulaire	100
6.1.3.	Développement.....	101
6.1.4.	Validation et évaluation	102
6.2.	Conception de l'ontologie pour la gestion des ateliers de créativité	102
6.2.1.	Etendue, objectif et aptitude de l'ontologie	102
6.2.2.	Création du vocabulaire	105
6.2.3.	Développement de l'ontologie.....	110
6.2.4.	Vérification	111
6.3.	Discussion de la méthodologie	112
6.4.	Conclusion.....	113
7.	<i>Processus d'évaluation des idées supporté par les agents</i>	117
7.1.	Vue d'ensemble des méthodes d'évaluation appliquées à la créativité.....	119
7.1.1.	Evaluation en créativité.....	119
7.1.2.	Formalisation du contexte.....	122
7.2.	Proposition d'une approche pour évaluer et classer les idées.....	124
7.2.1.	Définition du contexte.....	124
7.2.2.	Evaluation des idées	126
7.2.3.	Traitement par analyse multicritère.....	126
7.2.4.	Résultat et discussion	127
7.2.5.	Approche d'application détaillée	127

7.3. Etude de cas d'un atelier de créativité pour le développement du tourisme durable dans la ville de Leticia	129
7.3.1. Contexte de l'atelier	129
7.3.2. Analyse du problème.....	129
7.3.3. Evaluation des idées.....	130
7.3.4. Traitement par analyse multicritère.....	131
7.3.5. Résultats et discussions du cas d'application.....	132
7.4. Discussion de l'approche.....	134
7.5. Conclusion et Perspectives.....	135
8. Traitement des idées par analyse sémantique.....	137
8.1. Evaluation par traitement automatique du langage.....	139
8.2. Prérequis en terme de formalisation des informations	141
8.2.1. Formaliser le sujet	141
8.2.2. Formaliser les idées.....	141
8.3. Approche générale	142
8.4. Expérimentation.....	145
8.4.1. Protocole expérimental.....	145
8.4.2. Approche de comparaison détaillé	146
8.4.3. Comparaison lexicale.....	146
8.4.4. Similarité sémantique.....	148
8.5. Résultats de l'expérimentation	154
8.6. Discussion	158
8.7. Conclusions	160
9. Conclusion générale.....	161
9.1. Contribution.....	163
9.2. Perspectives de recherche	165
9.2.1. Vers un traitement automatique des idées	165
9.2.2. Vers un accompagnement individualisé grâce aux agents	166
9.2.3. Interface entre le système -multi-agents et les acteurs.....	166

Références.....	169
Annexes	189
Annexe A	191
Annexe B.....	197
Annexe C.....	205
Annexe D	213
Annexe E.....	217
Publications	221

Table des figures

Figure 1. Plan du mémoire de thèse	9
Figure 2. Représentation symbolique de l'organisation des acteurs d'un atelier de créativité.....	10
Figure 3. Représentation symbolique du Système Multi-Agents basé sur l'organisation humaine d'un atelier de créativité	11
Figure 4. Représentation symbolique du Système Multi-Agents complété par une ontologie	11
Figure 6 Représentation simplifiée des rôles et de leurs interventions dans le processus de créativité	56
Figure 7. Modèle conceptuel de la modélisation du processus créatif d'un atelier de créativité	60
Figure 8.Représentation graphique des concepts de RIOCK d'une organisation.....	63
Figure 9. Processus global (A0) de créativité de l'atelier "48h pour faire vivre des idées®"	64
Figure 10. Représentations IDEF-0 de l'activité A2 "générer des idées".....	65
Figure 11. Représentation RIOCK de l'activité A22 "Appliquer une technique de créativité"	66
Figure 12. Cartographie des compétences et connaissances pour le commanditaire	67
Figure 13. Extrait de la cartographie des compétences et des connaissances pour l'idéateur	67
Figure 15. Les trois étapes de la modélisation d'un SMA avec la méthodologie DOCK.....	75
Figure 16. Détail d'application des modèles dans la méthodologie DOCK	75
Figure 17. Modèle de structure organisationnelle.....	76
Figure 18. Modèle de processus.....	77
Figure 19. Modèle d'activité.....	78
Figure 20. Modèle de structure organisationnelle d'un atelier de créativité	81
Figure 21. Modèle du processus de formalisation du problème	82
Figure 22. Modèle de l'activité A12 "Collecter les informations"	83
Figure 23. Modèle de structure organisationnelle du système support à la créativité	85
Figure 24. Modèle du processus d'analyse de problème.....	86
Figure 25. Modèle de l'activité A13 Suggérer une approche de résolution du problème	88
Figure 26. Modèle de séquences de l'activité A13 « Suggérer une approche de résolution du problème »	91
Figure 27. Représentation globale du Système Multi-Agents pour supporter une démarche de créativité.....	92
Figure 28. Processus de conception d'ontologie.....	99
Figure 29.Modèle de structure organisationnelle d'un atelier de créativité issu de la modélisation du SMA	104
Figure 30. Modèle de processus de la génération des idées lors d'un atelier de créativité	106
Figure 31. Représentation partielle de l'ontologie : concepts de base de l'ontologie décrivant les personnes et leurs rôles	109
Figure 32. Décomposition en sous domaines de l'ontologie CWMO.....	109
Figure 33. Exemple de concepts et d'instances de l'ontologie CWMO en OWL.....	111
Figure 34. Requête SPARQL pour déterminer les techniques d'évaluation appliquées à un sujet d'atelier de créativité et le résultat de la requête	112
Figure 35. Synthèse des critères d'évaluations adaptés de (Verhaegen et al., 2013)	121
Figure 36. Représentation de l'approche d'évaluation des idées	124
Figure 37. Arbre décisionnel de sélection des méthodes d'analyse multicritère	127
Figure 38. Diagramme d'activités détaillé de la démarche d'évaluation des idées	128

Figure 39. Classement des 5 idées pour la stratégie d'évaluation 1	133
Figure 40. Classement des 5 idées avec le détail de contributions de chaque critère pour la stratégie d'évaluation 1	133
Figure 41. Représentation GAIA de l'ensemble des idées et des critères.....	133
Figure 42. Différentes approches de comparaison des idées au sujet : A. comparaison lexicale, B. comparaison des concepts issus d'une extraction sémantique, et C. comparaison des domaines issus d'une extraction sémantique	143
Figure 43. Approche générale pour atteindre les différents niveaux de comparaison	145
Figure 44. Extrait de l'algorithme de comparaison lexicale	148
Figure 45. Exemple d'extension d'un vecteur de nom par hyperonymie et hyponymie	149
Figure 46. Exemple de stratégie de comparaison des noms hail, weather et web issus de l'idée "the anti-storm rocket"	150
Figure 47. Exemple du processus de comparaison de hail et weather	151
Figure 48. Extrait des arborescences de hail et weather, et les correspondances vérifiées	153
Figure 49. Les idées et le sujet positionnés sur un schéma ROC.....	158

Table des tableaux

Tableau 1. Les différents types d'agent en fonction de leurs capacités représentationnelles (cognitifs, réactifs) et de leurs modes de conduite (téléonomiques, réflexes)	33
Tableau 2. Groupes de mots-clés utilisés pour réaliser la revue de littérature	42
Tableau 3. Matrice spatio-temporelle (Boughzala, 2007)	44
Tableau 4. Récapitulatifs des critères observés dans la revue de littérature	44
Tableau 5. Phases du processus de créativité couvertes par les supports	45
Tableau 6. Capacité de collaboration des CSS.....	46
Tableau 7. Utilisation collaborative et collaborative distante des systèmes	46
Tableau 8. Distribution globale des modes d'utilisation des CSS.....	46
Tableau 9. Distribution des types de périphériques utilisés par les CSS.....	47
Tableau 10. Distribution des technologies et des périphériques selon le type d'utilisation du système	47
Tableau 11. Questions directrices pour construire le modèle de structure organisationnelle	76
Tableau 12. Questions directrices pour la réalisation du modèle de processus.....	77
Tableau 13. Questions directrices pour réaliser le modèle d'activité.....	79
Tableau 14. Modèle de rôle	80
Tableau 15. Questions directrices pour la réalisation du modèle de rôle.	80
Tableau 16. Extrait du diagramme de rôle Organisateur	84
Tableau 17. Nom des agents computationnels, leur acronyme et leur fonction.....	87
Tableau 18. Modèle du rôle Organisateur mis à jour suite à la modélisation de l'organisation des agents computationnels.....	89
Tableau 19. Comparaison des méthodologies de conception d'ontologie	98
Tableau 20. Aptitudes de l'ontologie pour chacun des scénarios.....	105
Tableau 21. Extrait du tableau des concepts de CWMO	107
Tableau 22. Extrait des relations de concepts.....	107
Tableau 23. Extrait des relations de données	108
Tableau 24. Exemples de traduction des aptitudes en requêtes SPARQL	112
Tableau 25. Sélection d'études concernant l'évaluation des idées et les critères utilisés	122
Tableau 26. Détails des résultats d'évaluation pour le panel d'idées	131
Tableau 27. Flux nets et classement de chaque idée pour chacun des scénarios	132
Tableau 28. Classement des idées, identifiées par leur code, selon les algorithmes de comparaisons lexicale ou sémantique (concepts ou domaines)	155
Tableau 29. Classement des idées réalisées par cinq universitaires.....	155
Tableau 30. Distribution des idées en quartiles	156
Tableau 31. Comparaison des classements générés par les algorithmes avec le classement "idéal"	156
Tableau 32. Précision, rappel, f-mesure, taux de faux et de vrais positifs de l'extraction de domaines par l'algorithme	158

1. Introduction

Table des Matières du Chapitre 1

1.1. Contexte	3
1.1.1. Contexte général et positionnement	3
1.1.2. Contexte des travaux de recherche.....	4
1.2. Objectif et préoccupations de ce travail	5
1.2.1. Représentation du processus collaboratif de créativité	5
1.2.2. Conception d'un système intelligent pour supporter les activités de créativité	6
1.2.3. Création d'une ontologie décrivant la créativité collaborative.....	7
1.2.4. Traiter l'information pour permettre une assistance intelligente	8
1.3. Plan du document.....	8

1.1. Contexte

1.1.1. Contexte général et positionnement

Dans le contexte industriel et économique hautement concurrentiel et mondialisé, les entreprises sont contraintes de développer un avantage concurrentiel. Pour ce faire, elles doivent soit améliorer leurs parts de marché, soit conserver ces parts de marché et en augmenter la rentabilité (Tidd and Bessant, 2009). Ainsi, deux perspectives s'offrent à elles : affronter un grand nombre de concurrents sur une gamme de produits/services similaires en agissant sur les coûts ou la qualité, ou bien innover pour être la seule à offrir un bien ou un service.

Bien que les deux aspects soient importants et soient éventuellement appliqués en parallèle, le fait qu'une entreprise ne prenne pas en compte la perspective de l'innovation introduit le risque d'être dépassée aux moindres évolutions de la concurrence. La volonté d'une entreprise d'être innovante est un point de départ positif mais pas suffisant. Créer une dynamique d'innovation au sein d'une entreprise implique la prise en compte d'un certain nombre de facteurs. Pour n'en citer que quelques-uns, la stratégie de l'entreprise et son positionnement, la gestion du portefeuille de projets, les ressources humaines, la gestion des connaissances, la créativité de l'entreprise sont autant d'éléments influençant la dynamique d'innovation d'une entreprise (Boly, 2008). Améliorer la capacité à innover d'une entreprise, c'est être capable de mesurer l'état d'avancement pour l'ensemble des facteurs influençant l'innovation et déterminer les actions à mettre en place pour les améliorer (Rejeb et al., 2008). La finalité d'une telle démarche d'amélioration de l'innovation au sein d'une entreprise est d'accélérer et rendre plus efficace la mise sur le marché avec succès de nouveaux biens ou services. Bien entendu la stratégie n'est pas la même en fonction du type (produit, procédé, position, modèle), du degré (incrémentale, radicale) et de l'étendue (composant ou système). Le postulat de la gestion de l'innovation est de considérer l'innovation comme un processus de développement (Tidd and Bessant, 2009).

Pour aboutir à la création d'une innovation quel qu'en soit son type, son degré ou son étendue, il est au préalable nécessaire d'avoir des idées. Pour être mises en œuvre et être considérées comme une innovation, les idées subissent de multiples transformations en fonction des acteurs et de leurs expertises. Ces derniers interagissent dans un environnement physique et social donné. La démarche d'innovation peut être métaphoriquement considérée comme une chaîne de production de cylindres de moteur où les idées sont la matière première qui va être usinée. L'ajout de valeur à la matière première est son usinage pour la transformer en cylindre de moteur. De la même manière, la valeur ajoutée des idées se fait par l'ajout de connaissances par les différents acteurs impliqués dans le processus. Une fois l'idée transformée, sa « conformité » par rapport au problème et aux contraintes est évaluée à l'instar d'un contrôle qualité. Si celle-ci ne répond pas aux attentes, elle est soit « ré-usinée », soit rejetée au profit d'une autre idée. La créativité d'une entreprise est donc la capacité de l'entreprise à générer des idées candidates en début de chaîne pour solutionner un problème. La question se pose de la matière première en amont du processus d'innovation. Les idées sont le prérequis de toute démarche d'innovation. Elles peuvent provenir de différentes sources à différents stades du processus métier ou d'innovation et être de nature très variée. Mettre en place une démarche d'innovation dans une entreprise implique d'identifier cette matière première que constituent les idées et de la gérer. Elle peut être issue d'une circonstance fortuite et inattendue (phénomène de sérendipité), lors d'activité métier ou issue d'une recherche active d'idée pour

résoudre un problème. L'émergence d'idées est un phénomène complexe impliquant une multitude de facteurs dépendant notamment des individus et du contexte socio-culturel (Bonnardel, 2006). Le postulat de ce travail de thèse est que la production créative est une construction issue d'un processus collaboratif semblable à celui de conception (Bonnardel, 2006). De manière simplifiée, ce processus collecte les informations pertinentes au problème et itère sur la formulation-reformulation du problème (Bonnardel, 2006). À l'instar du défi historique de gestion des coûts et de la qualité, la créativité et l'innovation requièrent un système et des outils adaptés pour réussir à gérer les techniques de créativité, les idées et les projets et ainsi se différencier de la concurrence (Getz and Robinson, 2003). Sans prétendre contrôler la production d'idées des individus, ces travaux de recherche ont pour objectif de cartographier les connaissances d'un processus collaboratif de créativité dans l'optique d'apporter un outil de support et ainsi accompagner les activités de créativité.

1.1.2. Contexte des travaux de recherche

Les travaux de recherche présentés dans ce manuscrit ont été effectués dans le cadre d'une thèse au sein de l'Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs. La thématique générale de recherche du laboratoire est la compréhension des démarches d'innovation dans les organisations. Concernant les aspects amont du processus d'innovation et plus spécifiquement la gestion de la créativité et la génération des idées, le laboratoire ERPI a créé en 2001, en collaboration avec l'Ecole Nationale Supérieure en Génie de Systèmes et de l'Innovation (ENSGSI), un atelier pédagogique nommé « 48h pour faire vivre des idées® ». Le principe de cet atelier de créativité est d'impliquer des étudiants en formation d'ingénieur pour travailler pendant 48 heures sur des problèmes soumis par des entreprises en appliquant des techniques de créativité pour générer des idées en vue d'un développement ultérieur. Initialement, cet atelier de créativité impliquait uniquement les étudiants de l'Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes et de l'Innovation (ENSGSI), mais celui-ci a gagné en notoriété pour se dérouler en simultanément à l'échelle nationale et internationale. A titre d'exemple, l'édition 2015 a rassemblé simultanément 1200 participants dans 10 pays. Cette expérience a montré que, dans un premier temps, l'échelle restreinte permettait une gestion « manuelle » des informations associées à l'atelier de créativité, mais le changement d'échelle et le caractère distribué apportent des contraintes fortes sur la gestion des connaissances. L'objectif de cet atelier de créativité est de collecter les idées pour les transmettre aux entreprises. De ce fait, la transmission des idées, dans une optique de traitement et de mise en œuvre, requiert une démarche de capitalisation de l'information. Celle-ci peut se limiter aux idées ou bien s'étendre à l'ensemble des artefacts produits pendant le processus créatif. Selon la quantité d'informations à capitaliser, l'informatisation de la capitalisation devient une nécessité. De plus, dans l'état actuel des Technologies de l'Information et de la Communication, les différents acteurs peuvent non seulement capitaliser les informations mais également les assister dans leurs tâches. Apporter une véritable assistance aux différents acteurs d'un processus collaboratif de créativité nécessite au préalable de déterminer les connaissances impliquées pour anticiper les besoins, traiter les besoins et guider la réalisation des tâches. Pour capitaliser les bonnes informations au bon moment ou apporter une aide à la réalisation de certaines tâches, il est nécessaire d'avoir connaissance du processus de créativité. Pour autant, bien qu'il y ait un nombre important de processus de créativité dans la littérature, leur perspective est bien trop générale pour identifier les connaissances et les artefacts produits. De plus, il est question de processus, mais ceux-ci n'ont rien à voir avec les processus en ingénierie, c'est-à-

dire une suite d'activités produisant des résultats dans un cadre organisationnel avec des ressources humaines et matérielles (Holt and Perry, 2008). La créativité collaborative d'un atelier de créativité est également caractéristique de l'innovation ouverte (open innovation) qui ouvre les limites de l'entreprise en termes de génération d'idées (Chesbrough, 2004). Des personnes en interne et en externe à l'organisation participent à la résolution d'un problème, et ces idées peuvent être valorisées en interne ou en externe par l'organisation commanditaire (Chesbrough, 2004). L'innovation ouverte, si elle est mise en œuvre avec succès, produit une grande quantité de données (big data) concernant des pistes de résolution du problème (idées) et éventuellement concernant la manière dont ces idées ont été générées. Dans ces circonstances, il serait nécessaire de disposer d'une cartographie des connaissances liées au processus de créativité pour, dans un premier temps, gérer au mieux cette masse de données et, dans un second temps, traiter ces données pour faciliter la résolution du problème et la sélection des idées à mettre en œuvre.

1.2. Objectif et préoccupations de ce travail

La contribution principale de cette thèse peut être résumée ainsi :

Proposer une approche pour la conception d'un système de gestion des connaissances liées au processus collaboratif de créativité

Cette contribution peut être décomposée en quatre objectifs opérationnels :

- Représenter le processus de créativité collaboratif dans une organisation afin de représenter les interactions entre les différents rôles d'acteurs, leurs activités, les connaissances impliquées et produites pour produire des idées solutionnant un problème.
- Concevoir un système intelligent pour assister les acteurs d'un atelier de créativité tout au long du processus pour la capture, le traitement, le stockage, et la distribution des connaissances.
- Proposer un vocabulaire et une sémantique au travers d'une ontologie pour organiser les connaissances lors d'un processus de créativité et établir les éventuelles relations qui existent entre ces connaissances afin d'être capable d'inférer de nouvelles connaissances.
- Proposer une démarche de traitement de l'information concernant les idées dans le cadre de l'aide à l'évaluation des idées du système support à la créativité.

Afin que le lecteur ait un aperçu plus précis des apports de ce mémoire concernant les quatre points précédemment cités, les sous sections suivantes présentent de manière plus détaillée leurs contenus.

1.2.1. Représentation du processus collaboratif de créativité

Le phénomène de créativité est un phénomène complexe influencé par de multiples facteurs (James and Drown, 2012 ; Marion, 2012 ; Anderson et al., 2014). Ces facteurs peuvent être classés selon trois niveaux (Mumford, 2012) : individuel, collectif et organisationnel. La capacité créative d'un individu dépend notamment de son mode de raisonnement, sa motivation, son état émotionnel (De Dreu et al., 2012). La créativité ne se développe pas dans le vide en dehors de tout contexte physique et social. Selon la perspective systémique proposée par Csikszentmihalyi, la créativité est l'interaction de l'individu avec le domaine (système de symbole culturel comme les règles, le vocabulaire, la grammaire et la syntaxe) et le champ (les experts qui partagent le même domaine). C'est ainsi que la créativité est collective car elle est issue de l'interaction avec d'autres individus et l'environnement

socio-culturel (Bonnardel, 2006). La perspective organisationnelle de la créativité porte sur l'adaptation de l'organisation permettant de favoriser la créativité en créant les conditions managériales et environnementales adaptées (Mumford, 2012). En dehors du phénomène cognitif, la créativité peut également être perçue comme une production ou un processus. La créativité est le processus de transformation de compétences et de connaissances pour répondre à un objectif par une idée ou un produit créatif (James and Drown, 2012). Ce processus est à la fois cognitif, pour chaque individu, et relationnel, tant au sein de l'équipe de résolution que le reste de l'organisation. La manifestation d'une dynamique créative conduisant à la résolution du problème dépend de la mise en œuvre d'un processus adapté de créativité collective (Taggar, 2002). Pour autant, bien que la littérature fournisse pléthore de processus de créativité allant de 2 à 8 phases, ils ne considèrent pas la complexité de mise en œuvre d'une dynamique de créativité avec notamment les différents rôles que cela implique. Durant le processus de créativité d'un atelier, les personnes communiquent, partagent, documentent les idées et les résultats dans une alternance de modes de réflexion et de communication simultanée ou asynchrone. La mise en œuvre d'un atelier de créativité requiert une coordination d'autant plus importante que chaque contexte est unique. Il est donc nécessaire de modéliser plus en détails le processus de créativité pour comprendre et caractériser les rôles impliqués (Rodriguez et al., 2006) mais également mettre en évidence le domaine de connaissances qui caractérise la créativité collaborative.

1.2.2. Conception d'un système intelligent pour supporter les activités de créativité

Le processus collaboratif de créativité est un processus complexe, hétérogène et distribué. Il est complexe par le nombre de facteurs d'influence intervenant dans le processus, leurs corrélations connues et encore indéterminées ainsi que les incertitudes induites par chaque individu impliqué. Les acteurs possèdent des expertises et des modes de pensées différents. Ainsi, les connaissances sont non seulement hétérogènes mais également distribuées parmi les acteurs. Cette hétérogénéité est d'ailleurs préconisée en ce qui concerne la composition des groupes de travail (Fleming, 2004). En effet, chacun de ces acteurs possède une représentation du problème dépendante de son expérience, ses connaissances, et son expertise. Le succès d'un processus collaboratif de créativité est conditionné par la création d'une représentation commune du problème (espace du problème) afin d'explorer collectivement l'espace des idées et des solutions. Le processus collaboratif de créativité est également hétérogène et distribué en raison de la production de divers artefacts durant le processus et la mise à jour des connaissances individuelles et collectives. La complexité du phénomène de créativité collective émane également des rôles et du caractère autonome et dynamiques des acteurs dans le processus.

Suite à une recherche bibliographique concernant les systèmes supports à la créativité et en raison des caractéristiques que nous venons d'évoquer, il nous a paru que l'approche la plus adaptée à la conception d'un tel système est le paradigme agent. En effet, un agent est une entité humaine ou computationnelle située dans un environnement, capable d'actions avec l'environnement et les autres agents qu'il perçoit pour satisfaire son objectif de conception (Jennings and Wooldridge, 1998; Ferber, 1999). Le processus collaboratif de créativité impliquant plusieurs acteurs avec des rôles différents, le système intelligent peut être conçu sur la base d'une représentation des interactions des acteurs au travers d'une organisation d'agents coopérant en échangeant des messages (Bakar

and Ghoul, 2011) dans le but d'accomplir un objectif global (Isern et al., 2011). Dans le cas présent, l'objectif du système multi-agents est l'accompagnement de la génération d'idées de solution au problème par l'accomplissement du processus collaboratif de créativité. Plus précisément, satisfaire cet objectif global implique un certain nombre d'objectifs spécifiques :

- Gérer les connaissances lors du processus de créativité.
- Assister les animateurs dans la structuration et l'application des techniques de créativité auprès des personnes générant des idées.
- Assister les organisateurs dans l'organisation globale des activités et des ressources matérielles et dans la mobilisation des autres acteurs de l'atelier.
- Assister les « idéateurs » dans l'accès aux informations liées au problème, dans l'application des techniques de créativité et dans la capitalisation des différents artefacts produits au cours du processus créatif, mais aussi assister/provoquer des associations par l'utilisation de matériel « d'inspiration » et/ou par la réutilisation d'idées comme matériels.
- Assister les commanditaires dans la formalisation du problème et la structuration des données concernant le problème, ainsi que la formalisation de l'approche d'évaluation des idées (critères, échelle, méthode).
- Assister les évaluateurs dans l'évaluation des idées et la production de retour concernant les idées.

Pour satisfaire ces différents objectifs, les agents doivent collaborer c'est-à-dire échanger des informations et traiter des données or au préalable il faut qu'ils identifient les concepts échangés pour les traiter. Dans l'objectif d'améliorer les compétences de raisonnement et de traitement de données, nous optons pour la création d'une ontologie pour décrire le domaine de connaissances lié à l'atelier de créativité et ainsi apporter un vocabulaire pour les échanges entre les agents.

1.2.3. Création d'une ontologie décrivant la créativité collaborative

La conception du système multi-agents pour aider les acteurs du processus de créativité sur la base de la modélisation de ce processus permet d'identifier les activités réalisées et les connaissances nécessaires mais n'est pas suffisante pour apporter une intelligence au système. La modélisation du processus réalisée lors de la conception du Système Multi-Agents formalise les concepts nécessaires pour décrire l'atelier de créativité et le processus collaboratif de créativité mais ne lie pas les connaissances entre elles. Or, pour d'avantage d'intelligence, c'est-à-dire une capacité de raisonnement, il est nécessaire d'établir une base de connaissances constituée des concepts décrivant l'atelier de créativité et les relations qui les lient. Ce domaine de connaissances peut être représenté au travers d'une ontologie (Gruber, 1993). Cette ontologie formalise un vocabulaire et une sémantique utiles pour la collaboration des acteurs et des agents. Cela crée non seulement un langage commun mais cela facilite également la capture et la réutilisation de connaissances. Cette réutilisation est notamment facilitée par la capacité de raisonnement et d'inférence des ontologies. Les ontologies ont également la propriété d'être extensibles c'est-à-dire d'inclure des connaissances externes. Cette propriété peut s'avérer être utile dans la phase d'amélioration du domaine de connaissances par l'inclusion de domaines d'expertise en lien avec le sujet à résoudre. Actuellement, il y a bien des systèmes informatiques pour supporter la créativité intégrant des ontologies du domaine de l'innovation ou de la créativité mais le domaine couvert n'est pas adapté à notre cas d'utilisation. Nous souhaitons donc créer une ontologie du domaine de connaissances de l'atelier de créativité. Pour ce faire, bien que la modélisation du processus de créativité ne soit pas suffisante,

nous allons utiliser cette base de modélisation organisationnelle pour systématiser la détermination des concepts de l'ontologie.

1.2.4. Traiter l'information pour permettre une assistance intelligente

L'identification des connaissances nécessaires aux acteurs dans la réalisation de leurs rôles et dans leurs échanges est riche pour la capitalisation des informations mais représente une importante quantité d'informations à traiter. En effet, caractériser les agents et leurs échanges, et la capture des connaissances ne constitue pas une aide en soi. La valeur ajoutée du système multi-agents est le traitement et la réutilisation des connaissances. En plus d'une importante quantité d'informations, s'ajoute la nature hétérogène des connaissances et de l'information capitalisée. Prenons l'exemple d'une idée, elle peut être constituée de textes écrits de manière plus ou moins formelle, d'images, de dessins, ou de textes scannés. Pour que le système joue véritablement son rôle de support, il est nécessaire d'explorer les processus de traitement de l'information des agents computationnels pour aider les acteurs dans la prise de décision tout au long du processus de créativité. Dans le cadre de ce travail, nous explorerons plus spécifiquement le processus d'évaluation des idées et le traitement de l'information associée. La phase d'évaluation des idées a pour objectif de réduire le nombre de solutions possible pour favoriser celles qui sont les plus adaptées aux contextes et aux contraintes du problème ainsi qu'aux attentes du commanditaire. Pour ce faire, un processus est formalisé pour structurer au mieux cette évaluation des idées en fonction du temps, des ressources et des connaissances disponibles afin d'aboutir sur une sélection pondérée et rationnelle des idées à développer. Le principe de cette démarche d'évaluation est fondé sur l'application de critères à chacune des idées par des évaluateurs. La limite de cette approche d'évaluation par critères est l'impossibilité d'évaluer la totalité des idées. Ainsi en amont de l'évaluation des idées par des critères, nous avons expérimenté le tri automatique des idées basé sur la sémantique et les concepts décrits dans la description et les divers éléments textuels d'une idée.

1.3. Plan du document

La structuration de ce document peut être représentée selon la Figure 2 qui illustre la succession des différentes parties du document ainsi que les chapitres.

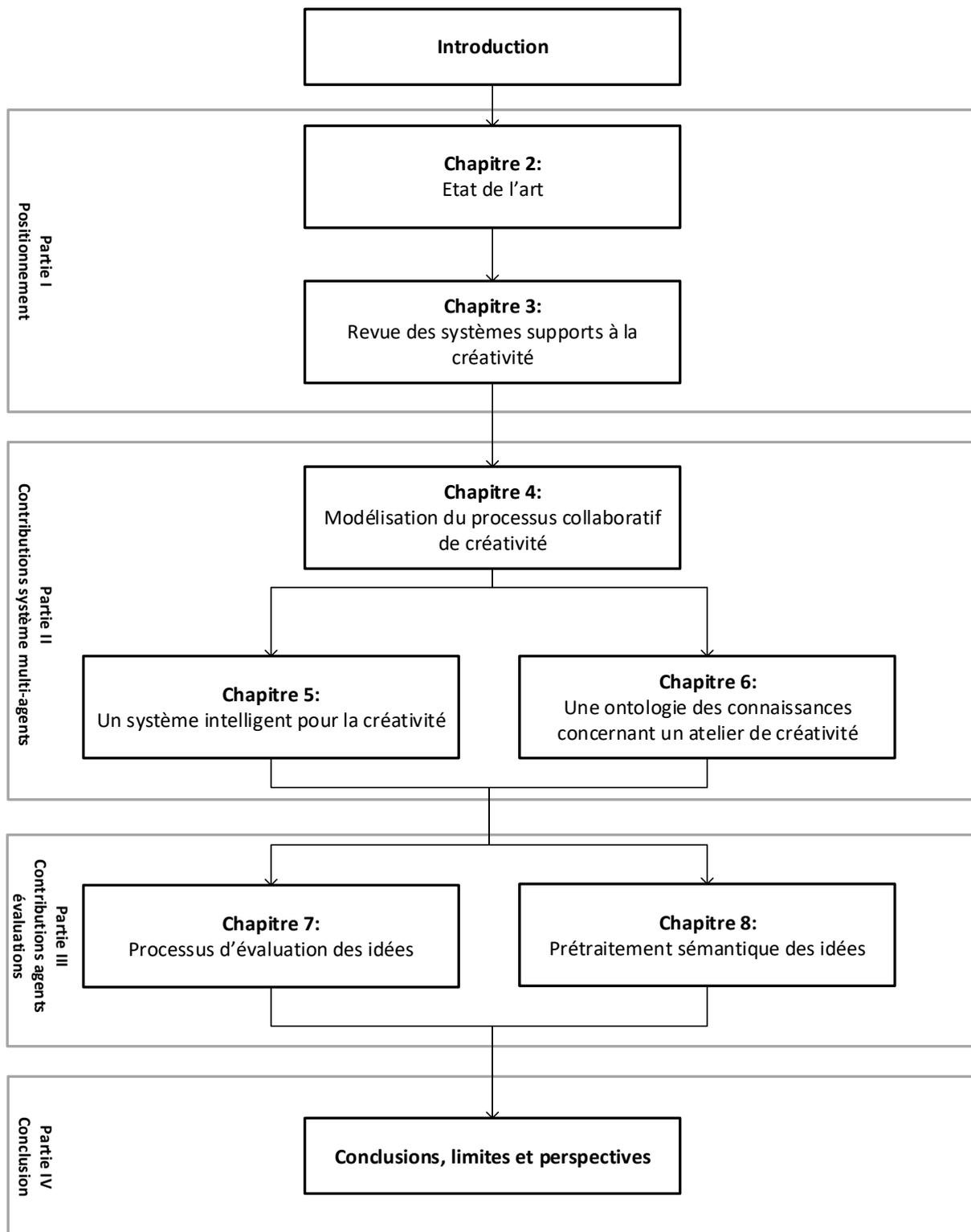


Figure 1. Plan du mémoire de thèse

La première partie de cette thèse fera un tour d'horizon des domaines abordés lors de ces travaux de recherche. Le premier chapitre constitue un état de l'art concernant les processus collaboratif de créativité et l'ingénierie des connaissances et les outils à la créativité. À l'inverse, le second chapitre explorera l'état actuel des systèmes supports à la créativité par une revue de la littérature.

Chapitre 2 – Etat de l’art. Ce premier chapitre présente deux concepts théoriques que sont la créativité et l’ingénierie des connaissances. Le premier concerne le processus collaboratif de créativité, le second explore l’aspect gestion des connaissances et les processus associés.

Chapitre 3 – Revue des systèmes supports à la créativité. L’idée de proposer des outils pour la créativité n’est pas nouvelle, il existe déjà un certain nombre de recherches qui ont été réalisées dans la littérature scientifique. Ce chapitre fait un état de l’art de ces systèmes pour déterminer les perspectives à explorer en termes de fonctionnalités à développer.

Suite à la mise en place du cadre théorique et pratique, la deuxième partie de la thèse décrit le travail de modélisation du processus collaboratif de créativité dans le contexte d’un atelier de créativité. La perspective de cette modélisation est collective et organisationnelle plutôt qu’individuelle. Cela permet de mettre en évidence les rôles des acteurs, leurs interactions et les connaissances utilisées. Basé sur cette modélisation organisationnelle du processus collaboratif de créativité, cette seconde partie abordera la conception d’un système support à la créativité basé sur le paradigme agent et la création d’une ontologie couvrant le domaine de connaissances du processus de créativité.

Chapitre 4 – Modélisation du processus collaboratif de créativité dans une organisation. Bien plus que quatre étapes, le processus de créativité est une suite d’actions et d’interactions entre les acteurs selon leurs rôles. Ce chapitre explore la représentation des activités de créativité et de la cartographie des connaissances associées selon les acteurs impliqués dans la démarche, leurs rôles et leurs interactions. Ce chapitre aborde donc la formalisation de l’organisation d’un atelier de créativité symboliquement représenté par la Figure 2 avec des acteurs qui interagissent dans le cadre d’un atelier de créativité.

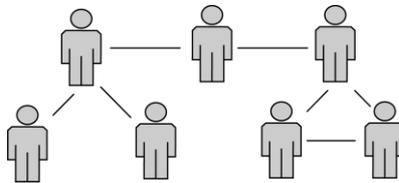


Figure 2. Représentation symbolique de l’organisation des acteurs d’un atelier de créativité

Chapitre 5 – Un système intelligent pour supporter le processus collaboratif de créativité. A partir de la modélisation organisationnelle, ce chapitre présente la démarche de conception d’un système support à la créativité basé sur le paradigme agent. L’atelier de créativité étant complexe et impliquant des acteurs dynamiques et autonomes, la conception d’un système multi-agents permet de répondre au mieux à ces spécificités. L’intelligence réside dans l’adaptation à la situation et l’approche de conception des systèmes multi-agents permet de considérer la diversité des interactions et des situations que les agents vont vivre et de planifier au mieux les adaptations nécessaires. En d’autres termes, le chapitre 5 construit une organisation des agents à partir de l’organisation réelle des acteurs d’un atelier de créativité comme l’illustre la Figure 3.

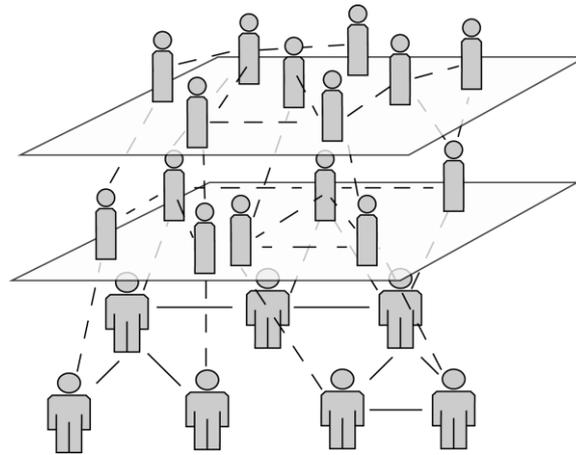


Figure 3. Représentation symbolique du Système Multi-Agents basé sur l'organisation humaine d'un atelier de créativité

Chapitre 6 – Un vocabulaire pour représenter le domaine de connaissances de la créativité. Il s'agit de la description de la démarche de conception d'un vocabulaire et des relations associées à partir de la modélisation organisationnelle du processus de créativité. Ce travail permet de proposer une ontologie décrivant les connaissances du processus collaboratif de créativité et plus spécifiquement l'organisation, l'animation et le traitement d'un atelier de créativité. Cette formalisation et structuration des connaissances d'un atelier de créativité grâce à une ontologie permet de structurer les échanges entre agents et permet une représentation du domaine de connaissances pour chacun d'eux. Ainsi, le Système Multi-Agents se voit augmenté d'une ontologie qui structure les échanges de connaissances entre les agents (les traits en pointillés symbolisant les connexions éventuelles deviennent des interactions formelles symbolisées par des traits pleins) et apporte une représentation du domaine de connaissances à chacun des agents comme la Figure 4 le représente.

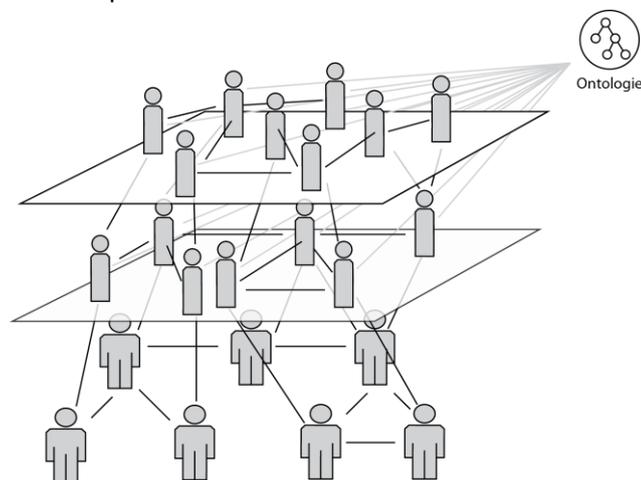


Figure 4. Représentation symbolique du Système Multi-Agents complété par une ontologie

La troisième partie de la thèse aborde le fonctionnement des agents d'un point de vue du traitement de l'information. Les chapitres précédents décrivent les agents, leurs actions, leurs interactions et la structure des connaissances qu'ils manipulent, mais ne décrivent pas la manière dont les connaissances doivent être traitées pour réaliser ces actions. La perspective n'est plus les interactions des agents mais des aspects plus spécifiques de l'agent pour effectuer sa mission.

Chapitre 7 – Aide à l'évaluation des idées par application de critères. Dans le processus collaboratif de créativité, la finalité de la phase d'évaluation est d'aboutir à une sélection des idées qui ont un intérêt afin d'être plus amplement développées. Cette évolution d'une idée vers un projet de développement implique des investissements financier et humain, de fait la décision doit être réalisée en connaissance de cause et de manière mesurée. Ceci requiert la mise en œuvre de critères. Selon les critères, les évaluateurs et le mode d'évaluations, le traitement des données issues de l'évaluation est différent et aboutit à des résultats différents. Ce sont autant de paramètres que l'agent computationnel au sein du système multi-agents doit considérer pour aider la sélection de la méthode de traitement des données à appliquer.

Chapitre 8 – Traitement sémantique des idées. L'évaluation des idées par l'évaluation de critères de manière explicite est intéressante pour faire un choix rationnel mais devient chronophage et énergivore voire quasi impossible selon la quantité d'idées. Du coup, comment déterminer les idées qui vont être évaluées ? En somme comment déterminer les idées avec suffisamment de potentiel pour dépenser du temps à les évaluer ? Cela nécessite de faire du traitement assisté de données pour fournir une liste d'idées à évaluer. La difficulté est que les idées n'ont aucun discriminant quantitatif pour le traitement automatique, cela nécessite de comprendre le contenu et le sens de l'idée. Ce chapitre expérimente des méthodes d'analyses lexicales et sémantiques pour avoir une liste d'idées à fournir aux évaluateurs. Les perspectives de ce traitement sémantique des idées est double, la cartographie des idées par similarité, la comparaison des idées aux éléments de problème et de contexte pour déterminer le degré de banalité ou d'originalité de l'idée.

Les travaux de recherches qui sont présentés dans ce manuscrit au travers des différents chapitres sont autant de pistes qui pourront être approfondies lors de recherches ultérieures. La perspective de cette thèse n'a pas été d'approfondir un aspect technique ou conceptuel spécifique mais de proposer une approche globale structurante et cohérente de conception d'un système support à la créativité. Une des limites majeures de ces travaux est de ne pas avoir validé ou confronté les différentes contributions proposées notamment la modélisation organisationnelle du processus de créativité, le modèle du SMA, l'ontologie d'un atelier de créativité. En ce qui concerne l'évaluation des idées par analyse multicritère ou par analyse sémantique, toute deux ont été expérimentées mais admettent des limites dans l'approche de validation. La perspective majeure de ce travail de recherche est de développer le SMA et de l'expérimenter en situation avec l'ontologie pour valider l'intérêt de la technologie et son approche pour conception dans l'aide à la créativité. Bien entendu pour atteindre un haut degré d'assistance, de plus amples recherches devront être réalisées concernant les fonctionnalités des autres agents que celui d'aide à l'évaluation des idées.

Partie I

Positionnement

2. Ingénierie des connaissances pour concevoir une architecture multi-agents dédiée au processus collaboratif de créativité

Table des Matières du Chapitre 2

2.1. Résolution de problèmes, innovation et créativité.....	17
2.1.1. La résolution de problèmes.....	17
2.1.2. L'innovation.....	18
2.1.3. La créativité.....	20
2.1.4. Collaboration.....	23
2.2. Ingénierie des connaissances.....	25
2.2.1. Modélisation du traitement des connaissances.....	27
2.2.2. Représentation des connaissances.....	28
2.3. Conception du système support selon le paradigme agent.....	31
2.3.1. La notion d'agent.....	32
2.3.2. Le système multi-agents.....	33
2.3.3. Le paradigme agent, l'alternative au paradigme orienté objet.....	35
2.3.4. Ingénierie des connaissances pour un système support à la créativité.....	35
2.4. Conclusion.....	36

La créativité est un processus complexe qui implique un grand nombre de facteurs d'influence connus ou non avec de multiples corrélations qui sont également plus ou moins connues (Anderson et al., 2014). Cette complexité est due aux différents concepts qui se rattachent à la notion de créativité. De multiples niveaux d'analyses existent selon la définition que l'on donne à la créativité et les concepts qui y sont associés. Le phénomène de créativité est un phénomène enraciné dans un contexte socio-culturel, c'est-à-dire que sa manifestation est liée aux connaissances d'un individu mais elle est aussi conditionnée par la collectivité (Perkins, 1988 ; Bonnardel, 2006). La créativité est un processus individuel et cognitif, de restructuration des connaissances de l'individu, et collaboratif, d'échange et de confrontation des connaissances, le tout contraint par un environnement social. Qu'il soit individuel ou collectif, le processus de créativité est associé à la notion de connaissances. Pour aborder la question de la gestion des connaissances dans le cadre d'un processus collaboratif de créativité, la perspective adoptée est celle de l'ingénierie des connaissances. L'objectif de ce chapitre est de présenter le cadre théorique dans lequel s'inscrivent nos travaux, notamment concernant la créativité et l'innovation, mais également concernant l'adoption d'une approche d'ingénierie des connaissances pour la conception du système support à la créativité. La première section de ce chapitre présente le positionnement de ces travaux de recherche sur les notions d'innovation, de créativité et de collaboration avant d'aborder les notions d'ingénierie des connaissances et de système multi-agents.

2.1. Résolution de problèmes, innovation et créativité

L'innovation, la conception (du terme anglais « design ») et la créativité sont souvent traitées indifféremment. Bien que ces concepts soient liés, ils ne signifient pas exactement la même chose. Ces concepts sont également liés entre eux par la notion de résolution de problèmes et de flexibilité cognitive associée à la résolution de problèmes (Clément, 2006). La flexibilité n'est pas seulement un changement de procédure mentale mais aussi un changement de représentation du problème. Cette même flexibilité est une composante de la pensée créative (Lubart, 2001). La notion de résolution de problèmes se trouve régulièrement associée aux notions d'innovation, de créativité ou de conception comme par exemple « creative problem solving », « innovative problem solving », « inventive problem solving », et une multitude d'autres combinaisons. La créativité et l'innovation sont d'une certaine manière une démarche particulière de résolution créative de problème. Avant d'approfondir la notion de créativité telle qu'elle peut être décrite dans la littérature, il est intéressant d'avoir un aperçu de l'articulation de ces différentes notions.

2.1.1. La résolution de problèmes

La résolution de problèmes est un phénomène/processus cognitif personnel et orienté objectif (Mayer, 1999). Un problème se produit lorsqu'une personne possède un objectif mais ne sait pas comment le réaliser (Ward, 2012). En raison des différences d'expertises, de connaissances et d'expériences entre les individus, une situation peut être identifiée comme problématique par certaines personnes et ne pas l'être par d'autres. Une personne qui s'engage dans la résolution d'un problème, s'engage dans un processus psychique qui consiste à appliquer un ensemble d'opérations sur la connaissance possédée par cette même personne (Mayer, 1999) dans le but de trouver une solution au problème. Cette résolution, c'est-à-dire le changement de procédure mentale et/ou de représentation, est plus ou moins consciente. Cela peut impliquer d'organiser la recherche de solutions au travers de diverses activités. Ces activités et les connaissances manipulées durant ces

activités dépendent du type de problème résolu. Il en existe deux types : les problèmes correctement définis et les problèmes mal définis. Les problèmes correctement définis sont caractérisés par une situation claire, un objectif clair et une démarche connue pour atteindre cet objectif. La résolution de ce type de problème ne nécessite pas une grande flexibilité cognitive. À l'inverse, un problème mal défini possède une situation, des objectifs et/ou une démarche partiellement explicités et/ou ambigus.

Un grand nombre de situations qui nécessitent un comportement créatif peuvent être qualifiées de situation de résolution de problèmes. Pour autant, toutes les activités de créativité ne sont pas de la résolution de problèmes et inversement, toutes les situations de résolution de problèmes ne sont pas créatives (Ward, 2012). La différence réside dans la distinction du problème. Il peut être défini comme routinier ou créatif. Un problème routinier est une situation pour laquelle le solutionneur possède déjà une démarche de résolution fondée sur son expérience de problèmes similaires. À l'inverse, un problème créatif est une situation où le solutionneur doit créer une nouvelle manière de résoudre le problème. Dans l'optique de résoudre un problème, le solutionneur peut aborder intellectuellement le problème de deux manières distinctes : une pensée productive et une pensée reproductive. Le premier mode de pensée consiste à créer une nouvelle méthode de résolution lors de la résolution d'un problème. Le second est la reproduction d'une méthode déjà expérimentée lors de la résolution de problèmes antérieurs. Selon le type de problème, l'un des modes de pensée est plus adapté que l'autre. Indépendamment de l'approche intellectuelle adoptée par le solutionneur ou du type de problème, la résolution du problème est structurée en deux phases générales : la représentation du problème et la résolution du problème (Mayer, 1999). Chacune de ces phases peuvent être décomposées, la première phase est constituée de sous-phases telles que la traduction (translating) et l'intégration (integrating) du problème. La phase de résolution est, quant à elle, composée de la planification (planning), de l'exécution (executing) et du suivi (monitoring) (Mayer, 1999). Cette décomposition est similaire au processus décrit par le modèle IDEAL de Bransford : (1) Identifier le problème, (2) Définir et représenter le problème, (3) Explorer les stratégies de solutions possibles, (4) Appliquer la stratégie de résolution et (5) Evaluer et réviser la solution (Li et al., 2007).

Le processus de résolution de problèmes constitue le cadre intellectuel général de la conception et de l'innovation. On peut donc dire que la conception est une résolution de problèmes routiniers ou créatifs avec une méthode de résolution originale ou adaptée. D'un autre côté, l'innovation sera considérée dans ces travaux comme une résolution de problèmes créatifs dont le degré dépend du mode de pensée adopté. Ainsi, l'innovation est également une forme de processus de développement ou de conception selon les termes de Tidd and Bessant (2009). Le défi est de trouver la stratégie de résolution adaptée en adoptant le mode de pensée qui permettra d'atteindre l'objectif ou la situation visée en fonction du type de problème et de ses informations.

2.1.2. L'innovation

Comme cela a été énoncé précédemment, l'innovation est le résultat d'une résolution de problèmes qui tend à atteindre un objectif final plus ou moins bien défini. Cette résolution implique la création de nouvelles connaissances, tant pour la méthodologie de résolution, qu'elle soit inspirée ou originale, que pour les idées et leur implémentation (Anderson et al., 2014). Bien que l'innovation suive, de manière générale, le processus de résolution de problèmes, la notion d'innovation est plus spécifique. Une innovation est définie comme l'acceptation et la diffusion avec succès d'un nouveau

produit, processus ou service en fonction, d'une part, de la valeur perçue par les différents acteurs économiques (consommateur, utilisateur...), d'autre part, de la différenciation aux solutions existantes (Tidd and Bessant, 2009). La capacité d'une organisation à produire des innovations est la capacité à identifier des liens, à découvrir des opportunités et à en tirer profit pour obtenir un avantage concurrentiel (Tidd and Bessant, 2009). Il n'y a pas une innovation mais de multiples innovations selon leur type (innovation de produit, innovation de procédé, innovation de position, innovation de modèle, innovation technologique ou innovation marketing) (Garcia and Calantone, 2002; Tidd and Bessant, 2009), leur portée (échelle micro ou macro), et leur radicalité (incrémentale, réellement nouvelle, ou radicale) (Garcia and Calantone, 2002). Ces innovations peuvent être initiées et influencées selon différents niveaux : le niveau des individus, le niveau des équipes et le niveau de l'organisation (West and Rickards, 1999). D'un point de vue processus, l'innovation est le traitement de connaissances (Tidd et al., 2005) pour permettre plus de créativité (Howard et al., 2008). L'innovation étant une approche de conception particulière, le processus d'innovation peut être décrit comme un processus général de conception c'est-à-dire quatre étapes : exploration, idéation, co-création, expérimentation (Brown, 2008). Ce processus intègre la notion de génération d'idées qui est l'une des activités de base du processus d'innovation avec l'activité de gestion des idées (Murah et al., 2013). L'activité de génération d'idées consiste à produire des idées de solutions pour résoudre le problème, tandis que la gestion des idées concerne l'archivage, l'évaluation, le filtrage pour la réutilisation des idées. En considérant le processus d'innovation comme la mise en œuvre d'idées issues d'un phénomène de créativité (West and Rickards, 1999), la seconde activité principale est l'implémentation des idées. Cette vision de l'innovation interne à une organisation et les pratiques associées sont en train d'évoluer.

2.1.2.1. *L'innovation ouverte change les pratiques de créativité*

La manière dont l'innovation est mise en œuvre dans certaines organisations peut être considérée comme verticale, car elle est le résultat d'un processus interne à l'organisation impliquant uniquement quelques personnes (Carbone et al., 2012). Depuis quelques années, l'innovation dans les organisations a tendance à « s'horizontaliser », c'est-à-dire qu'elle s'élargit au-delà du niveau stratégique, du service R&D ou du service marketing, jusqu'à parfois dépasser les limites de l'organisation. Ce principe a été théorisé sous le terme d'innovation ouverte (Chesbrough, 2004). L'évolution des technologies et notamment l'avènement des technologies de l'information et de la communication (TIC) changent les pratiques et les paradigmes (West and Rickards, 1999). Une pratique permise par les TICs et dont la popularité dans les organisations n'a fait que de s'accroître ces dernières années est celle des « challenges d'innovation » ou « innovation contest » (Adamczyk et al., 2012). Le challenge d'innovation est généralement défini comme une compétition, limitée dans le temps et informatisée, organisée par une organisation ou un individu appelant au grand public ou à des groupes cibles spécifiques pour faire usage de leurs expertises, leurs compétences et leur créativité dans le but de soumettre des solutions à un problème défini par un commanditaire en quête de solutions innovantes (Adamczyk et al., 2012). Selon le mode de gouvernance (horizontal ou hiérarchique) et l'ouverture aux participants (ouvert ou restreint) (Pisano and Verganti, 2008), la manière de mettre en œuvre un challenge d'innovation diffère. Dans le cas d'une participation ouverte, le challenge d'innovation peut être qualifié d'externalisation ouverte¹, de production

¹ Externalisation ouverte : http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=45436

participative² ou crowdsourcing en anglais (Poetz and Schreier, 2012). La nature des résultats attendus de la part des participants peut varier d'une simple idée à une solution plus approfondie dépendamment de l'ouverture ou la spécificité du problème à résoudre et de l'objectif du challenge (Piller and Walcher, 2006). Diverses entreprises du secteur industriel ont expérimenté les challenges d'innovation comme Adidas, Salomon, O'neill, Procter & Gamble, BMW, Volvo, Starbucks, IBM, Dell, Microsoft, Siemens (Piller and Walcher, 2006 ; Adamczyk et al., 2012 ; Elerud-Tryde and Hooge, 2014). Au-delà d'externaliser la résolution de certains problèmes en dehors des frontières de l'entreprise, certaines entreprises sous-traitent l'organisation de ces challenges sur des plateformes spécialisées comme InnoCentive³, OpenIdeo⁴, Babele⁵, Desall⁶ ou Atizo⁷. Ces systèmes ont le mérite d'opérationnaliser et d'apporter un support technique à l'organisation et au déroulement d'un challenge d'innovation mais ne sont pas forcément adaptés pour favoriser la créativité individuelle et collective. Si ces systèmes accompagnent l'innovation ouverte, cela ne fait pas d'eux des systèmes adaptés pour accompagner la créativité nécessaire pour produire les idées d'innovation.

2.1.3. La créativité

Que cela soit la résolution de problèmes, la conception ou l'innovation, toutes ces notions impliquent des phénomènes de créativité. Si l'innovation concerne la mise en œuvre et la diffusion de l'idée, la créativité traite de la génération des idées (Anderson et al., 2014). En termes de définition de la créativité, il n'y a pas de consensus absolu. Celle-ci dépend de l'approche, du domaine d'étude et de la conviction des auteurs. Dans le domaine de la résolution de problèmes et de la créativité appliquée à des problèmes techniques et industriels, la notion de nouveauté adaptée (adaptive novelty) (Perkins, 1994) est certainement ce qu'il y a de plus répandu. Ainsi, la créativité est la capacité à produire des idées nouvelles et adaptées (Lubart, 2003), ou encore la capacité à produire quelque chose d'originale et d'appropriée à un contexte (Howard et al., 2008). Dans le domaine de la conception, la définition de la créativité est également basée sur la nouveauté, l'inattendu et la valeur (Sun and Yao, 2012). En d'autres termes, la créativité est un équilibre entre la nouveauté et l'utilité (West and Sacramento, 2012 ; Puccio and Cabra, 2012) ou la pertinence (Howard et al., 2008 ; Zeng et al., 2011) d'un concept qui est atteint par l'utilisation de connaissances existantes (Ogot and Okudan, 2007).

2.1.3.1. Les multiples aspects de la créativité

La notion de créativité possède de multiples aspects. Elle peut être perçue comme un ensemble de divers attributs d'un individu (Sternberg, 2005). Certains auteurs défendent que la créativité est une question de valeur et de personnalité plutôt qu'une question de compétences, alors que d'autres auteurs défendent l'inverse (Perkins, 1988). Pour autant, la créativité semble nécessiter certaines habilités cognitives (Lubart, 2001) : sensibilité aux problèmes, capacité à produire beaucoup d'idées

² Production participative

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=?cidTexte=JORFTEXT000029331922&dateTexte=&oldAction=dernierJO&categorieLien=id>

³ Innocentive : <http://www.innocentive.com/>

⁴ OpenIdeo : <https://openideo.com/>

⁵ Babele : <https://babele.co/>

⁶ Desall : <http://www.desall.com/>

⁷ Atizo : <https://www.atizo.com/>

(fluency), habilité de passer d'un état mental à un autre (flexibility), habilité à réorganiser les connaissances, habilité à supporter la complexité, et l'habilité à évaluer. Ainsi, comme avec la notion d'innovation, la créativité peut être perçue selon différents points de vue (Sternberg, 2005) : comme une compétence cognitive (processus de traitement de l'information), comme une production observable (artefact) ou encore comme une production sociale. Ces perspectives peuvent être dépendantes ou indépendantes du domaine (Sternberg, 2005). De la même manière, la créativité peut être considérée comme la combinaison de trois facteurs (West and Sacramento, 2012) : les compétences liées au domaine c'est-à-dire les connaissances factuelles et l'expertise dans un domaine, les compétences liées à la créativité c'est-à-dire la stratégie de réflexion et le style cognitif qui influence la production d'idées, et la motivation intrinsèque qui représente le véritable intérêt d'une personne pour une activité. Selon la théorie de l'investissement (Sternberg, 2005), la créativité est caractérisée par six ressources dépendantes : les capacités intellectuelles, les connaissances, les types de pensée, la personnalité, la motivation, et l'environnement. L'ensemble de ces caractéristiques de la créativité peuvent être structurées selon différents points de vue (Mumford, 2012) : individuel, collectif et organisationnel.

- Au niveau individuel, les facteurs d'influence les plus souvent cités sont l'expertise d'un domaine particulier, la motivation et les capacités cognitives (Damanpour et Aravind, 2012). Les capacités cognitives comprennent la facilité à gérer des problèmes ouverts, les processus cognitifs personnels établis pour produire des idées, et même l'expérience personnelle. Ces facteurs peuvent même être subdivisés en trois classes : le système dynamique qui permet la réalisation d'activités créatives (motivation, personnalité, intelligence, type de pensée et comportement créatif) ; le système de fondation qui conditionne l'exécution d'activités créatives (qualité de l'éducation, environnement structurel, économie intérieure et conditions matérielles) ; et le système de ressources, qui décrit les ressources nécessaires pendant un processus de création (la connaissance, l'information liée au problème, et les outils technologiques).
- Du point de vue collectif, l'accent est mis sur l'interaction d'individus aux caractéristiques différentes au sein d'un groupe et l'impact que cela a sur la créativité. Cet aspect est directement lié à la question de la coopération et la collaboration. Lors de dynamique de créativité collective, il y a trois grands phénomènes connus : le blocage de production d'idées (production blocking), la peur du jugement, et la « paresse sociale » (social loafing) (Warr and O'Neill, 2005 ; Ray and Romano Jr, 2013). Le blocage de production d'idées est la suspension d'un raisonnement ou la perte d'une idée en raison de l'impossibilité de prendre la parole. La peur du jugement est l'autocensure par peur de se dévoiler et de ne pas répondre aux attentes des autres. Enfin la paresse sociale qui consiste à ne pas contribuer à la dynamique de groupe.
- Le point de vue organisationnel aborde la question de l'intégration d'aspects favorisant la créativité dans la gestion et le fonctionnement quotidien d'une organisation. Cela implique la diversité des acteurs, leurs connexions, la confiance qui leur est allouée, la collaboration et le travail d'équipe, et la perméabilité et la flexibilité de l'organisation (Hemlin et al., 2008). Il faut donc gérer en conséquence les processus, la culture de l'organisation, la gestion des communications et des connaissances (Damanpour et Aravind, 2012). Un exemple de pratique organisationnelle est d'allouer du temps aux individus pour faire des activités qui ne font pas partie de leur mission quotidienne (Harvey et al., 2013).

L'ensemble de ces aspects constitue un système complexe qui mène à une production créative uniquement dans certaines circonstances. Selon un point de vue systémique de la créativité (Csikszentmihalyi, 1999), celle-ci est influencée à de multiples niveaux par de nombreux aspects et facteurs. Ce qui se passe dans ce système peut être vu comme des processus individuel, collectif, et organisationnel que nous aborderons par la suite.

2.1.3.2. *Processus de créativité*

Historiquement considéré comme un phénomène ex-nihilo (Perkins, 1988), c'est-à-dire la manifestation d'un phénomène sans explication et émergeant de rien, la perception de la créativité a évolué vers une approche évolutionniste. La manifestation du phénomène de créativité est devenue inévitable dans des conditions données (Perkins, 1988). Ainsi, la créativité n'est plus un phénomène subi mais un phénomène conditionné voire maîtrisé et provoqué. La créativité est une séquence de pensées et d'actions qui aboutissent à une production nouvelle et adaptée (Lubart, 2001). Cette séquence de pensées est assimilable à une exploration de l'espace des possibles induit par le problème à résoudre. Cet exercice mental d'exploration des possibles est confronté à des difficultés de différentes natures : un *problème de rareté*, un *problème d'isolation*, un *problème d'oasis*, et un *problème de plateau* (Perkins, 1994). Le problème de rareté est une combinaison d'idées qui ne sont pas forcément viables dans l'espace des possibles défini par le problème. Le problème d'isolation peut être représenté de manière imagée par des poches d'idées isolées les unes des autres dans l'espace des possibles. De manière similaire, le problème d'oasis constitue une poche d'idées difficile à ignorer pour explorer le reste de l'espace des possibles. Finalement, le problème de plateau est le manque de directions attrayantes et prometteuses pour orienter l'exploration de l'espace (Perkins, 1994). La créativité et son processus possèdent différentes perspectives d'analyse (Mumford, 2012) : individuelle, collective et organisationnelle. La perspective individuelle de la créativité est principalement cognitive. Cette perspective de la créativité peut être considérée comme étant une combinaison de traits psychologiques et d'un processus mental qui aboutit à la production de résultats créatifs (Perkins, 1988). Les premiers modèles concernant la créativité telles que le modèle Helmholtz-Poincaré-Getzels (Lubart, 2003) ou le modèle de Wallas (Ogot and Okudan, 2007) introduisent les notions d'incubation et d'illumination (insight), c'est-à-dire un traitement plus ou moins inconscient des connaissances associées au problème avant l'émergence inattendue de la solution. Le processus créatif individuel est d'une certaine manière un processus non linéaire de création de connaissances selon différents mécanismes cognitifs (Gero and Kannengiesser, 2004). D'autre part, la perspective collective de la créativité ne considère plus l'individu seul dans son environnement à attendre l'illumination mais au contraire considère les interactions sociales et l'environnement impactant la créativité. Cette perspective met l'accent sur la confrontation des idées et des modes de raisonnement différents. Bien que les techniques de créativité soient autant individuelles que collectives, les techniques collectives favorisent la création des conditions pour que les individus échangent et changent de point de vue et de raisonnement. C'est notamment le cas du brainstorming et du Creative Problem Solving, créés par Alex Osborn (Osborn, 1963). D'une certaine manière, les techniques de créativité ont l'avantage de structurer les échanges entre les individus selon des étapes. Cette structuration est également intéressante du point de vue organisationnel, cette décomposition en étapes devient donc un outil managérial qui fournit une vision globale de la créativité pour l'intégrer dans le pilotage de l'organisation.

La littérature propose un grand nombre de variantes de ce qui est qualifié de processus de créativité avec des variations selon le nombre d'étapes et le degré de détail (Nemiro, 2004 ; Howard et al., 2008 ; Seidel, 2011 ; Sawyer, 2012 ; Salerno et al., 2015). Globalement les notions sous-jacentes à ces étapes sont similaires. Selon une revue de la littérature concernant les processus de créativité en ingénierie et en psychologie (Howard et al., 2008), ils peuvent être représentés en quatre phases itératives, et surtout non linéaires : analyse du problème, génération des idées, évaluation des idées et mise en œuvre/communication. Bien que ces étapes illustrent globalement l'atelier de créativité, cela n'explique ni les raisons de l'occurrence du phénomène, ni le déroulement détaillé en terme d'échanges d'informations. Si un processus est constitué d'activités et de résultats (Holt and Perry, 2008) dans les limites d'une organisation qui est composée de personnes et d'équipements (facility), la majorité des processus de créativité ne sont qu'une suite d'étapes. L'établissement d'un processus ne peut se faire que dans une organisation définie. De ce point de vue, une approche organisationnelle, c'est-à-dire de modélisation des interactions des individus, peut répondre à la formalisation d'un processus de créativité tel qu'on l'entend dans le domaine des systèmes d'informations.

2.1.4. Collaboration

Si historiquement, la créativité était étudiée d'un point de vue individuel, la perspective collective, et de fait collaborative, devient de plus en plus importante à l'heure actuelle. La collaboration devient une norme dans le fonctionnement des organisations. Dans le domaine de la recherche, une analyse historique de 45 ans de productions scientifiques confirme cette augmentation de la collaboration (Sawyer, 2012). Ceci est notamment dû à l'augmentation de la complexité des problèmes à résoudre en recherche et certainement dans les autres domaines. C'est d'ailleurs pour cette raison que la créativité collective, intégrant plus de points de vue et d'expertise, est plus pertinente que la créativité individuelle (Sawyer, 2012). Pour autant, pour obtenir une dynamique créative, il est nécessaire de créer un processus pertinent de créativité collective (team creativity relevant process) (Taggar, 2002). Un groupe est plus créatif que des individus isolés à condition que les membres de l'équipe travaillent ensemble depuis un certain temps, mais surtout qu'ils partagent certaines conventions, et possèdent des connaissances en commun (Sawyer, 2012). La créativité comme phénomène collectif implique donc des dynamiques de collaboration voire de coopération.

2.1.4.1. *Fondement et principe*

Le travail collaboratif, la pratique collaborative ou simplement la collaboration désignent une modalité d'action qui s'inscrit explicitement dans une dynamique d'action collective, dès lors que le travail individuel ne permet pas d'atteindre le résultat escompté (Levan and Vickoff, 2004). L'étymologie du terme collaboration renvoie à « travailler avec » alors que celle de coopérer désigne plutôt « travailler ensemble ». La coopération tient compte de plusieurs paramètres qui dépassent la collaboration. Deux personnes peuvent collaborer pour s'assister dans la réalisation d'une tâche déterminée sans pour autant partager le même objectif. La collaboration peut être assimilée à une aide spontanée sans attente de récompense ou sans conscience de l'acte de coopération (Boughzala, 2007). La nécessité d'un travail coopératif et collaboratif émerge d'une interdépendance des acteurs dans la réalisation de leur tâche et requiert une coordination de ces acteurs. Les acteurs doivent non seulement communiquer pour se coordonner, mais également pour échanger et construire des connaissances communes. La coordination et les connaissances communes permettent de diminuer

les contraintes qui pèsent sur la réalisation de l'objectif commun. La collaboration ou la coopération possède trois niveaux de profondeur : la communication, la coordination et la résolution collective de problèmes. La coordination implique la communication des individus tandis que la résolution collective du problème, c'est-à-dire la co-production de connaissances par la réalisation de tâches conjointes, implique au préalable la communication et la coordination. Quel que soit le niveau, les conditions essentielles de la réussite d'une collaboration ou d'une coopération sont la confiance et un référentiel partagé entre les personnes (Boughzala, 2007). D'un point de vue opérationnel, la collaboration peut être représentée comme un processus cyclique qui enchaîne différents sous-processus (Boughzala, 2007) :

- La co-analyse qui consiste à diagnostiquer collectivement une situation et construire un référentiel cognitif.
- La co-définition qui est une suite d'interactions collectives pour formuler l'objectif du groupe et construire une vision partagée.
- La co-réalisation, co-conception ou encore co-production est l'établissement et la réalisation d'un plan d'actions pour atteindre l'objectif défini par le groupe.
- La co-évaluation est le suivi de la réalisation de l'objectif par l'évaluation collective et la correction des résultats.

Ces sous-processus sont finalement très proches des étapes du « processus » de créativité présentées précédemment (section 2.1.3.2). À l'instar de la créativité, la collaboration et la coopération dépendent d'aspects individuels (expériences, expertises...), collectifs (mode de travail, leadership...), et organisationnels (type d'entreprise, limite de l'organisation...), mais également technologiques (support à la communication, support à la coordination...) (Boughzala, 2007). D'une certaine manière, la collaboration peut être perçue comme autant de verrous qu'il faut débloquer pour atteindre l'objectif visé. Nemiro et ses collègues (2008) suggèrent cinq catégories de verrous :

- Les limites individuelles (sexe « gender », âge, langue, origine, idéologie, éthique...)
- Les limites spatiales (fuseau horaire, distance, politique, économie, culture...)
- Les limites techniques (différent standard, langage technique...)
- Les limites applicatives (compréhension de la tâche, différences de compétences, différence de ressources...)
- Les limites organisationnelles (culture de l'organisation, propriété intellectuelle, distribution des responsabilités, mode hiérarchique...)

Ainsi, le potentiel créatif d'une équipe dépend de la capacité des membres à débloquer les verrous à la collaboration (Nemiro et al., 2008). L'effort à la collaboration en termes de temps et d'énergie est d'autant plus important que la distance et les différences culturelles ont tendance à séparer les membres d'une équipe. Afin de réduire les efforts à fournir, ainsi que de débloquer les verrous à la collaboration, cette collaboration peut être supportée par des systèmes d'informations connus sous divers noms tels que groupware, knowledge and collaboration technology, systèmes d'informations collaboratif ou encore technologies de la connaissance et de la collaboration (Boughzala, 2007).

2.1.4.2. *Collaboration supportée par logiciel*

Le travail collaboratif fait de plus en plus appel aux Technologies de l'Information et de la Communication. Aujourd'hui, que cela soit pour un simple échange d'information ou pour la

résolution collective de problèmes avec un système d'aide à la décision en groupe, il est question de travail collaboratif médiatisé (Boughzala, 2007). Cette médiatisation de la collaboration, en plus d'atteindre les objectifs de collaboration usuelle, permet de remédier aux contraintes spatio-temporelles (Nemiro et al., 2008), d'améliorer l'accès et le partage des informations et des connaissances, de réduire les coûts (optimisation du temps de travail et des déplacements, rationalisation du processus), et de réduire les délais grâce à une meilleure efficacité. La notion de groupware introduite à la fin des années 70, a d'une part mis clairement en avant les dimensions humaines et organisationnelles, et d'une autre part, les dimensions technologiques (Saadoun, 1996 ; Boughzala, 2007). Les groupwares constituent une classe d'application informatique ayant trois caractéristiques fondamentales : la facilité de communication, la coordination des actions des membres du groupe et la production collaborative entre les membres d'un groupe (Boughzala, 2007). Les groupwares ou Group Support System (GSS) sont des suites logicielles constituées de plusieurs outils pour focaliser et structurer les délibérations d'une équipe afin de réduire la charge cognitive liée à la communication et à l'accès à l'information, mais également réduire les distractions parmi une équipe lors de la réalisation d'un objectif défini (Briggs et al., 2003). En d'autres termes, ces logiciels permettent aux utilisateurs de mieux maîtriser la complexité par la réalisation d'activités communes, qu'elles soient synchrones ou asynchrones, et apportent un environnement partagé.

L'innovation est le secteur qui bénéficierait le plus de l'introduction des outils de collaboration (Platt, 2007) dans les entreprises. Ces outils sont d'autant plus importants que l'évolution des démarches d'innovation avec notamment l'innovation ouverte implique des collaborations accrues tant internes qu'externes. Il est donc nécessaire d'avoir des supports non seulement dédiés à la collaboration mais également à l'innovation (Reinhardt et al., 2012) et à la créativité. Que cela soit pour la créativité, la résolution de problèmes ou la collaboration, les trois impliquent la manipulation et la création de connaissances. Le domaine de l'ingénierie des connaissances apporte des éléments de réponses pour la conception d'un système support à la créativité collaborative prenant en compte les connaissances utiles aux créatifs. Nous introduisons ce domaine de recherche dans la section suivante.

2.2. Ingénierie des connaissances

La créativité est considérée comme un processus intellectuel de création et d'application de nouvelles connaissances (Gurteen, 1998). Cette création de connaissances peut être représentée par la spirale SECI (Socialisation, Externalisation, Combination et Internalisation) qui fait évoluer les connaissances entre le tacite et l'explicite et entre le collectif et l'individuel (Nonaka and Takeuchi, 1995). Dans une optique de gérer la créativité collaborative, la gestion des connaissances devient essentielle tant du point de vue de la collaboration, que de la créativité. La gestion des connaissances peut être définie comme la gestion consciente, coordonnée et opérationnelle de l'ensemble des informations, connaissances et savoir faire des membres d'une organisation au service de cette organisation (Tisseyre, 1999). Cela permet de favoriser la croissance, la transmission et la conservation des connaissances dans l'organisation (Boughzala, 2007). La gestion des connaissances comprend toutes les actions managériales visant à répondre à la problématique de capitalisation des connaissances dans son ensemble (Zacklad and Grundstein, 2001). La gestion du patrimoine de connaissances d'une organisation s'articule autour de trois points-clés : capitaliser, partager, et créer. Cela nécessite la maîtrise de la gestion des organisations orientée plus spécifiquement sur les outils technologiques (Zacklad and Grundstein, 2001). L'ingénierie des connaissances (IC) consiste à étudier des concepts, des méthodes et des techniques permettant de modéliser et/ou d'acquérir les

connaissances pour des systèmes réalisant ou aidant des humains à réaliser des tâches se formalisant a priori peu ou pas (Charlet et al., 2000). En d'autres termes, l'ingénierie des connaissances vise principalement à construire un système d'informations pour la capitalisation des connaissances (Zacklad and Grundstein, 2001). L'objectif est d'instrumenter l'exercice de la pensée et de permettre l'accès aux connaissances, leur élaboration et leur appropriation (Bachimont, 2007). Il y a deux postures possibles en IC : modéliser l'exercice de la pensée pour la reproduire artificiellement (intelligence artificielle) ou bien manipuler (calculatoirement) les connaissances du domaine de pratique d'un utilisateur qui sait comment les interpréter et les intégrer dans son raisonnement. Autrement dit, « le système informatique n'est pas un modèle de la pensée, mais un modèle utile pour la pensée qui trouve son exercice transformé et rendu possible par l'usage de ce modèle » (Bachimont, 2007). L'approche de l'IC dans le cadre de la conception d'un système support à la créativité se positionne donc dans cette perspective.

Tout système complexe (une organisation, une entreprise ...) peut être représenté par trois sous-systèmes : le système opérant (O) qui transforme les flux entrants en flux sortants, le système de décisions (D) ou de pilotage, et le système d'informations (I). Le système opérant et le système de décisions interagissent au travers du système d'informations. L'ensemble des connaissances propre à chacun de ces systèmes constitue le patrimoine des connaissances ou système des connaissances (K)(Zacklad and Grundstein, 2001). Selon la structure de l'organisation, les acteurs du système de décisions peuvent être les mêmes que ceux du système opérant, ainsi les acteurs forment un réseau en relation avec un système d'informations par des flux d'informations. Le patrimoine de connaissances est constitué des connaissances du réseau d'acteurs et des interactions de celui-ci avec le système d'informations (Zacklad and Grundstein, 2001). Le système d'informations est à distinguer du système informatique. Un système d'informations est défini comme la partie réelle constituée d'informations organisées et d'acteurs qui agissent sur ces informations ou à partir de ces informations, selon des processus visant une finalité de gestion et utilisant des technologies de l'information. Le système informatique est le matériel qui permet le fonctionnement du système d'informations (Ulmer, 2011). L'IC cherche donc à concevoir un système d'informations par l'identification du fonctionnement des réseaux d'acteurs qui constituent une organisation.

Pour aboutir à la conception d'un système d'informations capable d'impacter les capacités d'une organisation, il faut déterminer quelles sont les connaissances nécessaires pour traiter les problèmes qu'elle tente de résoudre ou les tâches qu'elle effectue, et définir comment les rendre exploitables informatiquement (Bachimont, 2007). Les questions de modélisation et de formalisation des activités sont donc cruciales. D'un côté, il est nécessaire de représenter le traitement du problème par sa modélisation pour ainsi formaliser les connaissances liées à la résolution, de l'autre, ces connaissances doivent être organisées et codifiées pour être manipulables informatiquement. La finalité est de proposer un outil pour résoudre ou soutenir des individus lors de la résolution d'un problème selon l'approche de résolution modélisée. Dans la sous-section suivante, il est question de la modélisation tandis que la sous-section d'après abordera la question de la représentation organisée et codifiée des connaissances de manière interprétable, en l'occurrence la question des ontologies concernant l'innovation et la créativité.

2.2.1. Modélisation du traitement des connaissances

La modélisation est la construction d'une représentation d'une réalité dont elle exprime certaines caractéristiques et en ignore d'autres (Bachimont, 2007). L'objectif de la modélisation est de permettre une meilleure compréhension des mécanismes participant au fonctionnement des organisations et de ses constituants. Il y a trois concepts communément utilisés dans les différentes méthodologies et formalismes de modélisation : l'organisation, l'activité, et le processus. Une organisation est une construction sociale issue de l'interaction d'individus dans le but d'atteindre un objectif. Pour atteindre cet objectif, l'organisation définit des processus. Un processus est donc un ensemble d'activités reliées entre elles par des flux d'informations ou de matières qui se combinent pour fournir un produit matériel ou immatériel (Lorino, 2003). Une activité est une transformation, au cours du temps et selon un objectif défini, d'entrants en extrants tout en respectant les contraintes extérieures et en mobilisant différentes ressources. L'activité est constituée d'un ensemble de tâches réalisées par un individu ou un groupe d'individus (Vernadat, 2002 ; Lorino, 2003). Ces concepts se trouvent au cœur de toute modélisation de système que cela soit une entreprise, plus généralement une organisation, ou un système d'informations (Boughzala, 2007). Les notions de processus et d'activités permettent de décrire une organisation selon trois dimensions principales (Girodon, 2015) :

- Statique ; décrivant les données du système, les associations de données, les contraintes et les opérations associées.
- Dynamique ; décrivant les événements survenant dans le système et les changements d'état.
- Fonctionnelle ; décrivant les flux d'informations au sein du système, les processus qui les transforment et les ressources mobilisées.

Ces trois perspectives de représentation des organisations permettent de mettre en évidence leur structure, leurs processus, les événements, les entités qui la composent et les interactions. Modéliser une organisation revient à analyser, découper, et structurer son processus pour l'évaluer, l'améliorer et l'optimiser dans le but de le contrôler, de le concevoir et de le maîtriser (Boughzala, 2007). La modélisation permet de créer une vision commune et partageable de l'ensemble des activités et des processus d'une organisation quels que soient les méthodes, les outils et les objectifs visés (Girodon, 2015). Pour modéliser une organisation, il existe différentes méthodes selon le domaine, l'objectif et la perspective souhaitée. En ingénierie des connaissances, il existe trois approches qui peuvent être adoptées pour modéliser l'organisation afin de capitaliser les connaissances par le biais de systèmes d'informations (Zacklad and Grundstein, 2001) :

- L'approche sociale et coopérative considère que les connaissances d'une organisation relèvent d'une compétence collective issue d'un consensus. Les acteurs impliqués dans une approche coopérative s'inscrivent consciemment dans une démarche de formalisation et d'évaluation par les pairs.
- L'approche de modélisation descendante s'appuie sur un modèle générique proposé par des ingénieurs de la connaissance pour formaliser les connaissances d'experts.
- À l'inverse, l'approche de modélisation ascendante part des informations créées par les acteurs durant leurs activités pour identifier les connaissances.

L'approche sociale et coopérative peut être divisée en deux sous-approches distinctes. La première qui tend à structurer l'information à posteriori à partir des traces des transactions intellectuelles. La seconde sous-approche, quant à elle, s'oriente vers une structuration à priori des transactions pour garantir une meilleure qualité des interactions, des traces capturées et donc une exploitation plus aisée. La structuration à priori des processus de résolutions de problème est issue d'un changement du paradigme « centré objet » vers le paradigme « centré processus » (Zacklad and Grundstein, 2001). D'un point de vue plus général, il existe différentes approches de modélisation d'une organisation (Ulmer, 2011 ; Girodon, 2015) :

- Fonctionnelle et dynamique. Les méthodes fonctionnelles et dynamiques sont basées sur le principe de décomposition descendante de l'organisation étudiée. Les fonctions sont décomposées de façon hiérarchique jusqu'à obtenir un niveau de décomposition suffisant (Girodon, 2015). Un exemple de ce type de méthodes est IDEF-0.
- Systémique. Les méthodes systémiques décrivent les systèmes d'un point de vue global en prenant en compte les interactions entre les différents constituants, ce qui permet d'appréhender la dynamique interne et externe (Girodon, 2015). Des exemples de cette approche sont CIMOSA (CIM Open System Architecture) (Berio and Vernadat, 1999) ou GRAI (Graphe de Résultats et Activités Inter-reliés) (Doumeingts et al., 1992).
- Orienté objet. A travers le concept d'objet, la modélisation possède une plus grande modularité des composants d'un système en décrivant une grande partie de la dynamique du système. Cette approche favorise notamment le lien entre un modèle et son éventuel système informatique. La méthode la plus connue est UML (Unified Modeling Language) (Rumbaugh et al., 2004).

L'atelier de créativité est une organisation d'individus avec des connaissances, des compétences et des objectifs divers qui travaillent ensemble pour résoudre un problème. Cette organisation implique des processus individuels de créativité, mais ce qui nous intéresse présentement, ce sont les processus de collaboration pour atteindre l'objectif et des processus organisationnels pour encadrer le déroulement de l'atelier de créativité. Selon l'IC, la modélisation et la capitalisation des connaissances s'effectuent dans le but de résoudre un problème. Dans ce cas, le problème à résoudre est l'organisation et la mise en œuvre de l'atelier de créativité, la modélisation concerne donc cette organisation et cette mise en œuvre de l'atelier de créativité. L'intention est de réutiliser les étapes du « processus » de créativité suggéré précédemment (section 2.1.3.2) pour le décomposer en un processus avec des acteurs, des activités, des ressources et des productions. L'approche pour modéliser la manipulation et le traitement des connaissances dans le but d'un atelier peut donc être qualifiée comme fonctionnelle et descendante. Pour autant, le point de vue de départ sera organisationnel car selon les phases de créativité, les individus et les rôles impliqués dans la collaboration ne sont pas les mêmes, c'est-à-dire qu'il y a des sous organisations en fonction de la phase de créativité. Une fois le processus de créativité formalisé avec la mise en évidence des activités, des rôles, mais surtout les connaissances utilisées et produites durant l'atelier, celles-ci pourront être organisées et codifiées selon une ontologie.

2.2.2. Représentation des connaissances

Pour résoudre un problème dans un domaine, un être humain doit au préalable posséder des connaissances de ce domaine. Il en va de même pour un système d'informations, si l'on souhaite

qu'il résolve un problème, il doit comprendre le domaine dans lequel il doit produire un résultat. Pour qu'un système d'informations soit capable de manipuler les connaissances d'un domaine, celles-ci doivent être transcrites sous une forme symbolique exploitable par un système de raisonnement (Kabachi, 1999). « La représentation des connaissances consiste à priori en l'élaboration des formalismes et des structures de données appropriées au stockage et à la manipulation des connaissances, et à posteriori en l'implémentation des programmes capables de mieux exploiter l'ensemble (forcément limité) de ces connaissances » (Kabachi, 1999). Cette représentation des connaissances est ce que l'on appelle une ontologie.

L'origine des ontologies est philosophique (Bullinger, 2009). C'est l'étude de l'essence de l'être, c'est-à-dire l'élicitation de ces modalités et de ces propriétés. Cette essence est objective et indépendante de la pensée humaine (Bullinger, 2009). Dans les sciences informatiques, les ontologies sont des constructions théoriques ou conceptuelles d'une vue abstraite et simplifiée du monde pour réaliser un objectif (Gruber, 1993). Ces constructions théoriques permettent de caractériser une réalité visée et gardent un caractère provisoire et hypothétique (Bachimont, 2007). Autrement dit, une ontologie est la représentation formalisée d'une conceptualisation dans un langage logique de représentations des concepts d'un domaine et des relations les articulant (Bachimont, 2007). Par définition, une conceptualisation est une représentation partielle d'une réalité perçue (Gandon, 2002a). La représentation ontologique est le résultat d'une modélisation. Les caractéristiques du domaine représenté dépendent de la future utilisation de l'ontologie définie lors de sa conception. Bien que l'objectif principal d'une ontologie est de formaliser une représentation, cette représentation peut avoir différentes utilisations comme l'interopérabilité entre les humains, entre les machines, ou les deux (Bullinger, 2009). Les ontologies clarifient et apportent un vocabulaire conceptuel qui fait consensus parmi les acteurs du domaine (Bullinger, 2009). Cela permet également la découverte et la classification de ressources en utilisant les ontologies comme métadonnées (Héon, 2014). Une autre utilisation est la modélisation de connaissances est d'inférer de nouvelles connaissances et de réaliser des raisonnements logiques sur la base des connaissances formelles d'un domaine. Cet aspect fait partie du domaine de l'intelligence artificielle et permet notamment la création de Système Support à la Décision (Héon, 2014).

Les ontologies formelles étudient les objets que l'on peut penser et leur condition d'objectivité. Elles définissent le cadre logique dans lequel exprimer les concepts d'un domaine. À l'inverse, une ontologie matérielle décrit les notions et les objets propres à un domaine donné (Bachimont, 2007). De manière générale, les ontologies représentent les concepts d'un domaine pour en expliquer leur signification et leurs relations et la logique formelle, indépendante et universelle, permet de manipuler les concepts (Bachimont, 2007). Une ontologie est constituée de symboles syntaxiques (concepts) auxquels est associée une signification sémantique (définition du concept) (Bachimont, 2007). Les difficultés sont de déterminer quels concepts doivent être intégrés à l'ontologie et déterminer leur libellé et leur signification (Bachimont, 2007). La justification du choix d'un concept et de sa modélisation sémantique repose sur deux étapes : préciser le contenu du concept dans les termes du domaine, et préciser les connaissances formellement ainsi que les contraintes auxquelles elles sont soumises. La détermination de la sémantique d'un concept s'effectue selon deux points de vue : le contenu du concept et la forme logique du concept, c'est-à-dire les contraintes liées à son usage.

Afin de concevoir un système support à la créativité capable d'accompagner les raisonnements des individus impliqués dans un atelier de créativité voire d'anticiper les besoins de ces individus, il est nécessaire de représenter le domaine de connaissances lié à la créativité et l'atelier de créativité. Au préalable à la réalisation de cette ontologie concernant les ateliers de créativité, un succinct état de l'art doit être effectué.

2.2.2.1. *Ontologies dédiées à l'innovation et la créativité*

L'idée d'utiliser les ontologies pour supporter la gestion des connaissances dans un contexte d'innovation ou de créativité n'est pas nouvelle (Sorli and Stokic, 2009). Il existe déjà plusieurs exemples d'ontologies concernant l'innovation et la créativité. D'un point de vue général, il y a « OntoGate » (Bullinger, 2009) qui est une ontologie pour l'appréciation et la sélection des idées durant la phase amont du processus d'innovation. À la même époque, un autre projet de recherche à aboutir à la réalisation d'une ontologie pour l'échange de données et l'interopérabilité entre différents outils dédiés à l'innovation. Celle-ci définit une sémantique commune concernant la compréhension de ce qu'est une idée. Ce projet nommé Idea Ontology (Riedl et al., 2009) tente également de : - regrouper les idées par leurs similarités ou leur relation, - analyser les contributions et les contributeurs, - intégrer le dépôt de données pour la gestion des contenus, et - relier le réseau social et faciliter la collaboration. Plus récemment dans une perspective plus ou moins similaire de management de l'innovation, Generic Idea and Innovation Management Ontology (Gi2MO) a été conçu pour décrire et intégrer les données de systèmes de gestion des idées avec une orientation sur l'interconnexion des idées et des concepts (Westerski, 2013). L'originalité de Gi2MO est la base théorique avec la notion de cycle de vie des idées (Idea Life Cycle) à la base de la méthodologie de conception de l'ontologie. Innovation Management Ontology s'est également attelé à la création d'un vocabulaire dédié au management de l'innovation par la description des différents concepts associés aux idées, aux acteurs et au contexte (El Bassiti and Ajhoun, 2014). Toujours dans le domaine de l'innovation mais avec des perspectives différentes, Ontology for Innovation⁸ est conçu pour faciliter la correspondance entre les besoins et l'innovation, il existe également une ontologie qui aborde l'innovation d'un point de vue plus philosophique (Courvisanos, 2007). Concernant l'aspect social de l'innovation, une ontologie et un logiciel ont été créés pour trouver les solutionneurs potentiels à un problème d'innovation donné (Stankovic, 2010). Cette recherche a également abouti à la création d'une ontologie (Problem Challenge Ontology) pour décrire les problèmes d'innovation tels qu'ils peuvent être rencontrés sur Innocentive⁹, Openideo¹⁰ et plusieurs autres plateformes.

Plus focalisé sur le domaine de la créativité, le projet européen idSpace (Sielis et al., 2009a; Sielis et al., 2009b) a abouti à la conception de la « Context Awareness ontology » qui a pour but de suggérer des recommandations à l'utilisateur. Egalement dans le domaine de la créativité mais plus spécifiquement conçu pour le brainstorming, Brainstorming Ontology^{11,12} a été réalisé dans le cadre d'une amélioration de logiciel de brainstorming électronique par l'utilisation des technologies du

⁸ Ontology for Innovation : <http://www.lexicater.co.uk/vocabularies/innovation/ns.html> (01/02/2016)

⁹ InnoCentive : <http://www.innocentive.com/>

¹⁰ OpenIdeo : <https://openideo.com/>

¹¹ Brainstorm Ontology on Linked Open Vocabulary : <http://lov.okfn.org/dataset/lov/vocabs/br> (01/02/2016)

¹² Brainstorm Ontology Specification : <http://vocab.deri.ie/br> (01/02/2016)

web sémantique (Lorenzo et al., 2011). Egalement associé au brainstorming, l'agent intelligent SILA (Semantic Ideation Learning Agent) capable de générer et de combiner des idées utilise une ontologie (Yuan and Chen, 2008). Les agents et les ontologies sont aussi utilisés pour améliorer l'efficacité et la cohérence de la résolution de problèmes complexes à partir de l'intégration des connaissances dans un environnement collaboratif de conception (Ling et al., 2007). Le travail de Ling et de ses collègues ne suggère pas une ontologie spécifique mais la démarche est inspirante pour l'appliquer à l'innovation et la créativité.

Cette rapide revue des ontologies associées à l'innovation et la créativité permet de constater qu'il existe déjà de nombreuses ontologies à ce sujet. Pour autant, il n'y en a aucune qui soit spécifiquement dédiée aux ateliers de créativité. Bien évidemment un certain nombre des concepts présentés par ces ontologies pourront être réutilisés. Dans tous les cas une nouvelle ontologie doit être réalisée pour formaliser les contraintes qui lient les concepts à un atelier de créativité. La démarche d'ingénierie des connaissances ne se limite pas à la modélisation du processus de résolution du problème, c'est-à-dire le processus d'un atelier de créativité, ni à la représentation des connaissances de ce même atelier. L'objectif d'une démarche d'IC est d'instrumenter la résolution d'un problème par un système d'informations. La section suivante aborde la question de la conception du système d'informations pour gérer les connaissances d'un atelier de créativité.

2.3. Conception du système support selon le paradigme agent

L'objectif de ces travaux est de réaliser un système support à la créativité pour gérer les connaissances d'un atelier et accompagner les individus dans cette démarche. Cela implique un processus collaboratif de créativité, c'est-à-dire que des individus sont invités à se réunir pour résoudre un problème complexe qui ne trouve pas encore de solution. Ces individus vont constituer une organisation temporaire qui va tenter d'atteindre l'objectif commun qui est de résoudre ce problème. Pour ce faire, ils vont interagir et échanger des connaissances selon leurs rôles et donc selon des objectifs individuels pouvant être différents. Les connaissances nécessaires pour résoudre le problème se retrouvent donc distribuées parmi les individus qui peuvent eux-mêmes être dispersés spatialement ou temporellement. Cette situation de conception d'un système support à la créativité pour gérer les connaissances d'un atelier de créativité se trouve fortement correspondre à une situation de conception de système multi-agents. La kénétique, qui est la conception de système multi-agents, consiste à étudier, concevoir, et réaliser des univers ou des organisations d'agents artificiels capables d'agir, de collaborer à des tâches communes, de communiquer, de s'adapter, de se reproduire, de se représenter l'environnement dans lequel ils évoluent et de planifier des actions pour répondre à des objectifs extrinsèques, définis par le programmeur humain, ou intrinsèques, déduits par l'objectif général de survie (Ferber, 1995). L'approche par agent est une manière de conceptualiser et mettre en œuvre des logiciels (Weiß, 1999).

La notion de système multi-agents (SMA) est issue de l'intelligence artificielle (IA) et plus spécifiquement l'intelligence artificielle distribuée (IAD) (Ferber, 1995 ; Weiß, 1999 ; Kabachi, 1999). L'intelligence artificielle a pour objectif de modéliser ou de simuler les comportements humains considérés comme intelligents (Kabachi, 1999). L'intelligence artificielle distribuée, quant à elle, s'intéresse, entre autres, à la modélisation des comportements intelligents issus de l'activité coopérative entre plusieurs agents. Les SMA permettent d'expérimenter les théories sur des modèles réduits de société (Ferber, 1995). Ceci est notamment utile pour les sciences humaines et sociales

(van Dam et al., 2013). Les SMA sont également utilisés pour la conception d'architecture logicielle ouverte, distribuée, hétérogène et souple capable d'offrir une grande qualité de service dans un travail collectif sans imposer une structure à priori (Kabachi, 1999). Dans une démarche de gestion des connaissances, les SMA offrent un certain nombre de services (Klusck, 1999) :

- Permettre la recherche, l'acquisition, l'analyse et la classification des connaissances à partir de diverses sources de données.
- Informer les humains, et les systèmes d'informations supports dès que les connaissances sont prêtes à être consultées.
- Permettre l'évaluation collaborative de la connaissance pour statuer si elle doit être intégrée ou exclue du système à base de connaissances.
- Permettre de garantir et d'expliquer la qualité et la fiabilité des connaissances présentes dans le système à base de connaissances.
- Permettre au système d'apprendre progressivement tout au long du processus de management des connaissances.

Comme son nom l'indique, l'élément central d'un SMA est l'agent. La sous-section suivante va introduire cette notion avant d'aborder la notion de système multi-agents.

2.3.1. La notion d'agent

Il n'y a pas de définition universelle de ce qu'est un agent (Weiß, 1999). Nous en proposerons quelques-unes avant de résumer les concepts principaux. Un agent est une entité réelle ou abstraite qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui dispose d'une représentation partielle de cet environnement, qui, dans un système multi-agents, peut communiquer avec d'autres, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de la connaissance, et des interactions avec les autres agents (Ferber, 1995). De manière plus courte, un agent est une entité intelligente agissant rationnellement et intentionnellement, en fonction de ses buts propres et de l'état actuel de sa connaissance (Demazeau and Müller, 1990). Centré sur le numérique, un agent est un système informatique qui est situé dans un environnement, et qui est capable d'actions autonomes dans cet environnement dans le but de satisfaire ses objectifs de conception (Wooldridge and Jennings, 1995). Un agent est donc une entité qui dispose d'une certaine autonomie par rapport à sa conception, à son environnement, à ses propres buts et à ses motivations (Sichman, 1995). En plus d'être autonome, un agent peut être intelligent ce qui implique qu'il est capable d'actions autonomes flexibles dans le but de satisfaire ses objectifs de conception. (Wooldridge and Jennings, 1995). Dans ce contexte, il est entendu par flexibilité :

- Réactivité. Les agents intelligents sont capables de percevoir leur environnement et évolue selon les changements qui ont lieu dans le but de satisfaire leur objectif de conception.
- Proactivité. Les agents intelligents sont capables de prendre des initiatives pour satisfaire leur objectif de conception.
- Habilité sociale. Les agents intelligents sont capables d'interagir avec les autres agents (et éventuellement des humains) pour leur objectif de conception.

La capacité à l'action, l'autonomie, la réactivité, la proactivité et l'habilité sociale sont les principales propriétés d'un agent mais la manière dont il traite les informations qu'il perçoit et reçoit, c'est-à-

dire son architecture, permet de distinguer différents types d'agent. Selon Ferber (1995), il y a trois types d'agents : les agents réactifs, les agents cognitifs et les agents hybrides.

- En termes d'architecture, les agents cognitifs sont des agents intelligents intentionnels, c'est-à-dire qu'ils possèdent des buts et des plans pour les réaliser, ainsi qu'une base de connaissances comprenant l'ensemble des informations nécessaires pour la réalisation des buts et la gestion des interactions avec les autres agents et l'environnement (Ferber, 1995).
- Les agents réactifs sont, quant à eux, des agents qui n'ont pas une perception explicite de l'environnement, c'est-à-dire qu'ils ne perçoivent que ce qui les affecte directement. Les agents réactifs, individuellement, ne sont pas intelligents mais n'empêchent en rien que le système qu'ils constituent ait un comportement intelligent (Ferber, 1995).
- La réalité est complexe et nécessite des nuances dans les comportements. Les agents hybrides sont des agents qui possèdent une architecture mixte combinant un comportement réactif sans considérer l'environnement et des comportements intentionnels.

Cette décomposition n'est pas exclusive, les agents peuvent être distingués en fonction des modes de conduites, c'est-à-dire si le but de l'agent est explicite (téléonomique) ou s'il est régi par la perception (réflexes). La combinaison des modes de conduites avec les typologies cognitives ou réactives des agents produit quatre sous-types d'agents représentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Les différents types d'agent en fonction de leurs capacités représentationnelles (cognitifs, réactifs) et de leurs modes de conduite (téléonomiques, réflexes)

	Agent cognitifs	Agent réactifs
Téléonomiques	Agents intentionnels	Agents pulsionnels
Réflexes	Agents « modules »	Agents tropiques

2.3.2. Le système multi-agents

L'ensemble des agents constitue une société appelée Système Multi-Agents. Cette société est constituée de trois éléments : un ensemble d'agents, un ensemble de tâches à réaliser et un ensemble d'objets. L'ensemble des objets et l'ensemble des agents sont immergés dans un environnement. Un agent possède ou s'octroie (selon le niveau d'autonomie de l'agent) la responsabilité de réaliser des tâches et assume alors un rôle dans le groupe (Kabachi, 1999). Une société d'agents nécessite, d'une part, de définir comment les agents communiquent, interagissent et coopèrent. D'autre part, cela nécessite de définir comment organiser le système, c'est-à-dire la répartition des tâches et le type d'organisation. Les SMA permettent ainsi de modéliser le comportement d'un ensemble d'entités expertes et organisées respectivement selon des degrés variables. Pour ce faire, les SMA peuvent être perçus selon quatre axes : l'ensemble des agents, l'environnement dans lequel ils évoluent, les interactions qu'ils ont et les organisations formées par les agents (Kabachi, 1999).

L'essence des systèmes multi-agents est l'interaction des agents qui le composent. Afin d'atteindre le but commun qui les réunit, les interactions des agents vont prendre la forme générale d'une coopération. La coopération est expliquée par des capacités limitées des acteurs, c'est-à-dire qu'un individu coopère parce qu'il est dans l'incapacité de réaliser la tâche individuellement ou bien suffisamment rapidement ou efficacement (Schmidt, 1991). Il y a trois conditions nécessaires à la

coopération : reconnaître le but d'un agent, s'impliquer dans sa résolution en l'adoptant comme son propre but de façon délibérée et le considérer comme un but commun (Erceau et al., 1994). Le fait de dire que des agents collaborent ne dit rien sur la manière dont cette collaboration s'effectue. Il existe plusieurs modalités de collaboration (Vailly and Simon, 1987) :

- Coopération par partage de tâches et de résultats. Cela implique de décomposer un problème en sous-problèmes nécessitant un minimum de communication entre agents. Si ces sous-problèmes ne sont pas suffisamment indépendants, il faut procéder à un partage des résultats.
- Commande. Un agent hiérarchiquement supérieur décompose un problème en sous-problème et les répartit à d'autres agents pour qu'ils les résolvent et renvoient les résultats partiels.
- Appel d'offre. Un agent supérieur diffuse des sous-problèmes issus d'un problème pour que des agents envoient une offre. L'agent supérieur choisit une offre et communique avec l'agent.
- Compétition. Le mécanisme est similaire au mode à appel d'offre mais au lieu de faire des offres, les agents résolvent les sous-problèmes et l'agent supérieur fait le tri.

Pour qu'une coopération entre agents se déroule, il faut au préalable que les agents communiquent. Les agents sont dans l'obligation de communiquer pour coordonner leurs actions et dépasser les limites de leurs champs de perception dans le but de réaliser leurs objectifs de conception. Les agents ne communiquent pas perpétuellement avec l'ensemble des agents, ils communiquent quand ils ne sont pas capables de réaliser seuls une activité par manque de compétences ou de ressources, ou bien lorsque les agents ont besoin de coordonner leurs actions. Les procédures de communication pour transmettre les messages entre agents sont soit la communication par envoi de message, soit la communication par partage d'informations (Kabachi, 1999).

Les systèmes multi-agents sont des organisations d'agents coopérants. Indépendamment du mode de communication, le type d'organisation dépend des rôles et des relations entre les agents (Gasser, 1992) :

- L'organisation centralisée (hiérarchie uniforme) lie les agents par un lien de subordination type maître-esclave centralisant le pouvoir de décision et de contrôle au niveau du maître.
- L'organisation de marché est une organisation basée sur le principe de contrat. Il implique le mode de coopération par appel d'offre.
- L'organisation d'une communauté pluraliste correspond à une organisation d'agents indépendants qui préparent des solutions aux problèmes et qui les communiquent.
- L'organisation à règles de comportements est une organisation variable prédéfinie, c'est-à-dire que les interactions sont définies selon des protocoles explicites. Ce type d'organisation comprend les systèmes multi-experts.

Ces organisations sont basées sur des modèles d'organisations humaines, d'autres types d'organisations peuvent compléter la liste telle que l'organisation holarchique, l'organisation par coalitions, l'organisation par équipes, l'organisation par congrégations, l'organisation en société, et l'organisation en fédération. L'adoption d'une organisation plutôt qu'une autre dépendra de l'approche de résolution du problème par la société. Il existe deux approches de conception de l'organisation d'un SMA (Sichman, 1995) :

- Approche statique. Les liens d'autorités et de communications entre agents, connus à priori, sont complètement définis pendant la phase de conception du système.
- Approche dynamique. Les liens d'autorité et de communication ne sont pas préétablis entre les agents, c'est-à-dire que les liens sont créés dynamiquement par les agents lorsqu'ils cherchent à atteindre leurs propres buts.

2.3.3. Le paradigme agent, l'alternative au paradigme orienté objet

En tant qu'approche pour concevoir des architectures logicielles, l'approche orientée agent est une alternative à l'approche orientée objet. Un objet est défini comme une entité informatique qui intègre des états, qui est capable de réaliser des actions (méthodes) sur ces états, et qui communique par la transmission de messages. Les agents se différencient des objets au niveau de leur autonomie, de leur flexibilité, et de leur fil d'instruction (processus d'exécution des instructions machines) (Weiß, 1999). L'objet réalise les méthodes qui lui sont demandées alors que l'agent contrôle les actions qui lui sont demandées. L'agent possède un degré d'autonomie plus important car il peut refuser de réaliser des actions demandées. La flexibilité n'est tout simplement pas supportée par la programmation orientée objet standard. Concernant le fil d'instruction, celui-ci est unique dans la programmation orientée objet tandis que pour l'orientée agent, chaque agent possède son propre fil d'instruction (Weiß, 1999).

2.3.4. Ingénierie des connaissances pour un système support à la créativité

Le processus de créativité ne se limite pas à la génération d'idées durant la phase d'idéation, le processus de créativité implique un certain nombre de connaissances annexes qui conditionnent l'efficacité et la productivité du processus. Dans une perspective d'amélioration de la mise en œuvre d'ateliers de créativité par le biais d'outils afin d'accroître l'efficacité de celui-ci, l'approche d'ingénierie des connaissances semble être appropriée. L'ingénierie des connaissances identifie, rassemble, organise et représente les connaissances dans l'optique d'instrumenter la résolution du problème modélisé. Dans le contexte plus spécifique d'ateliers de créativité, qui est assimilable à une résolution collaborative, la représentation des connaissances doit prendre en compte les interactions entre les individus qui partagent, créent et mettent à jour des connaissances. Sachant que des SMA sont utilisés pour reproduire et simuler des phénomènes sociaux (van Dam et al., 2013), les SMA semblent être une architecture particulièrement adaptée pour concevoir un système censé supporter des organisations humaines. Comme cela a été présenté plus haut, les SMA offrent des fonctionnalités pertinentes pour la gestion des connaissances. Dans cette perspective de gestion des connaissances, et notamment le partage et la réutilisation de celles-ci par les différents agents qui constituent le système, une représentation du domaine de connaissances sous la forme d'une ontologie est tout à fait adapté (Pham et al., 2016). L'ontologie formalise un vocabulaire commun entre les agents qui contribue à leur communication et leur interopérabilité.

Dans la perspective de gérer les connaissances pour faciliter la mise en œuvre d'un atelier de créativité par les différents individus et ainsi rendre plus efficace l'atelier, le système doit mobiliser des connaissances pour les redistribuer. Les agents du SMA qui va gérer ces connaissances vont assumer un rôle d'assistant personnel pour les individus. Sa fonction va être de mobiliser et collecter les connaissances correspondantes aux rôles des acteurs. Cette utilisation des systèmes agents peut

paraître comme inadaptée car les systèmes de gestion de connaissances, les systèmes experts ou les systèmes à base de connaissances sont « désincarnés » (Weiß, 1999), c'est-à-dire qu'ils n'interagissent pas directement avec l'environnement. Ils collectent des informations de l'environnement à partir d'un intermédiaire humain et agissent sur l'environnement à travers lui en lui adressant des conseils (Weiß, 1999). Pour autant, la conception d'un système de gestion des connaissances selon le paradigme agent est d'autant plus possible et pertinent qu'il existe des exemples qui vont dans cette direction. Des plateformes ont émergé de la combinaison de SMA avec des outils existants de gestion de l'information. Les plateformes KRAFT (Preece et al., 2000), CoMMA (Gandon, 2002b), Edamok (Bonifacio et al., 2002), RODO (Abecker et al., 2003), JASOE (Nguyen et al., 2012), KATRAS (Monticolo et al., 2014) en sont des exemples. Ces travaux sont associés aux concepts de Multi Agent Information System (MAIS) (Gandon, 2002b) et l'approche d'Agent-Mediated Knowledge Management (AMKM) (Van Elst et al., 2004). Un MAIS est un SMA dont l'objectif est de fournir des fonctionnalités pour gérer et exploiter des informations distribuées. L'approche AMKM, quant à elle, conçoit un SMA qui considère les aspects collectifs tout en respectant l'aspect individuel des acteurs.

Aussi bien la conception d'un système d'informations selon l'approche d'ingénierie des connaissances que la conception d'un SMA nécessite, tous deux, une modélisation de la situation dans laquelle le système doit s'intégrer. Pour représenter le processus d'atelier de créativité dans lequel le SMA va s'inscrire et contribuer, nous opterons pour une modélisation organisationnelle, c'est-à-dire définir comment les membres de l'organisation (atelier de créativité) agissent et interagissent les uns avec les autres pour atteindre l'objectif commun. Cette modélisation organisationnelle doit également inclure les connaissances car les organisations d'agents sont également des communautés de partage et d'échange de connaissances pour réaliser leurs activités (Guizzardi, 2006). C'est en représentant les connaissances du processus de créativité dans le but de l'instrumenter que nous adoptons une approche d'ingénierie des connaissances. Dans le cas d'un processus d'atelier de créativité, l'organisation des agents pourra être perçue comme une communauté à règles de comportement coopérant par partage de tâches et des résultats et communiquant par envoi de message. Pour modéliser l'organisation et ses processus, nous allons adopter une méthodologie de conception de SMA appelé DOCK qui est une approche organisationnelle pour l'ingénierie des connaissances qui met en œuvre une approche statique de représentation des tâches et des résultats. Nous considérerons les interactions induites par le processus d'atelier de créativité comme connues à priori. La modélisation du processus de créativité constituera le fondement du système multi-agents.

2.4. Conclusion

A l'heure actuelle, de multiples contraintes pèsent sur les organisations et les entreprises. D'un côté, elles doivent innover pour se différencier de la concurrence afin de conserver voire d'acquérir de nouvelles parts de marché. D'un autre côté, elles doivent contrôler les dépenses et les ressources exploitées. De fait, les pratiques d'innovation évoluent pour à la fois systématiser et optimiser la démarche. L'innovation ouverte et les outils associés en sont l'illustration avec l'externalisation de la génération d'idées et l'informatisation des interactions et des échanges entre acteurs. Cette évolution a été possible par la démocratisation de technologies de l'information et de la communication mais également par le développement d'outils adaptés à la collaboration qu'elle soit locale ou distante et la gestion des connaissances associées. L'innovation avec notamment le

management de l'innovation (Boly, 2008 ; Tidd and Bessant, 2009), la collaboration avec notamment l'ingénierie de la collaboration (Boughzala, 2007), et la conception de système de gestion des connaissances avec l'ingénierie des connaissances (Bachimont, 2007) ouvrent des possibilités nouvelles concernant l'innovation, la créativité, la collaboration et la gestion des connaissances et ainsi que son instrumentation. Étudiée depuis plusieurs décennies, la créativité ne semble pas être au même niveau d'instrumentation que d'autres domaines. L'aspect imprédictible de la créativité individuelle est certainement une des raisons. Pour autant, le nombre de techniques de créativité censées améliorer la créativité ne fait que croître depuis la création du brainstorming (Osborn, 1963). Certaines de ces techniques ont même fait l'objet d'une instrumentation afin d'améliorer l'efficacité de ces techniques. Selon cette même perspective d'instrumentation, la notion d'agent associée à la créativité a été introduite (Boden, 1994). L'intention de ces travaux de recherche est d'améliorer la créativité collaborative par l'application d'une approche d'ingénierie des connaissances pour concevoir un outil selon le paradigme agent qui assistera la gestion des connaissances d'un atelier de créativité. Avant de concevoir un tel système, le chapitre suivant aborde la question des systèmes supports à la créativité déjà existants dans la littérature.

3. Cartographie des systèmes supports à la créativité

Table des Matières du Chapitre 3

3.1. Méthode et matériels	41
3.1.1. Termes de recherche.....	41
3.1.2. Matériels.....	42
3.1.3. Critères d'observations	42
3.2. Résultats de la cartographie des Systèmes Supports à la Créativité	44
3.2.1. Phases du processus de créativité supportées par les systèmes	44
3.2.2. Conditions de collaboration des systèmes supports.....	45
3.2.3. Technologies utilisées par les systèmes supports à la créativité	46
3.2.4. Discussion.....	47
3.3. Conclusion.....	49

Le chapitre précédent présente un certain nombre d'éléments théoriques concernant la créativité et l'ingénierie des connaissances. A partir de ces différentes clés de compréhension, ce chapitre va étudier les outils d'aide à la créativité. Les différents aspects théoriques présentés précédemment apportent un certain nombre d'éléments d'analyse, notamment concernant les étapes du processus de la créativité et les différents modes de collaboration. Cette étude de l'existant a pour objectif de déterminer les limites des systèmes actuels et de définir les perspectives à explorer. La première section de ce chapitre présente la méthodologie appliquée pour faire cette cartographie des Systèmes Supports à la Créativité (CSS). La section suivante présente l'analyse des résultats issus de la littérature. Suite à l'analyse de la littérature, les résultats seront discutés pour déterminer des perspectives.

3.1. Méthode et matériels

Comme cela a pu être introduit précédemment, il y a différents types de systèmes supports à la créativité. L'objectif de cette revue de littérature est de déterminer quel type d'aide ces systèmes fournissent et quelles technologies ils déploient. L'intention est de comparer la théorie concernant la créativité, notamment les phases du processus de créativité et les techniques de créativité, avec les systèmes dédiés à la créativité présents dans la littérature. La créativité étant également collective et collaborative, les observations porteront sur les différents modes de collaboration et les dispositifs numériques utilisés.

3.1.1. Termes de recherche

Avant de réaliser une revue à partir d'un corpus de textes issus de la littérature, il est nécessaire de définir comment former ce corpus. A partir d'un examen préliminaire de la littérature concernant la créativité et les systèmes supports à la créativité, un certain nombre de mots-clés ont été déterminés. Ces mots-clés constituent une première représentation du domaine d'intérêt mais ne permettent pas forcément d'explorer l'entièreté du domaine. Sans pour autant garantir leur exhaustivité, les mots-clés ont été augmentés par plusieurs synonymes cohérents avec les ensembles déjà existants. En effet, des groupes cohérents de mots-clés (Tableau 2) peuvent être constitués pour structurer la définition des synonymes mais aussi la formulation des requêtes nécessaires à la constitution du corpus de textes. Les requêtes ont été établies en joignant les groupes avec des opérateurs booléens OR et AND, et à l'aide de métacaractères tels que * pour éviter des problèmes syntaxiques ou de pluriel.

Tableau 2. Groupes de mots-clés utilisés pour réaliser la revue de littérature.

Groupe de mots-clés 1 (Collaboration ...)	Groupe de mots-clés 2 (Méthodologie...)	Groupe de mots-clés 3 (Technologie...)
Collaboration Distant collaboration Groupware Open Virtual team Work group	Brainstorming Creative problem solving Creativity Creativity challenge Creative design Creative design method Creativity workshop Design Early stage innovation Ideation Innovation Preliminary design	Application Computer-aided Computer support Data support Data systems Devices Electronic E-brainstorming Interactive surface Interactive whiteboard Software Support Support system Support tools System Tabletop Tools Wall display

3.1.2. Matériels

Les documents considérés dans cette revue sont essentiellement limités aux articles de revues scientifiques et aux actes de conférences. En explorant les références de ces articles, à la recherche d'information supplémentaires concernant certains systèmes supports à la créativité, des rapports de recherche ont pu être considérés. Un système support à la créativité est considéré dans la revue de littérature à la condition qu'il soit cité dans un des documents cités précédemment. Pour faire cette recherche, les bases de données principalement utilisées ont été Web of Science™ et El Compendex. Les restrictions appliquées aux recherches sur ces bases de données ont été les suivantes : articles écrits en anglais, et aucunes limites au niveau des dates. Un système support est inclus dans l'état de l'art seulement si celui-ci est explicitement mentionné dans le document comme étant conçu ou utilisé pour supporter et/ou stimuler la créativité. Le seul critère de rejet d'un système est le manque d'information pour évaluer les critères d'observations.

3.1.3. Critères d'observations

Pour chaque système identifié dans la littérature, différents types d'information ont été collectés, notamment les informations d'identification telles que le nom du système, l'université associée s'il y en a une, l'année de la publication, et la nature académique ou commerciale du système. Concernant les observations réalisées, trois aspects ont été observés durant l'étude : les phases du processus de créativité supportées par le système, les modes de collaboration, et les technologies utilisées.

3.1.3.1. *Processus de créativité*

Les phases de processus de créativité supportées par le système sont basées sur les phases présentées dans le chapitre 2, c'est-à-dire l'analyse du problème, l'idéation, l'évaluation des idées et

la mise en œuvre/communication. Dans le cadre de la revue de littérature, la phase de mise en œuvre/communication n'a pas été considérée pour classer les systèmes car cela concerne plutôt le développement de l'innovation que la génération amont d'idées d'innovation. Le fait qu'un système soit déclaré comme supportant une phase ou une autre dépend de la présentation et la description du système mais aussi des informations collectées, gérées et produites par le système. Pour couvrir l'analyse de problème, le CSS doit gérer la formalisation de problème, c'est à dire au moins demander une formulation explicite du problème voire travailler la reformulation du problème en groupe ou bien appliquer un questionnaire pour identifier et formuler le problème. Pour être associé à l'idéation, le système doit supporter une technique de créativité et par la suite collecter les informations produites durant l'application de cette technique. Les informations collectées peuvent être multiples, cela peut être une idée ou un concept général pour le brainstorming, une figure pour le Mindmapping, ou encore une illustration pour d'autres techniques... Le système pourrait également proposer du matériel d'inspiration pour faciliter la divergence pendant la génération d'idées. En ce qui concerne la phase d'évaluation des idées, le CSS doit aider le tri ou le classement, ou proposer une manière de retrouver facilement les idées. Opérationnellement, la solution peut être de différentes natures, cela peut être la formation manuelle de groupe, l'application de critères, le traitement mathématique de critères quantitatifs, ou bien l'analyse sémantique.

3.1.3.2. *Modes de collaborations*

Plusieurs choses peuvent être observées au sujet de la collaboration. Tout d'abord, le système possède ou non un aspect collaboratif. Si celui-ci supporte un aspect collaboratif de la créativité, il faut identifier la situation de collaboration. La nature de l'assistance apportée diffère en fonction des interactions nécessaires à la résolution créative de problème qui varie selon des aspects spatio-temporels (Tableau 3). En fonction de la dispersion (en présence ou à distance) et des modes de communication (mêmes moments ou moments différents), l'aide à apporter pour faciliter la collaboration est différente (Boughzala, 2007). L'évaluation de ces critères a été réalisée selon les informations fournies dans les documents. Dans le cas où ces informations fournissaient explicitement les éléments en termes de collaboration. Dans le cas où les informations n'étaient pas explicitées, nous nous sommes basée sur la description des utilisations du système. Un CSS a été déclaré comme collaboratif si la communication entre acteurs était réalisée via le système ou si plusieurs personnes utilisaient le système simultanément et collectivement autour d'un même dispositif (par exemple une table tactile). Les cas où le système n'a pas été considéré comme collaboratif correspondent à des systèmes qui supportent la créativité individuelle, c'est-à-dire des systèmes qui permettent de faire de la résolution créative sans aucun échange ou interaction avec d'autres personnes. La nature de l'utilisation détermine si le dispositif est conçu pour être employé individuellement ou collectivement, sachant que l'utilisation individuelle peut malgré tout s'inscrire dans une collaboration en équipe virtuelle. Pour déterminer la collaboration en équipe virtuelle, nous évaluerons si le système gère la dispersion qu'elle soit physique ou temporelle. Dans le cas de collaboration dispersée ou en équipe virtuelle, la question de la communication est un enjeu important. Celle-ci peut être synchrone c'est-à-dire des échanges instantanés comme peut l'être une conversation de vive voix ou asynchrone c'est-à-dire avec un certain délai entre les échanges. Il y a ainsi quatre critères pour caractériser la collaboration dans le CSS, mais le mode de communication ne sera pas considéré pour cette étude.

Tableau 3. Matrice spatio-temporelle (Boughzala, 2007)

	Même moment	Moments différents
Présentiel	Interaction synchrone	Interaction asynchrone
A distance	Interaction synchrone distribuée	Interaction asynchrone distribuée

3.1.3.3. Dispositifs technologiques utilisés

Dans le but de remplir leurs fonctionnalités, les systèmes supports à la créativité utilisent divers dispositifs technologiques. A l'issue d'une première observation des technologies utilisées dans ces systèmes, nous avons établi les typologies suivantes : les services Web, les tables interactives, les ordinateurs, les appareils mobiles/individuels, les tableaux blancs interactifs, les dispositifs muraux, les objets augmentés, les instruments de dessin numérique, les sols interactifs. Toutes ces typologies ne désignent pas des dispositifs technologiques physiques, les services web représentent une technologie multi-supports c'est-à-dire qu'elle permet d'accéder à des contenus numériques quel que soit le dispositif utilisé (tablette numérique, téléphone, ordinateur,...).

Pour récapituler, les systèmes supports à la créativité issus de la littérature vont être observés selon cinq critères issus des trois aspects observés : les phases de créativité supportées, la prise en compte de la collaboration, l'utilisation du système, la dispersion de la collaboration, et la technologie utilisée. Le Tableau 4 présente un récapitulatif de critères qui seront appliqués pour chaque CSS répertorié à partir de la revue de littérature.

Tableau 4. Récapitulatifs des critères observés dans la revue de littérature

Aspects observés	Processus de créativité	Mode de collaboration			Technologies utilisées
Critères	Phase du processus de créativité	Support de la collaboration	Utilisation du système (individuelle ou collective)	Support de la collaboration en mode dispersé	Typologie de dispositifs technologiques

3.2. Résultats de la cartographie des Systèmes Supports à la Créativité

Selon la méthodologie décrite précédemment, 75 systèmes ont été répertoriés à partir de la littérature. Cependant, seulement 50 d'entre eux sont suffisamment décrits pour être considérés dans cette revue de littérature. L'Annexe A présente les 50 CSS considérés dans cette étude et analysés selon les critères d'observations énoncés précédemment. Les sous sections suivantes vont présenter les résultats de l'observation de chacun des critères pour les 50 systèmes.

3.2.1. Phases du processus de créativité supportées par les systèmes

Le Tableau 5 montre que la grande majorité des CSS étudiés supportent seulement une phase (58%) ; 93% de ce sous-échantillon est dédié à la phase d'idéation. De façon générale, les supports qui couvrent exclusivement la phase d'idéation représentent presque la moitié de ceux indiqués dans l'Annexe A. Cependant, ceci signifie également que 43% des supports sont conçus pour supporter

plus d'une phase du processus de créativité. Le couple de phases la plus couverte est idéation et évaluation. Concrètement, cela signifie que le support reçoit les idées et produit automatiquement ou manuellement une analyse ou un classement de ces idées. Six CSS couvrant plus de deux phases ont également été identifiés : AhaNetspector (McCaffrey and Spector, 2011), BrainDump (Brade et al., 2011), CogniStreamer (CogniStreamer, n.d.), i-Land (Streitz et al., 1999), InnovationCast (InnovationCast, n.d.), et Laboranova (Laboranova, n.d.; Hesmer et al., 2011). Il est intéressant de remarquer que très peu des articles étudiés se sont concentrés sur l'étude détaillée à la phase d'analyse du problème et à la phase d'évaluation des idées.

Tableau 5. Phases du processus de créativité couvertes par les supports

Nb. de phases couvertes	Phases	Nombre de supports (total : 50)	Pourcentage par catégorie (%)	Pourcentage total (%)
1 (58%)	Analyse du problème	2	7	4
	Idéation	27	93	54
	Evaluation	0	0	0
2 (30%)	Analyse du problème et idéation	1	7	2
	Analyse du problème et évaluation	6	40	12
	Idéation et évaluation	8	53	16
3 (12%)	Analyse du problème, idéation et évaluation	5	83	10
	Idéation, évaluation et implémentation	1	17	2

3.2.2. Conditions de collaboration des systèmes supports

La majeure partie des CSS de cette revue de littérature (76%) a été conçue pour permettre la collaboration entre les usagers/participants, comme le montre le Tableau 6. Plus de la moitié de ces supports de collaboration de créativité (55%) a été conçue pour supporter la collaboration distante. Cependant, selon le Tableau 7, une majorité de ces systèmes sont limités à la collaboration distante d'individu-à-individu. Les systèmes qui ne supportent pas la collaboration distante peuvent malgré tout être considérés comme collaboratifs. Ces systèmes vont fournir des fonctionnalités pour permettre à un groupe de participants d'interagir localement, comme les tables interactives ou des configurations mixtes avec des technologies individuelles (mobile, tablette) et collectives (tableau interactif).

Les supports dédiés à une utilisation individuelle avec ou sans collaboration distante (Tableau 8) représentent plus de la moitié des CSS (56%). Seulement 10% des systèmes permettent d'alterner le travail individuel et collectif, comme Caretta (Sugimoto et al., 2004), ModLab + SeeMe (Herrmann and Nolte, 2010), Tatin-PIC (A. Jones et al., 2011), TeamStorm (Hailpern et al., 2007), et le système sans nom proposé par (Friess et al., 2012).

Tableau 6. Capacité de collaboration des CSS

Collaboration	Nombre de CSS	Collaboration distante	Pourcentage par catégorie	Pourcentage total (%)
Oui	38 (76%)	Oui	21 (55%)	42
		Non	17 (45%)	34
Non	12 (24%)			24

Tableau 7. Utilisation collaborative et collaborative distante des systèmes

Collaboration distante	Nombre de CSS	Utilisation	Nombre de supports	Pourcentage par catégorie (%)	Pourcentage total (%)
Oui	21 (43%)	Individuelle	16	76	33
		Collective	5	24	10
		Les deux	0	0	0
Non	17 (35%)	Individuelle	0	0	0
		Collective	12	71	24
		Les deux	5	29	10

Tableau 8. Distribution globale des modes d'utilisation des CSS

Utilisation	Nombre de CSS	Pourcentage total (%)
Individuelle	28	56
Collective	17	34
Les deux	5	10

3.2.3. Technologies utilisées par les systèmes supports à la créativité

Selon le Tableau 9, la technologie la plus largement utilisée est le service web qui permet d'accéder à l'information sur divers périphériques connectés à internet tels que les tablettes numériques, les smartphones, les ordinateurs personnels ou encore les tables interactives. Cette technologie permet de centraliser les données de chaque périphérique sur une plateforme web et de les redistribuer.

Pour avoir une meilleure compréhension de l'utilisation des technologies, le Tableau 10 apporte plus de détails. Les systèmes supports individuels, qui représentent la moitié des systèmes de cette étude, sont principalement basés sur des services web. Ceci est dû au fait qu'une part importante de ces supports sont utilisés pour une collaboration distante. Parmi les CSS exclusivement destinés pour l'usage collectif, la technologie la plus utilisée est celle des tables interactives. Dans le cas des systèmes à la fois individuels et collectifs, la technologie la plus populaire est de nouveau les tables interactives en association avec des tableaux blancs interactifs ou d'autres accessoires : BrainStorm (Hilliges et al., 2007), Envisionment and Discovery Collaboration (Warr and O'Neill, 2007), ThinkTank ("ThinkTank," n.d.), IdeaVis (Geyer et al., 2012), i-Land (Streitz et al., 1999), iLounge (Sundholm et al., 2004), iRoom (A. Jones et al., 2011), et Tatin (A. Jones et al., 2011). Il n'est pas étonnant que chacun de ces cinq systèmes, qui sont conçus pour une utilisation individuelle et collective, soit basé sur les

smartphones ou les tablettes (PDA pour les expériences les plus anciennes) pour la dimension individuelle et les tables interactives ou les tableaux blancs pour la dimension collective.

Tableau 9. Distribution des types de périphériques utilisés par les CSS

^a La somme des pourcentages n'est pas égale à 100 car certains CSS utilisent plusieurs technologies.

Technologie	Nombre de supports utilisant la technologie	Pourcentage total (%) ^a
Service web	22	45
Table interactive	17	35
Ordinateur	12	25
Tableau blanc interactif	7	14
Appareil mobile/individuel	5	10
Dispositif mural	4	8
Objet augmenté	3	6
Instrument de dessin numérique	2	4
Sol interactif	1	2

Tableau 10. Distribution des technologies et des périphériques selon le type d'utilisation du système

Utilisation	Nombre de supports	Technologie utilisée	Nb. de supports utilisant cette technologie	Pourcentage par catégorie (%)
Individuelle	27 (55%)	Service web	15	54
		Ordinateur	10	36
		Les deux	2	7
Collective	17 (35%)	Table interactive	13	76
		Tableau blanc interactif	6	35
		Service web	3	18
		Dispositif mural	2	12
		Ordinateur	2	12
		Instrument de dessin numérique	2	12
		Objet augmenté	2	12
		Sol interactif	1	6
Les deux	5 (10%)	Appareil mobile/individuel	5	100
		Table interactive	4	80
		Service web	3	60
		Dispositif mural	2	40
		Tableau blanc interactif	1	20
		Objet connecté	1	20

3.2.4. Discussion

Actuellement, il existe un nombre important de systèmes supports à la créativité, contrairement à ce qui a pu être prévu au début de cette étude. La plupart d'entre eux couvrent seulement une phase du processus de créativité, principalement la phase d'idéation. Ceci est certainement dû aux décennies de promotion de la pensée divergente et de la phase d'idéation dans la littérature (Puccio and Cabra, 2012). Cependant, six supports semblent couvrir chacune des trois phases observées :

AhaNets (McCaffrey and Spector, 2011), BrainDump (Brade et al., 2011), CogniStreamer ("CogniStreamer," n.d.), i-Land (Streitz et al., 1999), Laboranova ("Laboranova," n.d.; Hesmer et al., 2011), et InnovationCast ("InnovationCast," n.d.). Pour autant ces systèmes ne sont pas forcément adaptés aux différents modes de travail des organisations qui impliquent au moins de la collaboration présentielle voire une collaboration en équipe virtuelle. Les CSS qui ne considèrent pas la collaboration ne sont pas inintéressants, ils permettent d'étudier l'impact des systèmes informatiques sur la créativité ainsi que d'autres hypothèses, mais ne sont pas adaptés à une situation réelle d'atelier de créativité. Les modes de travail en entreprises et dans toute organisation en général possèdent une part non négligeable de collaboration locale qui reste la plus efficace à de nombreux égards (Nemiro, 2004) mais l'évolution des pratiques induites par des contraintes économiques introduit une part de plus en plus importante de collaboration en équipe virtuelle. De fait, les deux modes de collaboration doivent être considérés communément au travers d'un environnement hybride réel-virtuel (Sorli and Stokic, 2009). Des 50 CSS étudiés, seuls cinq d'entre eux supportent la collaboration locale et distante : C4CI (Bellandi et al., 2012), ThinkTank ("ThinkTank," n.d.), Idea Storming Cube (Huang et al., 2007), iLounge (Sundholm et al., 2004), i-Land (Streitz et al., 1999). La prise en compte des deux modes de collaboration est indissociable d'une évolution technologique. La combinaison des services web, qui par nature sont indépendants des dispositifs utilisés, et de la multiplication des dispositifs technologiques individuels et mobiles ainsi que collectifs permet de couvrir les multiples scénarios de collaboration. Ces technologies facilitent également l'alternance de phases individuelles et de phases collectives, qui sont complémentaires et essentielles en termes de créativité. Du corpus de systèmes étudiés, cinq supports couvrent l'utilisation individuelle et collective : Tatin-PIC (A. Jones et al., 2011), ModLab (Herrmann and Nolte, 2010), TeamStorm (Hailpern et al., 2007), Caretta (Sugimoto et al., 2004), et le système sans nom de (Friess et al., 2012). Si les trois aspects observés sont combinés, aucun des systèmes ne supporte l'ensemble des phases du processus de créativité pour des activités individuelles et collectives en situation de collaboration locale et en équipe virtuelle.

Cette cartographie des systèmes supports à la créativité contribue à l'établissement d'une vision globale des systèmes existants. Les conclusions principales sont le déséquilibre dans la couverture des différentes phases du processus de créativité et le manque de système qui exploitent le potentiel des technologies pour fournir un environnement hybride tout au long des différentes phases de la créativité. L'examen des articles concernant les CSS a également indiqué une diversité limitée des techniques de créativité supportées. A l'heure actuelle, il existe un nombre important de techniques de créativité pour favoriser l'émergence d'idées (Aznar, 2005 ; Michalko, 2006 ; VanGundy, 2008 ; Martin et al., 2012) dans une optique de résolution créative de problème et d'innovation. Pour autant, il semble ne pas exister de système qui soit capable d'accompagner le processus créatif dans ses formes les plus variées. Bien que des cadres théoriques aient été proposés pour concevoir des outils d'aide à la créativité comme le 4C (Cognitif, Collaboration, Conceptuel et Créatif) (Goel et al., 2012), le système répondant à l'ensemble des critères présentés précédemment n'a pas été identifié voire n'existe pas. À l'inverse du cadre théorique 4C (Goel et al., 2012) qui se base principalement sur l'aspect cognitif et donc individuel, nos travaux vont se baser sur l'aspect collaboratif et organisationnel de la créativité étant donné que celle-ci ne peut exister que dans un contexte socio-culturel (Bonnardel, 2006). Dans le cadre de cette thèse, ce contexte se limitera à l'organisation que constitue un atelier de créativité avec les règles que cela implique.

En termes de conception de futur CSS, il y a deux perspectives possibles : créer un système global ou créer un standard pour permettre l'interopérabilité des systèmes dédiés à la créativité. Dans la première perspective, nous considérons le système global comme un système intégré qui couvre l'ensemble du processus de créativité en capitalisant l'ensemble des informations produites par les différents acteurs lors de l'application assistée d'une variété d'activités et de techniques de créativité. À l'inverse, l'idée de la seconde perspective n'est pas de concevoir un méga système mais au contraire de considérer la diversité des supports comme inévitable et faire en sorte que ceux-ci échangent des informations. La notion d'interopérabilité implique que ces systèmes informatiques « parlent » le même langage afin de coordonner, capitaliser et réutiliser les informations produites. La conviction de ces travaux est que les deux approches sont nécessaires et complémentaires pour atteindre un certain niveau d'intelligence et d'assistance durant le processus de créativité. Ainsi pour intégrer la complexité des interactions et de la collaboration des individus lors d'un atelier de créativité, le domaine des systèmes multi-agents ainsi que celui des ontologies seront explorés. Les systèmes multi-agents permettent de faire face à l'accompagnement de situation et de processus complexe en étant au plus près de l'organisation réelle. Pour permettre l'interaction des agents ainsi que des individus qui utilisent le système avec des agents, il est nécessaire de formaliser le domaine de connaissances (Bachimont, 2007).

3.3. Conclusion

L'intention de ce chapitre est d'établir une vue d'ensemble des systèmes supports à la créativité (CSS) actuels. La revue de littérature a permis d'identifier de multiples approches de l'aide à la créativité. Ces systèmes ont été observés au travers des étapes de créativité qu'ils supportent ainsi que des modes de collaboration possibles. La collaboration nécessitant des moyens de communication, les dispositifs technologiques utilisés pour supporter la créativité ont également été observés. L'issue de cette cartographie des CSS est de mettre en évidence que, d'une part une majorité des systèmes se focalise sur la phase de génération, d'autre part aucun système ne considère simultanément l'ensemble des modes de collaboration tout au long du processus de créativité. Pour autant, une partie quasiment majoritaire des systèmes utilise la technologie des services web qui est une technologie prometteuse pour permettre de multiples modes de collaboration.

Sur la base de ce constat et sachant l'évolution du travail en entreprise qui nécessite de plus en plus de créativité pour résoudre des problèmes de plus en plus complexes tout en gérant des modes de collaboration variés, la conception des systèmes supports à la créativité doit être abordés autrement. Pour concevoir un système support à la créativité qui assiste l'ensemble des processus de créativité et les différents modes de collaboration, les perspectives adoptées vont être celles de l'ingénierie des connaissances et des systèmes multi-agents. Afin de concevoir le système multi-agents support à la créativité qui assistera les acteurs d'un atelier de créativité dans leurs activités, il est au préalable nécessaire d'approfondir la notion de processus de créativité et de processus d'atelier de créativité au-delà des quelques étapes citées précédemment. La section suivante va donc explorer la formalisation des activités et des interactions des acteurs en fonction de leurs rôles pour en extraire les connaissances nécessaires, utilisées et créées durant l'atelier de créativité. Le but de la formalisation des connaissances est de concevoir l'outil intelligent d'aide à la créativité, c'est-à-dire adapté et adaptable aux différentes situations de collaboration qui surviennent durant un atelier de créativité.

Partie II

Contribution : le système multi-agents

4. Modélisation du processus collaboratif de créativité

Table des Matières du Chapitre 4

4.1. Les bases d'un atelier de créativité.....	55
4.1.1. Les rôles dans un atelier de créativité.....	55
4.1.2. Les techniques de créativité.....	57
4.1.3. Aspects génériques d'un atelier de créativité.....	58
4.2. Modéliser le processus collaboratif d'un atelier de créativité.....	59
4.2.1. Cadre du processus modélisé.....	60
4.2.2. Approche de modélisation	61
4.3. Formalisation du processus de l'atelier de créativité.....	63
4.4. Conclusion.....	67

Afin d'assister la résolution d'un problème lors d'une démarche collaborative de créativité, la perspective que nous avons adoptée est celle de l'ingénierie des connaissances qui consiste à identifier les connaissances de l'organisation afin de concevoir un système intelligent supportant les activités créatives. Cette notion et celles de créativité et de collaboration ont été abordées dans le chapitre 2. Les limites des systèmes supports à la créativité actuels ont également été mises en évidence dans le chapitre 3. La conclusion est que les différents modes de collaboration des individus tout au long du processus de créativité doivent mieux être intégrés dans les systèmes supports à la créativité. Il est donc nécessaire d'approfondir les connaissances des rôles qui interviennent durant un atelier de créativité et leurs interactions. Pour ce faire, nous proposons de formaliser et représenter le processus collaboratif de créativité, autrement dit nous modélisons l'organisation humaine à la base du système support à la créativité. Sachant l'étendue des représentations auxquelles la notion de créativité réfère, la compréhension et la modélisation effectuées dans ce chapitre vont se baser sur un cas d'application. Ce cas d'application est l'atelier de créativité nommé « 48h pour faire vivre des idées® » organisé annuellement par l'Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (laboratoire ERPI) et l'Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes et de l'Innovation (ENSGSI), toutes deux de l'Université de Lorraine. Depuis quelques années, cet atelier de créativité a atteint une dimension nationale et internationale. Il est organisé simultanément dans différentes universités en France, au Maghreb et en Amérique du Sud. Cet atelier de créativité consiste à proposer des idées solutionnant des problèmes suggérés par des commanditaires industriels. La résolution du problème se fait en équipe avec, autant que possible, des étudiants de disciplines différentes. L'organisation d'un tel atelier ne se limite pas à la production d'idées par les étudiants mais nécessite un processus de préparation préalable et de traitement des résultats qui complexifie la démarche mais qui est déterminant pour son efficacité. Ainsi pour prétendre gérer les connaissances dans le processus collaboratif de créativité d'un atelier, il est nécessaire de représenter et modéliser ce qui se passe durant cet événement. L'enjeu est de mettre en évidence les activités, les rôles, et les connaissances requises et produites durant l'interaction des rôles qui prennent part aux activités. Avant de détailler cette modélisation, de plus amples informations doivent être données pour comprendre ce qu'est un atelier de créativité et les caractéristiques spécifiques du cas d'application « 48h pour faire vivre des idées® ».

4.1. Les bases d'un atelier de créativité

La notion d'atelier de créativité est basée sur le principe de la résolution créative de problème (Creative Problem Solving : CPS) introduit par Alex Osborn avec la technique du Brainstorming (Osborn, 1963 ; Sawyer, 2012). La technique du brainstorming et plus généralement l'approche de résolution créative de problème mettent en place quatre règles : (1) suspendre les critiques durant la génération et les différer à une phase ultérieure, (2) encourager la production des idées les plus décalées, (3) favoriser la quantité d'idées car un grand nombre d'idées augmente la probabilité d'obtenir des idées de qualité, (4) rebondir, combiner et augmenter les idées suggérées par autrui.

4.1.1. Les rôles dans un atelier de créativité

Un atelier de créativité, également connu sous le nom de session de créativité, challenge créatif ou en anglais « creative jam », « creative contest », « innovation challenge » ou encore « creative session », consiste à rassembler diverses personnes (si possible de différents services et/ou de diverses expertises) pour résoudre un problème en appliquant des techniques de créativité. Le but

de ces techniques est de favoriser la discussion, la confrontation de points de vue et de réduire l'inhibition latente (Carson et al., 2003). L'intérêt des techniques de créativité est d'engager les personnes dans des modes de pensée et de raisonnement alternatifs à ceux utilisés habituellement. L'atelier de créativité peut être décomposé en quatre phases itératives selon les étapes de créativité présentes dans la littérature : *analyse de problème*, *génération des idées*, *évaluation des idées*, et *communication/mise en œuvre* (Howard et al., 2008).

Selon ces phases, six différents rôles d'acteurs interviennent dans le processus (Figure 5) : le facilitateur, l'organisateur, les participants qui génèrent des idées que nous appellerons « ideateurs », le décideur, l'expert et l'évaluateur. Selon le contexte de l'atelier de créativité ou son application en entreprise, la phase de *communication/mise en œuvre* est réalisée par les ideateurs. Dans un cas pédagogique tel que l'atelier « 48h pour faire vivre les idées », les ideateurs vont, tout au plus, jusqu'à la création de maquettes esthétiques ou fonctionnelles. Cette quatrième étape est nommée *communication/mise en œuvre* car dans le cas pédagogique, ces maquettes permettent de communiquer l'idée pour l'évaluation et la transmission aux personnes qui vont développer l'idée. Par contre, dans le cas industriel, la maquette peut être considérée comme une mise en œuvre pour des premiers tests.

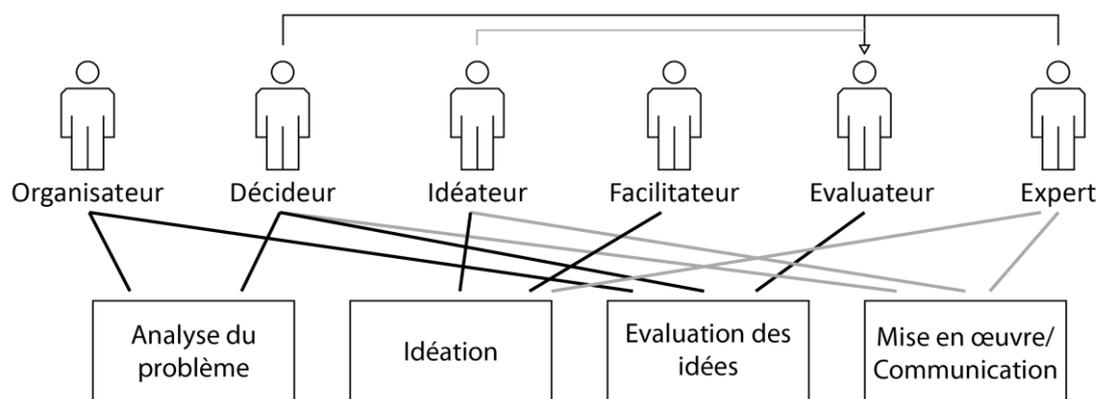


Figure 5 Représentation simplifiée des rôles et de leurs interventions dans le processus de créativité

Au-delà de la différence de limite du processus de créativité entre un cas industriel et un cas pédagogique, les rôles sont plus ou moins les mêmes. Les définitions que nous donnons à ces rôles sont les suivantes :

- L'*organisateur* a la responsabilité de fournir le matériel et d'apporter une infrastructure pour un bon déroulement de l'atelier. Il doit également communiquer avec les différents acteurs de l'atelier. Il communique notamment avec le commanditaire/décideur pour formaliser le problème à résoudre sous la forme d'un sujet, mais aussi de définir l'approche à adopter pour le résoudre, et de définir la stratégie et les critères pour évaluer les artefacts produits durant l'atelier.
- Le *décideur* ou le *commanditaire* est la personne qui apporte le problème à résoudre. Il est le « propriétaire de projet » car il fournit le problème, le contexte et possède des attentes. Il est la personne qui possède le pouvoir de décision concernant la poursuite de l'atelier pour explorer d'autres idées, le développement des idées générées ou l'arrêt complet du processus.

- Les « *idéateurs* » sont les personnes qui vont travailler sur la résolution du problème par l'application de techniques de créativité, la réalisation d'artefacts et la confrontation des solutions proposées. Ils interviennent principalement durant la phase de génération des idées. La constitution du groupe d'idéateurs est de préférence hétérogène en matière d'expertises, de points de vues et de modes de raisonnement (Taggar, 2001). Les idéateurs peuvent également être impliqués dans la phase d'évaluation pour certains critères.
- Le *facilitateur* anime le groupe d'idéateurs dans la création d'une dynamique favorable à la créativité et l'application de techniques durant la phase d'idéation. Le facilitateur possède des connaissances concernant les pratiques créatives notamment pour définir une stratégie de résolution du problème et adapter les techniques à appliquer à l'expérience des idéateurs. La stratégie de créativité est la sélection et l'ordonnancement de techniques de créativité en fonction de l'objectif de l'atelier, du sujet, de l'expérience des participants, de l'expertise des participants, et de l'expérience du facilitateur avec la technique.
- Les *évaluateurs* sont des personnes dont le rôle est celui d'appliquer des critères d'évaluations ou de fournir des retours à propos des idées produites. Le but de leurs interventions est d'aboutir à un consensus concernant les idées ayant un potentiel. Ils peuvent également avoir d'autres rôles comme celui de facilitateur, d'expert ou de décideur. Le nombre d'évaluateurs et leurs tâches dépendent de la stratégie d'évaluation définie au début du processus de l'atelier de créativité par le décideur et l'organisateur. Dans tous les cas, il y a au moins un évaluateur : le décideur. Pendant cette phase d'évaluation, les discussions et les échanges à propos des idées sont encadrés par l'organisateur et/ou le décideur. Dans le cas où les évaluateurs seraient des experts, les critères doivent être adaptés à leurs expertises. Dans le cas particulier où les idéateurs seraient également des experts, ils pourraient également assumer le rôle d'évaluateur mais cela impliquerait d'éventuels conflits d'intérêt concernant la promotion de leurs propres idées.
- Enfin, les *experts* sont des personnes qui possèdent une expertise approfondie d'un domaine technique ou théorique. Ils peuvent participer à deux moments distincts de l'atelier, pendant l'idéation ou bien lors de l'évaluation des idées. Durant la phase de génération des idées, les experts peuvent intervenir à la demande des idéateurs afin de répondre à leurs questions ou confronter l'idée avec une personne ayant plus d'expertise. Lors de la phase d'évaluation, les experts peuvent participer comme évaluateurs pour des critères spécifiques adaptés à leur expertise.

Lors du déroulement d'un atelier de créativité dans une entreprise une même personne peut assumer différents rôles. Par exemple, une personne est simultanément organisateur et décideur, ou organisateur et facilitateur (à condition d'avoir assez d'expérience en termes d'animation d'atelier de créativité).

4.1.2. Les techniques de créativité

Comme cela a été présenté précédemment, la génération des idées est centrée sur l'application de techniques de créativité par le groupe d'idéateurs avec l'aide de facilitateur. La résolution créative de problème (Creative Problem Solving) (Osborn, 1963), initialement introduite avec la technique du brainstorming, est maintenant complétée par de très nombreuses autres techniques de créativité comme par exemple (de Bono, 1999 ; Aznar, 2005; Michalko, 2006 ; VanGundy, 2008 ; Martin et al., 2012) . La résolution créative de problèmes est finalement une démarche globale fournissant le

cadre et les règles pour créer une dynamique dans laquelle il est possible d'intégrer diverses techniques (Magyari-Beck, 1999). Malgré la quantité croissante de techniques de créativité, celles-ci sont basées sur des heuristiques plus ou moins communes afin de forcer des opérations mentales pour réarranger et reformuler les connaissances des personnes et générer des idées (Mumford and Norris, 1999). Ces heuristiques ont été structurées en 17 règles générales qui représentent autant de manières différentes de traiter l'information pour résoudre un problème (Strzalecki, 2000). L'efficacité de ces méta-heuristiques dépendent de la progression dans le processus de créativité, certaines heuristiques sont préférables pour l'analyse du problème, tandis que d'autres sont plus adaptées à la génération ou à l'évaluation des idées (Strzalecki, 2000). De fait, selon le problème, le contexte, les résultats attendus (idées ou solutions), et les phases du processus de créativité, les heuristiques permettent d'organiser l'application des techniques de créativité (Li et al., 2007). Une alternative à l'application de techniques pour explorer les différents modes de pensées est de former les personnes afin qu'ils aient des modes de pensées créatives. Expérimenter et apprendre la résolution créative de problèmes ainsi que travailler la flexibilité cognitive peut être réalisé selon une pédagogie active durant des formations (par exemple (Basadur et al., 1982 ; Higuchi et al., 2012)) ou des projets pédagogiques (par exemple (Wang, 2001 ; Orono and Ekwaro-Osire, 2006 ; Mingshun, 2010)). Les formations et les techniques de créativité n'améliorent pas per se la flexibilité et la fluidité de la production d'idées mais introduisent des valeurs d'exploration et d'originalité dans le comportement des personnes (Perkins, 1988).

4.1.3. Aspects génériques d'un atelier de créativité

Comme cela a été défini précédemment, un atelier de créativité est la résolution créative d'un problème avec une dynamique collaborative propice à la créativité. La résolution du problème et la création de la dynamique se fait par l'implication et la coordination d'acteurs avec différents rôles, et par l'application de techniques de créativité. Cette approche de la créativité telle quelle est considérée dans ce chapitre est spécifique aux vues de certaines caractéristiques :

- la nature et le type de résultat attendu (idées, présentations, preuve de concept, maquette conceptuelle, maquette fonctionnelle, matrice d'affaires,...),
- le temps alloué pour l'atelier, la création d'une dynamique créative, et la nature de la dynamique (individuelle, collective, collaborative, compétitive).

Un exemple d'atelier de créativité est l'« hackathon » qui est un évènement où des personnes se rassemblent pour résoudre un problème donné par un commanditaire qui ne trouve pas de solution adaptée. Initialement, les hackathons sont issus du domaine de l'informatique où des personnes tentent, seuls ou en équipe, de créer des algorithmes pour tester la sécurité de systèmes informatiques. Ce concept de hackathon s'étend maintenant à divers domaines tels que l'environnement^{13,14}, le big data¹⁵, la santé¹⁶, ou encore les musées¹⁷. Les spécificités d'un hackathon sont : d'être limité dans le temps, d'avoir à l'issue de ce temps un prototype fonctionnel qui illustre

¹³ Hackathon Climat Nancy : <http://hackathon-climat.bemyapp.com/>

¹⁴ EcoHack MTL : <http://ecohackmtl.org/>

¹⁵ Hack Data Nancy : <http://www.waza.education/hackathon/>

¹⁶ Hacking Health Montreal : <http://defi-innovation-sante.org/>

¹⁷ MuseoMix : <http://www.museomix.org/>

une solution et, selon le caractère compétitif du hackathon, de déclarer une équipe vainqueur. Les expertises et les connaissances au sein de l'équipe participante sont formalisées lors de l'inscription pour permettre la mixité des expertises et ainsi augmenter les chances d'atteindre les résultats attendus.

Les modalités d'un atelier de créativité sont similaires à celles d'un hackathon à la différence que le résultat attendu n'est pas une solution fonctionnelle mais une grande quantité d'idées représentant des solutions. Ces idées de solutions peuvent éventuellement être développées sous la forme d'un « business model canvas » (Osterwalder and Pigneur, 2010) pour expliciter rapidement et simplement les différents aspects de l'idée et faciliter l'évaluation future de sa viabilité. Par rapport aux situations rencontrées en entreprise, le contexte d'un atelier de créativité ou d'un hackathon peut paraître « artificiel ». Dans le cadre de ces travaux de recherche, nous émettons le postulat que quels que soient la situation (industrielle ou pédagogique), les connaissances mobilisées pour l'organisation et la mise en œuvre d'une telle démarche sont semblables. La différence réside dans la distribution des rôles parmi les individus sachant que l'ensemble des connaissances requises pour un rôle ne sont pas forcément possédées par une même personne. Une personne peut avoir plusieurs rôles différents dans un atelier et un rôle peut également être investi par plusieurs personnes. Par exemple, dans une entreprise, le commanditaire peut être un responsable qui a identifié un problème pour lequel aucune solution générée de manière habituelle n'est satisfaisante. Dans ce cas, cette entreprise n'a pas forcément de facilitateur attitré pour animer la réunion de travail/atelier de créativité, le responsable peut être initié à l'animation de sessions de créativité, ou bien les participants sont initiés à ce genre de pratique et partagent l'animation entre eux (cas des bureaux de design). Dans ce cas, les participants sont également des experts de leur domaine d'activité. Ainsi dans une entreprise, les rôles peuvent être considérés de manière identique mais leur attribution aux acteurs s'effectue de manière différente. Avec la collaboration à distance, les interactions entre les acteurs restent potentiellement les mêmes mais la nature des interactions et les modes d'interactions diffèrent, influençant la collaboration et la dynamique de créativité.

Dans l'optique de créer un système facilitant la mise en œuvre et le pilotage du processus collaboratif de créativité, l'intérêt est de connaître les activités, les interactions, les connaissances impliquées dans le cas intégrant les six rôles. Supporter un autre cas impliquerait de distribuer ou de substituer ces activités, ces interactions et ces connaissances. Ayant identifié les rôles nécessaires à un atelier de créativité, la section suivante présente la démarche et une proposition de modélisation du processus d'atelier de créativité.

4.2. Modéliser le processus collaboratif d'un atelier de créativité

Dans le domaine de l'ingénierie des connaissances ou de l'intelligence artificielle, la conception d'un système reproduisant ou accompagnant l'activité humaine est précédée par la modélisation (Victorri, 1989 ; Bachimont, 2007). Dans le cas présent, la modélisation des activités d'un atelier de créativité permet de déterminer quelles sont les informations créées et utilisées par les acteurs. Ainsi, dans un premier temps, l'objectif est de cartographier les connaissances au sein du processus de créativité, c'est-à-dire caractériser les rôles des personnes impliquées dans l'atelier de créativité et déterminer les connaissances et les compétences qu'ils créent, utilisent et partagent. Pour réaliser cette cartographie par la représentation du processus de créativité d'un l'atelier, il faut intégrer les parties prenantes qui organisent et participent. La modélisation qui va suivre se base sur une expertise

personnelle de l'atelier de créativité « 48h pour faire vivre des idées » dans lequel j'ai pu expérimenter le rôle d'idéateurs, d'animateur et d'organisateur. La réflexion autour du déroulement d'un atelier de créativité a également été enrichie par la participation et l'animation d'évènement de créativité annexes. Dans une perspective d'améliorer la compréhension des parties prenantes et notamment les idéateurs pour améliorer l'accompagnement, nous avons mis en œuvre des enquêtes à l'issue des éditions 2013, 2014, et 2015. De la connaissance du déroulement d'un atelier de créativité des différents points de vue, nous avons étendu les concepts de rôles et de phases avec sept autres concepts pour modéliser le processus de créativité. Les relations de ses neuf concepts sont formalisées par la Figure 6. Ces concepts permettront ensuite d'étendre le domaine de connaissances associé aux ateliers de créativité.

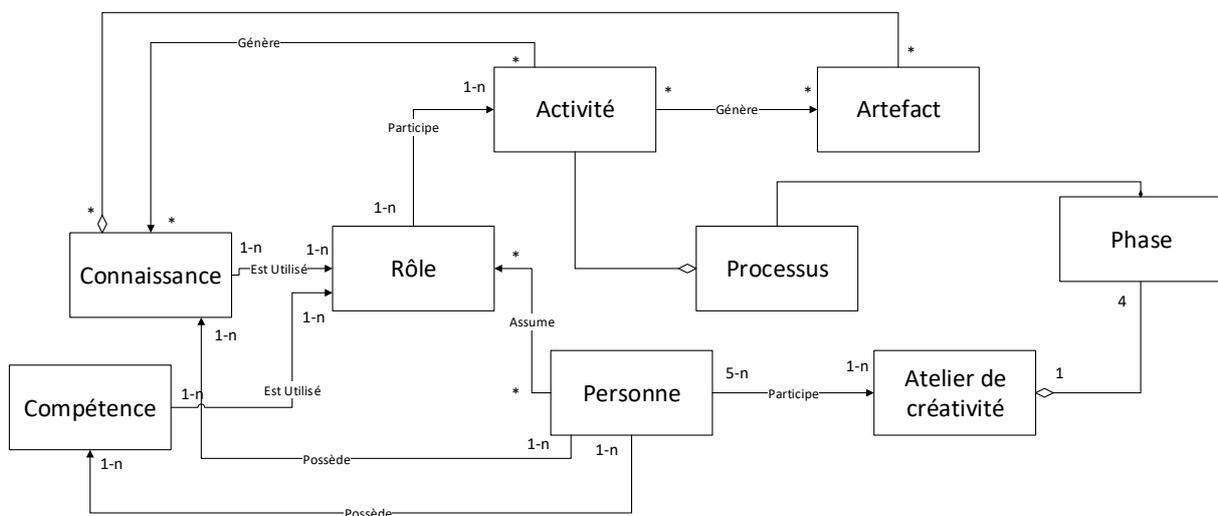


Figure 6. Modèle conceptuel de la modélisation du processus créatif d'un atelier de créativité

4.2.1. Cadre du processus modélisé

Dans un contexte de conception d'un système support à la créativité pour l'ensemble des rôles tout au long du processus de créativité, les limites du processus doivent être définies. Selon le contexte et la perspective souhaitée, le cadre de la modélisation du processus peut être différent. Cela dépend de ce qui est considéré comme faisant partie ou non d'un atelier de créativité. La perception des limites d'un atelier de créativité dépend de l'expérience de chacun des acteurs, du rôle endossé et du contexte. En effet, selon le rôle choisi comme point de vue, le début et la fin d'un atelier de créativité ne sont pas les mêmes. Pour le facilitateur, cela commence par l'organisation des techniques de créativité. En ce qui concerne les idéateurs, la première activité est l'application des techniques de créativité. Pour ce qui est de l'organisateur, le début correspond à la formalisation du problème et l'organisation de l'atelier. Le contexte d'un atelier de créativité influençant la distribution des rôles ainsi que les compétences et les connaissances requises, le contexte impacte également les limites du processus de créativité. Ainsi deux contextes ont été distingués, le contexte industriel et le contexte pédagogique.

Dans le cas d'un atelier de créativité avec des acteurs issus d'une entreprise, le commanditaire fait partie de l'entreprise. Cela peut être une équipe de travail ou l'équipe de direction. Dans tous les cas, un problème non-résolu de manière routinière a été identifié. A partir de l'identification de ce problème à résoudre et de la manifestation du commanditaire concernant la nécessité de mettre en

œuvre un atelier de créativité, le processus créatif d'atelier peut être modélisé. Le processus se termine selon la décision du commanditaire. Excepté si le commanditaire déclare l'abandon de la démarche, la limite du processus est assez floue. Une fois les idées satisfaisantes de solutions potentielles déterminées, les idées évoluent de maquette en prototype pour finalement être mises en œuvre. Le processus reste un processus créatif tout du long mais ce n'est plus celui d'un atelier de créativité.

Dans des cas pédagogiques ou externalisés de l'entreprise, le début du processus de l'atelier est marqué par la manifestation du commanditaire avec une partie voire la totalité du problème identifié. La préparation de l'atelier de créativité débute dès la formalisation du problème. Dans le cadre des ateliers « 48h pour faire vivre des idées® » observés, à l'inverse du cas en entreprise, le processus se termine clairement par la présentation des maquettes et prototypes des idées les plus prometteuses. L'éventuelle suite à donner à la résolution du problème est de la responsabilité de l'entreprise commanditaire avec l'ensemble des idées et du matériel généré.

Pour résumer, la modélisation de l'atelier pédagogique « 48h pour faire vivre des idées® » commencera par la manifestation du commanditaire et se terminera par la communication des idées évaluées et non évaluées au commanditaire. Libre à l'entreprise de développer en interne les idées qui lui semblent les plus pertinentes. Une fois que le début et la fin de la modélisation ont été définis, une autre limite concerne la finesse de modélisation. En effet, un atelier consiste à appliquer des méthodes de créativité en groupe dont la sélection et l'enchaînement sont spécifiques à chaque atelier de créativité. Ainsi, la finesse de la modélisation ne détaillera pas l'enchaînement spécifique des méthodes de créativité. Il sera question de sélection, d'ordonnement et de changement de technique mais aucune technique ne sera mentionnée explicitement.

La modélisation d'un atelier de créativité que nous proposons sera spécifique à l'atelier pédagogique « 48h pour faire vivre des idées® » tout en restant suffisamment générique pour convenir à des démarches ou des événements semblables. La modélisation, dont l'approche va être présentée dans la sous-section suivante, débute par la manifestation d'un commanditaire auprès d'un organisateur, termine par la présentation des idées au commanditaire, et ne détaille pas les techniques de créativité appliquées.

4.2.2. Approche de modélisation

La modélisation du processus d'un atelier de créativité se base sur les 4 phases issues de la littérature, c'est-à-dire l'analyse du problème, la génération d'idées, l'évaluation des idées et la mise en œuvre/communication. Ces 4 phases sont développées par les activités qui les composent à partir de l'observation d'ateliers. Cette modélisation a mis en évidence les mécanismes de créativité et de partage de connaissances. Comme cela a été défini précédemment, ces étapes du processus de créativité impliquent la collaboration d'acteurs avec différents rôles pour résoudre le problème créativement. Partant du principe que la créativité est un processus de mobilisation et de création de connaissances (Gurteen, 1998 ; Gero and Kannengiesser, 2004), nous supposons qu'il en va de même des collaborations lors de la réalisation des activités du processus. L'approche de modélisation est donc de représenter l'enchaînement des activités avec le formalisme IDEF-0 (Cheng-Leong et al., 1999) pour éliciter les rôles participant et les artefacts produits, et ensuite détailler la collaboration pour chacune des activités avec le formalisme RIOCK (Monticolo et al., 2007).

IDEF-0 est à la fois une méthode de conception, un outil de communication et un outil d'analyse. Il permet de modéliser les activités d'une organisation ou d'un système. De plus, il facilite la communication et le consensus entre les experts et les décideurs. C'est également un outil d'analyse car il permet de se situer dans le fonctionnement d'une organisation ou d'un système et d'identifier les activités qui ne se déroulent pas correctement. Dans le cas de la modélisation d'activités intellectuelles, IDEF-0 met en évidence les informations entrantes et sortantes de l'activité mais aussi celles qui conditionnent la réalisation de l'activité ainsi que les ressources matérielles et immatérielles nécessaires. Ainsi, dans le cas présent de la modélisation du processus d'un atelier de créativité, IDEF-0 permet de représenter les activités qui composent les phases du processus de créativité ainsi que les connaissances qu'elles nécessitent et produisent, et les rôles impliqués dans l'activité. Les activités sont d'une certaine manière des transformations de connaissances. IDEF-0 permet donc de représenter la succession des activités collectives et collaboratives d'un atelier de créativité en explicitant les rôles des individus prenant part à l'activité. Pour autant, dans la perspective d'une seule activité, IDEF-0 ne rend pas compte de l'apport de chacun des rôles dans la réalisation de l'activité, c'est-à-dire que cela ne met pas en évidence le détail de la contribution de chacun des rôles pour la transformation et la génération de nouvelles connaissances et de nouveaux artefacts. Pour apporter plus de détails concernant les compétences spécifiques nécessaires à chacun des rôles pour réaliser chaque activité, nous allons utiliser le formalisme RIOCK.

L'objectif de RIOCK (Role, Interaction, Organisation, Competence, and Knowledge) est de mettre en lumière les interactions des rôles et surtout de mettre en évidence les compétences et les connaissances utilisées, générées et partagées durant la réalisation d'une activité. Chaque activité du processus représenté par le formalisme IDEF-0 est considérée comme une sous-organisation particulière et temporaire. Une organisation étant un ensemble de rôles en interaction les uns avec les autres (Ferber et al., 2004) dans le but de réaliser un objectif commun, les activités peuvent être considérées comme des sous-organisations de l'atelier de créativité qui est également une organisation. Ainsi chaque activité, considérée comme sous-organisation particulière et temporaire, peut être représentée par le formalisme RIOCK. Le formalisme RIOCK est illustré par la Figure 7 qui montre comment sont organisés les différents concepts. Ainsi, le nom de l'activité étudiée définit le cadre de la représentation de la collaboration des rôles. Chaque rôle participant à l'activité, qu'il soit assumé par une ou plusieurs personnes, est représenté de manière unique avec les compétences nécessaires pour la collaboration dans le cadre de l'activité et les connaissances associées à ces compétences. Certaines connaissances peuvent être communes à des individus qui vont la mobiliser pour des compétences différentes. A l'issue de la collaboration des rôles, un ou plusieurs résultats sont produits avec les connaissances associées.

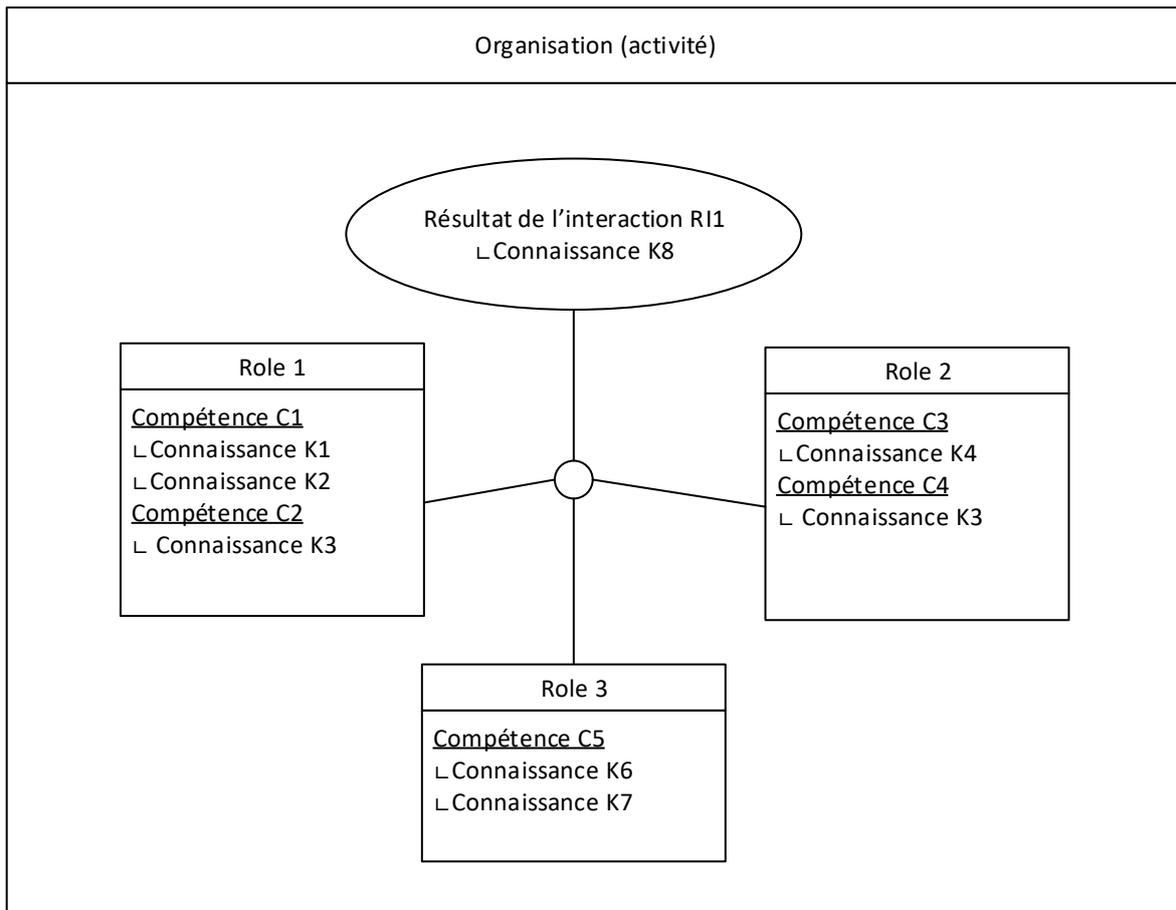


Figure 7.Représentation graphique des concepts de RIOCK d'une organisation

L'application de RIOCK permet de représenter les rôles par l'ensemble des connaissances et des compétences qu'ils mettent en œuvre tout au long du processus d'un atelier de créativité. Cette modélisation établit la cartographie des compétences et des connaissances de chacun des rôles.

4.3. Formalisation du processus de l'atelier de créativité

Le processus de créativité peut être structuré de manière globale par les 4 phases suivantes (Howard et al., 2008) : l'analyse du problème, la génération d'idées, l'évaluation des idées et communication/mise en œuvre. La Figure 8 présente le processus global de créativité cité ci-dessus selon le formalisme IDEF-0. Cette figure permet d'avoir une compréhension globale du processus en représentant visuellement les rôles qui participent à la réalisation de chacune des étapes ainsi que les artefacts et les connaissances produites par chaque phase et réutilisées par les autres. Bien que la Figure 8 soit intéressante, elle est bien trop générique pour que l'application de RIOCK ait un intérêt et une utilité. La décomposition ascendante/descendante de IDEF-0 permet de raffiner les activités de chacune de ces étapes. Dans un souci d'être concis dans la démonstration de la manière de faire, nous considérerons la phase de génération des idées au travers de l'activité « *Générer des idées* ». Le sous-processus correspondant à cette activité est représenté par la Figure 9. Le fait que cette phase commence par A21 « *Organiser l'enchaînement des techniques de créativité* », qui est une activité d'ordonnancement des techniques de créativité qui vont être appliquées par les idéateurs et le facilitateur, est discutable. Il a été considéré que la phase A1 « *Analyser le problème* » impliquait uniquement le commanditaire et l'organisateur, et que c'était le résultat de cette activité qui

conditionnait l'orientation à donner à l'atelier de créativité par le facilitateur. Ce choix s'explique également par le fait que durant l'atelier « 48h pour faire vivre des idées® », il y a plusieurs groupes de travail avec autant de facilitateurs, chacun possède une manière particulière d'animer l'atelier de créativité avec des préférences et des expériences spécifiques pour certaines techniques. Ainsi, selon les groupes, les techniques de créativité appliquées et leurs ordonnancements ne sont pas les mêmes. Une fois la sélection et l'ordonnement des techniques de créativité à appliquer réalisés, la première technique peut être effectuée par les idéateurs avec l'aide du facilitateur. Ces techniques de créativité peuvent nécessiter des informations concernant le problème et son contexte mais également des éléments de stimulation ou d'inspiration pour solliciter l'imagination des idéateurs. En fonction de la dynamique de groupe, des idées générées et éventuellement de l'évolution de la problématique explorée, le facilitateur fait le choix de passer à une autre technique de créativité. Durant l'application des techniques de créativité, différents artefacts sont générés et provoquent également l'émergence d'idées. Ces idées auraient pu être formalisées durant cette phase mais le choix a été fait que les idées soient formalisées durant l'activité A4. Bien que la formalisation de l'idée soit importante, elle a plus à voir avec la phase de communication/mise en œuvre que la phase de génération d'idées. Cette activité peut être en alternance entre chaque technique de créativité ou à des moments dédiés dans la planification des techniques de créativité.

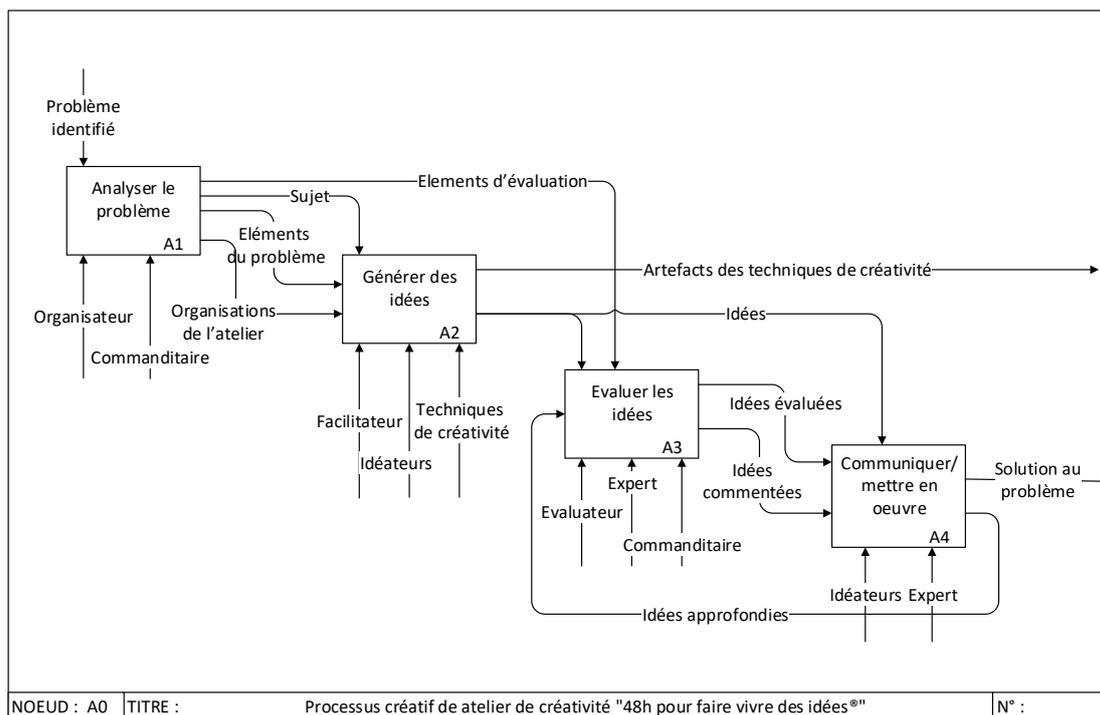


Figure 8. Processus global (A0) de créativité de l'atelier "48h pour faire vivre des idées®"

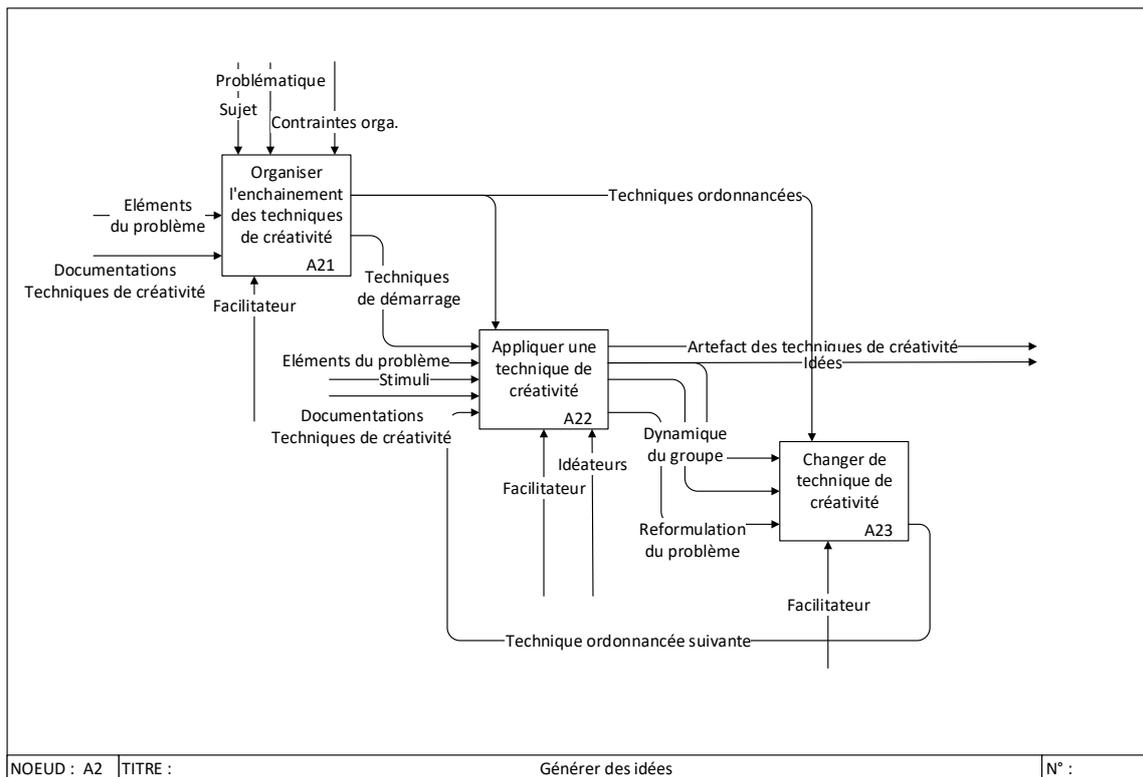


Figure 9. Représentations IDEF-0 de l'activité A2 "générer des idées"

Ainsi, bien que le formalisme IDEF-0 permette de décomposer les activités et que chacune des activités possède des ressources, cela ne permet pas de rentrer dans le détail des compétences et des connaissances nécessaires à la réalisation de l'activité. L'intérêt de RIOCK est de représenter les compétences et les connaissances lors de la collaboration de rôles pour réaliser certaines activités. Dans le cas de l'activité A2, seule l'activité « *Appliquer une technique de créativité* » est l'objet de collaboration. Cette activité possède donc un intérêt pour être modélisée avec le formalisme RIOCK afin d'explicitier les connaissances et les compétences des rôles en interactions. Ainsi la Figure 10 met en évidence les deux rôles impliqués dans l'activité A22 et les quatre résultats attendus : l'*artefact* produit par la technique de créativité, l'*idée*, la *reformulation du problème* induit par la technique, et la *dynamique de groupe*. L'*artefact* et la *dynamique de groupe* sont deux résultats perceptibles tandis que l'*idée* et la *reformulation du problème* sont plutôt des connaissances associées au résultat de la technique. Etant donné que ces connaissances sont explicitement utilisées pour d'autres activités, nous les avons considérées comme des résultats à part entière. Pour produire ces résultats, le facilitateur doit aider les idéateurs à appliquer la technique de créativité et créer une dynamique de groupe favorable pour qu'ils soient créatifs. Les idéateurs doivent, quant à eux, appliquer la technique de créativité, c'est-à-dire collaborer avec les autres idéateurs. Ces compétences aboutissent à la production de certains des résultats attendus en fonction de la technique de créativité appliquée. Pour appliquer ces compétences, certaines connaissances sont nécessaires. Ces connaissances sont soit personnelles par le biais de l'expérience et la formation de chaque individu, soit elles sont issues d'informations générées par d'autres activités et sont donc les entrées de l'activité selon le diagramme IDEF-0. Si l'on prend l'exemple de la compétence « *Aider le groupe à appliquer la technique de créativité* » du facilitateur, celui-ci possède la connaissance de la technique

de créativité à appliquer en accord avec l'ordonnancement réalisé en amont. Selon son expérience, il sait également comment mettre en œuvre la technique de créativité et les règles pour l'appliquer. Si l'on prend l'exemple de l'idéateur (figure 7), la compétence « *Appliquer une technique de créativité* » nécessite des connaissances individuelles liées à l'expérience de chacun pour nourrir la réflexion et les échanges avec les autres idéateurs mais aussi des connaissances fournies telles que l'objectif de la technique, la procédure d'application de la technique, l'information concernant le problème ou encore des stimuli pour déclencher des idées.

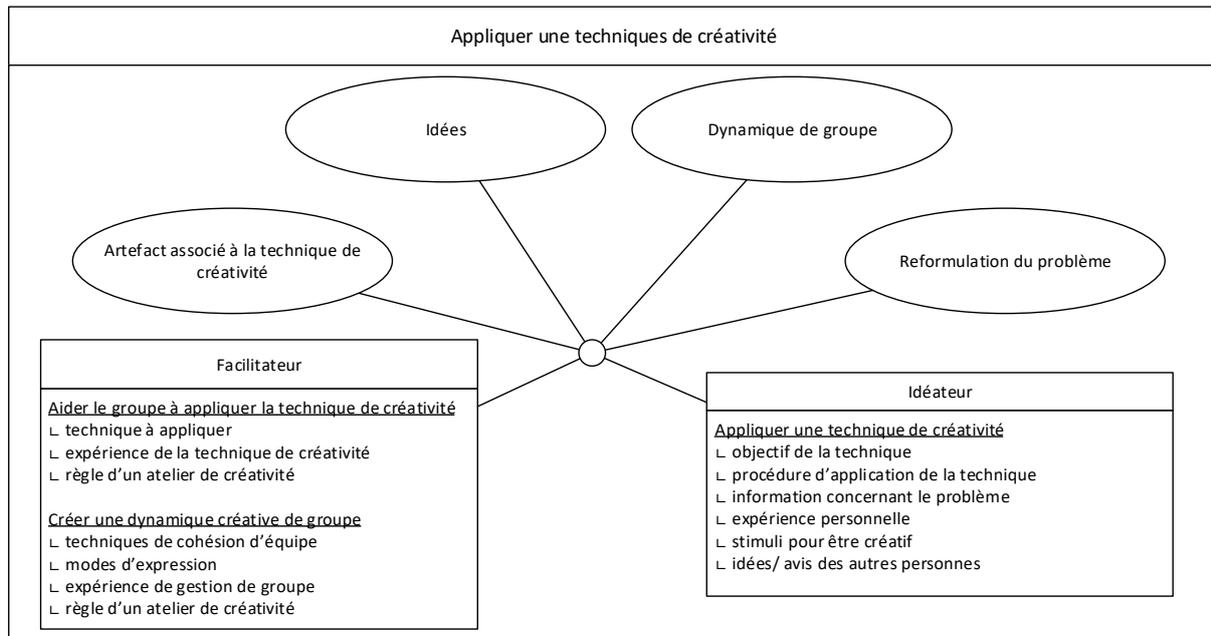


Figure 10. Représentation RIOCK de l'activité A22 "Appliquer une technique de créativité"

Ainsi cette approche itérative, en utilisant le formalisme IDEF-0 pour représenter le processus de créativité puis le formalisme RIOCK pour modéliser les interactions au sein du processus permet d'explicitier et cartographier les compétences et les connaissances de chaque rôle. Les Figure 11 et Figure 12 sont des exemples de cartographies des compétences et des connaissances pour respectivement le rôle de commanditaire et d'idéateur. Avec le rôle d'expert, le commanditaire et l'idéateur sont les rôles qui sollicitent le moins de compétences spécifiques mais finalement qui fournissent le plus de connaissances dans le processus. La section suivante discute la modélisation du processus et la cartographie des compétences et connaissances.

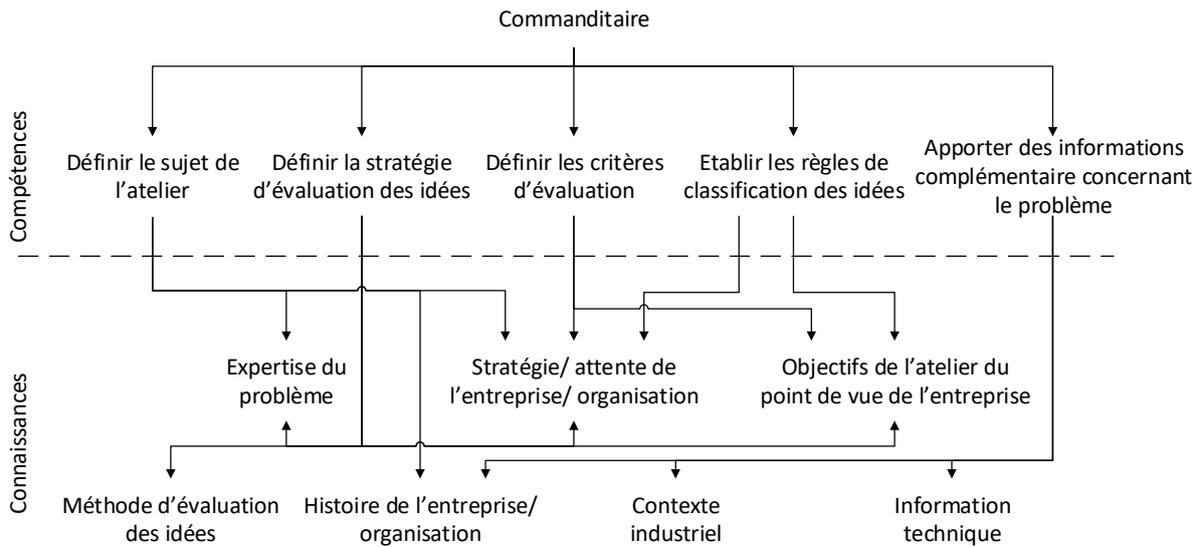


Figure 11. Cartographie des compétences et connaissances pour le commanditaire

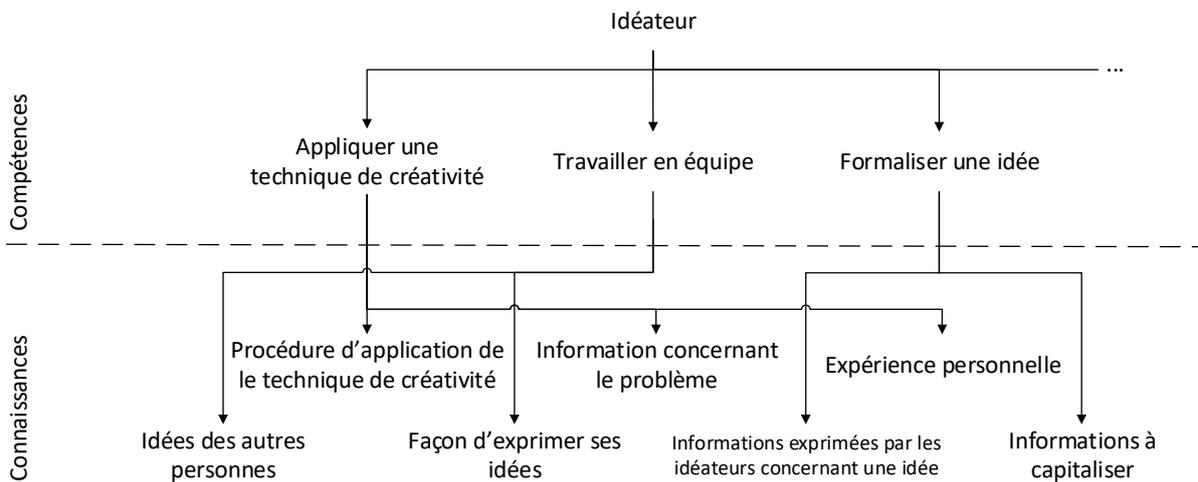


Figure 12. Extrait de la cartographie des compétences et des connaissances pour l'idéateur

4.4. Conclusion

Dans le cadre de ce chapitre, nous proposons une représentation du processus collaboratif d'un atelier de créativité afin de mettre en évidence les connaissances impliquées dans l'interaction des individus. Suite à l'observation des ateliers de créativité « 48h pour faire vivre des idées® », une modélisation du processus a été réalisée à l'aide des formalismes IDEF-0 et RIOCK pour mettre en évidence les rôles, les compétences et les connaissances impliquées dans le processus collaboratif qui structure un atelier de créativité. La modélisation du processus collaboratif de créativité a abouti à la décomposition du processus de créativité de quatre phases en 17 activités (Annexe B). Bien que le formalisme IDEF-0 permet la décomposition ascendante/descendante, ce formalisme a uniquement été utilisé pour le premier niveau de décomposition de la modélisation tandis que la décomposition des activités a été réalisée avec le formalisme RIOCK. Le passage d'un processus de créativité générique issu de la littérature à un processus spécifique de créativité propre à un atelier

de créativité apporte des opportunités d'instrumentation de ce genre d'atelier. En effet, l'identification des activités ainsi que des connaissances qui y sont produites permettent de concevoir les outils adaptés pour chaque moment du processus collaboratif d'un atelier de créativité. De plus, bien qu'il puisse être reproché au formalisme IDEF-0 d'être linéaire, la modélisation a malgré tout illustré des retours d'informations à des activités amont confortant l'aspect non linéaire du processus collaboratif de créativité.

A l'issue de cette modélisation, il nous a été possible de définir les compétences et les connaissances attendues pour chacun des rôles lors d'un atelier de créativité. Bien que la quasi-totalité des connaissances énumérées soient nécessaires au bon déroulement du processus, certaines sont malgré tout plus stratégiques que d'autres, car elles impactent un nombre important de compétences. C'est notamment le cas des informations liées au sujet ou au problème qui conditionnent plusieurs compétences pour différents rôles, c'est également le cas des informations liées aux techniques de créativité ou aux méthodes d'évaluation. Différentes catégories d'informations sont à distinguer dans la modélisation : les connaissances produites et les connaissances supports. Les connaissances produites sont les connaissances formalisées durant l'atelier, qui conditionnent la réalisation de compétences et qui vont être transmises aux différents rôles selon leurs besoins. Il s'agit des connaissances formalisées concernant le problème, le sujet, les techniques de créativité et leur ordonnancement, les critères d'évaluation, et les idées. Les connaissances supports sont les connaissances mobilisées pour réaliser les activités, nous pouvons distinguer deux types de connaissances supports : spécifiques à l'atelier de créativité et spécifiques à l'expertise individuelle. Les connaissances supports spécifiques à l'atelier de créativité sont les connaissances concernant les techniques de créativité, l'organisation de ces techniques, ou encore les méthodes d'évaluation des idées. Si elles s'avèrent être manquantes, elles peuvent être substituées par de la documentation. Les connaissances supports spécifiques aux individus telles que leurs expertises et leurs expériences sont utilisées pour appliquer les compétences associées à leur rôle. Ces compétences sont utiles notamment pour la formulation du problème par le commanditaire, pour la suggestion d'idées par les idéateurs durant les techniques de créativité, ou encore pour l'évaluation des idées par les évaluateurs.

D'autre part, la modélisation de l'atelier de créativité « 48h pour faire vivre des idées® » a permis de mettre en évidence le caractère hétérogène des activités réalisées (individuelles ou collectives), la nature hétérogène des participants (idéateur, facilitateur, commanditaire, etc.) ainsi que le caractère distribué des activités et des connaissances nécessaires au bon déroulement de l'atelier. Ces propriétés hétérogènes et distribuées nous conduisent à envisager le développement, dans le chapitre suivant, d'un système intelligent basé sur une approche multi-agents pour supporter ce processus collaboratif de créativité, étant donné que les systèmes multi-agents ont des propriétés similaires. L'objectif de ce système multi-agents est d'aider les individus impliqués dans un atelier de créativité à réaliser les activités associées à leurs rôles par la gestion des connaissances produites ainsi que des connaissances liées à la gestion et la mise en œuvre de l'atelier.

5. Un système intelligent pour supporter le processus collaboratif d'un atelier de créativité

Table des Matières du Chapitre 5

5.1. Agents et système multi-agents	72
5.1.1. Définitions d'un agent et d'un système multi-agents	72
5.1.2. Conception d'un système multi-agents.....	72
5.1.3. Système multi-agents appliqué à la créativité	73
5.2. Méthodologie pour modéliser un système multi-agents	74
5.2.1. Modèle de structure organisationnelle.....	75
5.2.2. Modèle de processus.....	76
5.2.3. Modèle d'activité.....	78
5.2.4. Caractéristiques de rôle.....	79
5.3. Modélisation appliquée aux ateliers de créativité.....	80
5.3.1. De l'organisation des agents humains aux agents cognitifs.....	81
5.3.2. De l'organisation des agents computationnels aux agents réactifs.....	84
5.3.3. Interactions entre les organisations cognitives, réactives et la base de connaissance	90
5.4. Conclusion.....	92

Le chapitre précédent décrit le processus collaboratif de l'atelier de créativité « 48h pour faire vivre des idées® ». A l'issue de la modélisation de ce processus avec la combinaison des formalismes IDEF-0 (Cheng-Leong et al., 1999) et RIOCK (Monticolo et al., 2007), les activités constituant le processus ont été explicitées avec les rôles qui y participent ainsi que les compétences et les connaissances nécessaires à ces rôles pour achever ces activités. Ceci crée un processus complexe, hétérogène et distribué. Lors d'un atelier de créativité, les individus travaillent ensemble pour résoudre collaborativement un problème. Ils interagissent et partagent leurs connaissances, savoir-faire et expériences. Ils forment des groupes organisés où la connaissance est créée, partagée, évaluée et mise à jour de façon dynamique (Chu et al., 2014). L'atelier de créativité est un système complexe où la distribution de connaissances hétérogènes entre les acteurs n'a pas la même importance dépendamment du rôle de l'individu. C'est également un processus distribué car la collaboration peut impliquer des membres physiquement distants introduisant des modes d'interactions distribuées synchrones ou asynchrones. Etant données ses caractéristiques, la conception de ce système doit être pensée en conséquence.

Pour supporter la diversité des possibles situations lors d'un atelier de créativité, le système support doit être conçu pour être réactif, proactif et flexible. Cela signifie respectivement que le système doit être capable d'identifier les connaissances mobilisées et générées lors d'une activité, proposer des connaissances adaptées aux acteurs lors de la réalisation de leurs activités, et enfin s'adapter aux changements de contexte et d'acteurs. Le domaine de recherche sur les Système Multi-Agents (SMA) explore ces questions. Ce domaine de recherche poursuit deux objectifs majeurs (Ferber, 1995) : modéliser une organisation afin d'observer et prévoir les comportements comme c'est le cas dans le domaines des sciences humaines et sociales (Amblard and Phan, 2006), ou réaliser un système distribué capable d'accomplir des tâches complexes en ayant recours à des mécanismes de collaboration. Dans le cadre de ce chapitre, nous proposons d'utiliser une approche orientée agents pour concevoir un système adapté et adaptable au fonctionnement complexe d'une organisation. L'objectif est de considérer les interactions entre les individus participant à un atelier de créativité dans le but de les aider à réaliser leurs activités individuelles et collaboratives. Plus spécifiquement, nous considérons que l'aide à la réalisation des activités de l'atelier de créativité est de gérer les connaissances associées à l'atelier, c'est-à-dire, comme défini dans le chapitre 4, les connaissances produites lors de l'atelier et les connaissances supports spécifiques à la créativité. Selon la démarche de conception du système multi-agents support à la créativité introduit dans le chapitre 1, ce chapitre aborde donc la définition de l'architecture du système.

À l'instar des systèmes de management des idées (SMI) (Getz and Robinson, 2003), les systèmes supports à la créativité ne sont pas uniquement des systèmes informatiques. Ils doivent s'intégrer dans une organisation avec une politique en termes d'innovation et de créativité, une implication des cadres dirigeants et un management adapté. Afin de mettre en œuvre un système support à la créativité, il faut d'abord considérer le fonctionnement de l'organisation afin d'intégrer des pratiques managériales destinées à encourager la production d'idées. Du fait de l'environnement complexe, collaboratif et dynamique que représente un atelier de créativité, la conception d'un SMA pour assister la collaboration et la gestion des connaissances semble justifiée. Pour concevoir un SMA, il faut au préalable prendre en compte les collaborations et les échanges de connaissances entre les individus. Pour formaliser ces informations et les intégrer dans la conception du SMA, il faut adopter une approche organisationnelle, c'est-à-dire modéliser les interactions des individus au sein d'une organisation afin de comprendre son fonctionnement. Cela semble inévitable dans le but de

concevoir un système qui doit s'intégrer dans une organisation pour en améliorer son fonctionnement. De plus, les SMA et l'approche organisationnelle sont d'autant plus compatibles qu'ils mettent tous deux en œuvre un objet commun : la relation agent/individu. Dans le but de concevoir un système support à la créativité, ce chapitre présente la conception d'un système multi-agents avec une approche organisationnelle. La première section de ce chapitre rappelle les notions d'agent et de système multi-agents présentés dans le chapitre 2 pour introduire la démarche de conception d'un SMA ainsi que la notion d'agent dans le cas d'un atelier de créativité. La section suivante présentera la méthodologie appliquée pour concevoir le SMA du système support à la créativité. Enfin, d'après la présentation de la méthodologie, une section détaillera son application. Finalement, l'approche de conception et le SMA seront discutés avant de conclure.

5.1. Agents et système multi-agents

5.1.1. Définitions d'un agent et d'un système multi-agents

Il a été question d'agent et de système multi-agents mais jusqu'à maintenant ces concepts n'ont pas été définis. Un agent est une entité physique ou virtuelle qui possède plusieurs propriétés (Ferber, 1995) : - la capacité d'agir avec son environnement, - la capacité de communiquer directement avec d'autres agents, - la nécessité de satisfaire un objectif, - la capacité à mobiliser ses propres ressources, - la capacité de percevoir l'environnement, - la capacité de se représenter partiellement ou totalement l'environnement, - et éventuellement la capacité à se reproduire. Formulé différemment, un agent est « un système informatique situé dans un certain environnement, et capable d'actions autonomes dans cet environnement afin de satisfaire ses objectifs de conception » (Jennings and Wooldridge, 1998). A partir de cette définition, celle d'un système multi-agents en découle. Un système multi-agents (SMA) est un ensemble d'agents coopérant les uns avec les autres par l'échange de messages (Bakar and Ghoul, 2011) afin de satisfaire un objectif global (Isern et al., 2011). Un système multi-agents est constitué de différents types d'agent. Dans le cas présent, nous considérerons les agents réactifs et les agents cognitifs (Ferber, 1995). Les agents réactifs ont une représentation de l'environnement très limitée, ne peuvent pas anticiper et ne font que réagir à des stimulations. À l'inverse, les agents cognitifs se perçoivent dans l'environnement et sont capables de décision en fonction de leurs objectifs, de leurs compétences et de leurs perceptions. De manière générale la notion d'agent réfère à une entité qui agit de façon autonome, dans la suite de ce chapitre, le terme d'agent fera uniquement référence à une entité virtuelle, c'est-à-dire un « algorithme ».

5.1.2. Conception d'un système multi-agents

Concernant la conception, il existe divers langages et formalismes pour cerner l'ensemble des aspects d'un système multi-agents (Ferber, 1995). Il existe différents types de formalisme allant de la formalisation abstraite du SMA à son implémentation concrète. D'après Ferber (Ferber, 1995), il y a cinq types de langage impliqués dans la réalisation d'un SMA : - langages d'implémentation, - langage de communication, - langage de description des comportements et des lois de l'environnement, - langage de représentation des connaissances, et - langage de formalisations et de spécification. Dans le cadre de cette thèse, nous nous limitons aux deux derniers langages, c'est-à-dire la spécification du système et la représentation des connaissances. Plusieurs méthodologies de conception de SMA ont été proposées dans la littérature telles que GAIA (Wooldridge et al., 2000), Tropos (Bresciani et

al., 2004), AOR (Wagner, 2003), Adefle (Bernon et al., 2003), ou encore DOCK (Girodon et al., 2015). Il y a deux catégories principales de méthodologies (Esparcia et al., 2011) : les méthodologies orientées agents et les méthodologies orientées organisations. Les premières apportent une attention particulière aux agents et aux actions qu'ils réalisent tandis que les seconds prennent en compte les agents dans une organisation. L'organisation est définie par un ensemble de rôles en interaction les uns avec les autres (Ferber et al., 2004) selon des successions d'activités. Dans le cas complexe et dynamique d'un atelier de créativité, nous avons opté pour une approche de conception orientée organisation. En effet, les interactions sont des éléments essentiels d'un système support à la créativité. La gestion du processus de l'atelier et sa mise en œuvre pour l'ensemble des acteurs de manière adaptée implique également de gérer les connaissances tout au long de l'atelier. De ce point de vue, la méthodologie DOCK (Design based on Organization, Competence and Knowledge) (Girodon et al., 2015), centrée sur les organisations, les agents, leurs interactions et leurs échanges de connaissances, semble tout à fait adaptée à la situation de conception d'un système support à la créativité.

5.1.3. Système multi-agents appliqué à la créativité

Dans un contexte spécifique de créativité, la notion d'agent a déjà été introduite il y a plusieurs décennies (Boden, 1994). L'utilisation d'agent computationnel a été suggérée pour aider l'activité créative humaine et notamment « suggérer, identifier, et même évaluer les différences entre les idées familières et les idées nouvelles » (Boden, 1994). Pour autant, d'après la cartographie des systèmes supports à la créativité (cf. chapitre 3), il n'y a pas de Système Support à la Créativité (CSS) qui adopte le paradigme agent dans leur conception. L'unique système en lien avec la créativité qui mentionne l'utilisation de ce paradigme est un système d'apprentissage personnalisé de la créativité (Lin et al., 2013). En termes de méthodologie, il en va de même, aucune méthodologie de conception de CSS ne fait mention de la notion d'agent. Pour autant, ce paradigme est particulièrement approprié pour la modélisation des équipes projets (Dignum, 2007) et les environnements collaboratifs. Dans un contexte de conception, un environnement collaboratif peut être vu comme un système multi-agents où chaque concepteur est un agent qui possède des connaissances spécifiques et est capable de résoudre divers problèmes (Ling et al., 2007). Dans ces conditions, sachant que la créativité est autant individuelle que collective, le paradigme agent peut tout à fait convenir à la conception d'un système support à la créativité. Ce support tend à assister les activités de chaque rôle tout au long du processus collaboratif de créativité et ainsi assister la mise en œuvre et la gestion du processus de l'atelier. D'un point de vue plus pragmatique, cela revient, d'une certaine manière, à aider les différentes prises de décision des individus selon leurs rôles. Le paradigme agent est également intéressant de ce point de vue. L'utilisation d'agents pour l'aide à la décision permet de rendre plus « intelligente » la prise de décision. Trois types d'assistance ont été proposées (Tweedale et al., 2007) : assistant d'activités, conseiller personnel, ou assistant global. L'agent comme assistant de tâche peut collecter des informations et faciliter l'activité des individus. L'agent comme conseiller personnel peut fournir les informations requises par l'utilisateur lorsqu'il doit prendre une décision. L'agent en tant qu'assistant global peut distribuer et mettre à jour l'information de l'organisation en temps réel. D'une certaine manière, ces cas d'utilisation des agents rappellent les quatre typologies de systèmes numériques dédiés à la créativité (Lubart, 2005) : *le coach* qui donne des conseils et aide à mettre en application les techniques de créativité ; *le*

correspondant (pen-pal) qui fournit le support pour la collaboration ; *la nurse (nanny)* qui encadre le travail et contrôle l'avancement ; ou le *collègue* où l'ordinateur produit ses propres idées et solutions.

Ainsi, d'après la revue de littérature (chapitre 3), bien que le paradigme agent ait été suggéré il y a déjà plusieurs décennies dans le domaine de la créativité, il n'a pas encore été appliqué pour concevoir un système support à la créativité et assister des ateliers de créativité. Ce chapitre propose d'explorer la conception d'un système multi-agents comme système support à la créativité. Pour ce faire, nous limiterons la conception du système support à la créativité au processus d'un atelier de créativité. Comme il a pu être présenté précédemment, la notion de créativité réfère à de nombreuses situations difficiles à concilier dans un premier temps. La section suivante présente la méthodologie mise en œuvre pour concevoir le SMA avant d'aborder dans une autre section l'application de la méthodologie et le modèle du SMA.

5.2. Méthodologie pour modéliser un système multi-agents

Comme cela a été énoncé plus haut, l'approche souhaitée pour concevoir le SMA est une approche orientée organisation. L'étude de l'organisation, c'est-à-dire des interactions d'individus faisant partie d'un ensemble cohérent régit par un objectif commun, permet de déterminer les caractéristiques des agents. La méthodologie DOCK est une méthodologie orientée organisation qui permet de formaliser les caractéristiques d'un SMA ayant notamment comme fonction la gestion des connaissances (Girodon et al., 2015). Cette méthodologie est structurée selon 3 étapes (Figure 13) : (1) la modélisation de l'organisation humaine pour déduire les agents cognitifs qui supporteront les activités humaines, puis (2) la modélisation de l'organisation des agents réactifs qui traiteront et fourniront les informations aux agents cognitifs, et en enfin, (3) la formalisation des interactions entre les agents réactifs, les agents cognitifs et l'éventuelle base de connaissances. La structuration de la conception du SMA par couche d'agents (agents cognitifs et agents réactifs) permet, d'une part de capturer l'intelligence collective en formalisant les interactions humaines pour les retranscrire en interactions d'agents, et d'autre part de séparer les agents cognitifs qui vont coordonner et traiter les informations des agents qui gèrent ces connaissances. Pour réaliser la modélisation de ce Système Multi-Agents, la méthodologie DOCK suggère l'utilisation de 4 modèles pour formaliser les différents concepts nécessaires à la création du modèle. Ces quatre modèles sont : le modèle de structure organisationnelle, le modèle de processus, le modèle d'activité et le modèle de rôle. D'un point de vue plus détaillé, la Figure 14 représente l'enchaînement des modèles induit par l'application de la méthodologie DOCK. Concernant la modélisation de l'organisation humaine, le chapitre précédent (chapitre 4) a introduit quelques éléments qui pourront être réutilisés dans la modélisation de l'organisation humaine. Bien que la logique d'application soit linéaire de par la réutilisation de concepts d'un modèle à l'autre, la modélisation du SMA requiert un certain nombre d'itérations. Afin de comprendre l'enchaînement et de faciliter la mise en œuvre ultérieure de la modélisation d'un SMA avec une approche organisationnelle, chaque modèle va être respectivement détaillé dans une sous section.

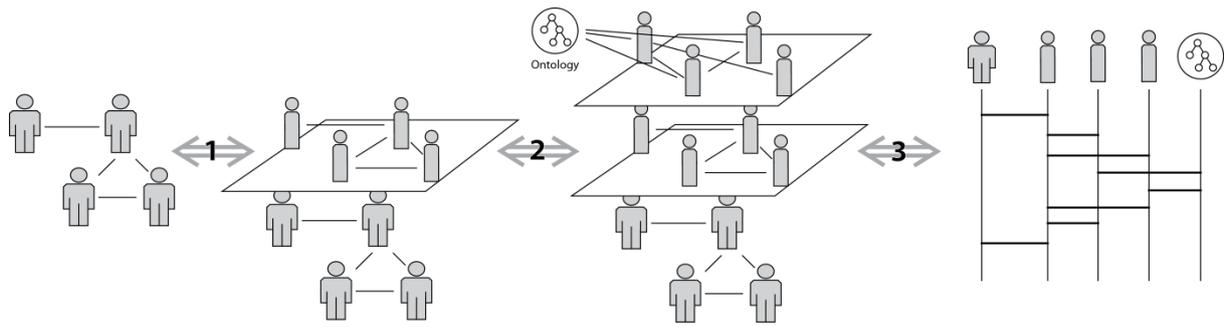


Figure 13. Les trois étapes de la modélisation d'un SMA avec la méthodologie DOCK

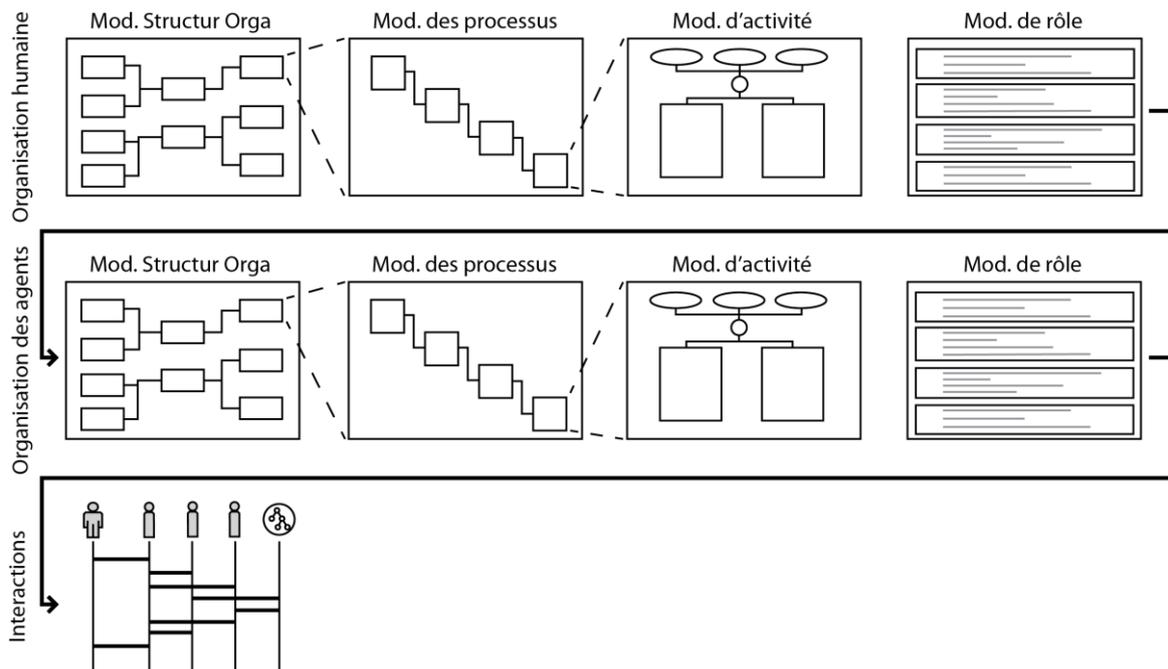


Figure 14. Détail d'application des modèles dans la méthodologie DOCK

5.2.1. Modèle de structure organisationnelle

Le modèle de structure organisationnelle (Figure 15) représente le système dans lequel les agents humains et computationnels évoluent. Il est composé de trois éléments : l'objectif de l'organisation, la mission de l'organisation et le processus appliqué pour satisfaire la mission. A ce stade, le concept d'agent n'est pas encore introduit dans la modélisation. Ce modèle est le point de départ de la modélisation des organisations sachant qu'il y en a au moins deux : l'organisation humaine et l'organisation des agents. Selon l'organisation modélisée, l'approche et les informations à considérer ne sont pas les mêmes. Le modèle de structure organisationnelle de l'organisation humaine se base sur la réalité sans le système support à concevoir. À l'inverse, le modèle de structure organisationnelle de l'organisation des agents considère le système support à concevoir. Pour l'organisation des agents, ce modèle explicite les caractéristiques globales du système à concevoir. En raison de la différence de perspective en fonction de l'organisation considérée, la construction du modèle peut être guidée par le Tableau 11 où des questions sont associées à chacun des éléments du modèle.

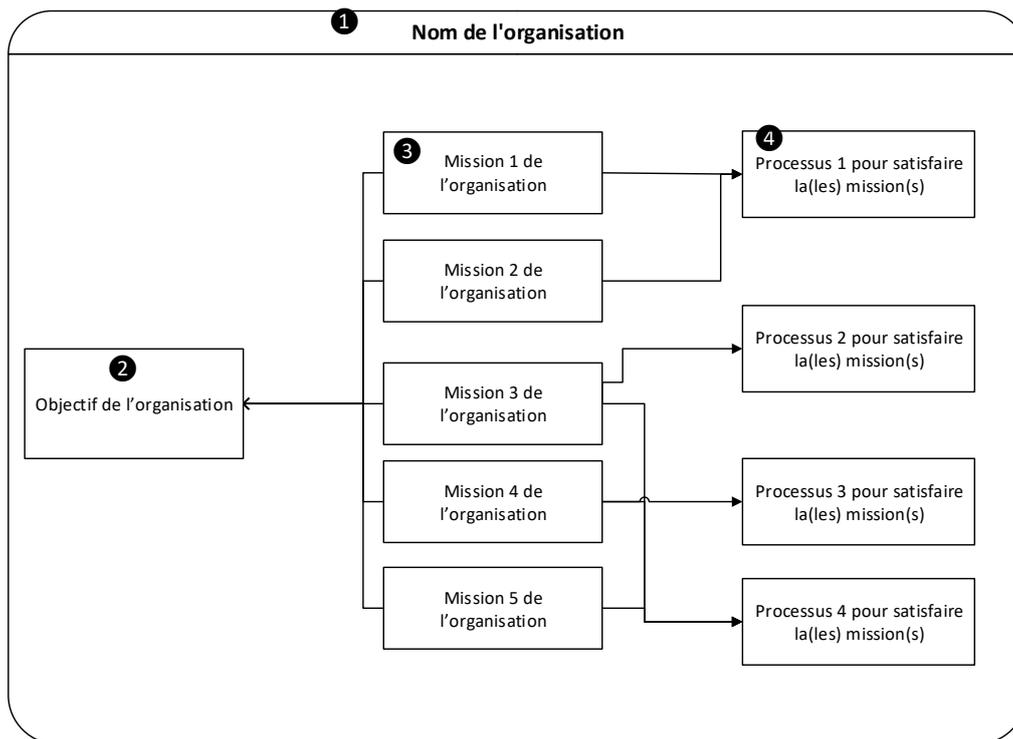


Figure 15. Modèle de structure organisationnelle

Tableau 11. Questions directrices pour construire le modèle de structure organisationnelle

	Organisation humaine	Organisation des agents
1	Quelle est la limite de l'organisation ? Qui participent au sein de l'organisation ? (optionnel mais peut aider la définition des frontières de l'organisation)	Quelle est la nature de l'aide à fournir à l'organisation humaine ?
2	Quels sont les objectifs visés par l'organisation ? Quels sont les objectifs des collaborations des différents acteurs de l'organisation ?	Quels sont les objectifs en termes d'assistance ? Pourquoi le système apporte-t-il une aide ?
3	Quelles sont les missions (ce qui est fait) qui contribuent à l'atteinte des objectifs ? Comment les objectifs peuvent-ils être décomposés ?	Quelles sont les missions (ce qui est fait) qui contribuent à l'atteinte des objectifs ? Comment les objectifs peuvent-ils être décomposés ?
4	Quelles sont les groupes d'activités mis en œuvre pour remplir les missions ?	Quels sont les processus de traitement d'informations réalisés pour remplir les missions ?

5.2.2. Modèle de processus

Une fois que le modèle de structure organisationnelle est créé, un modèle de processus est produit pour chaque processus mentionné dans le modèle de structure organisationnelle. Le modèle de processus représente les activités réalisées par les agents (humains ou computationnels), les livrables produits à l'issue des activités, les rôles impliqués dans la réalisation des activités et les ressources exigées pour réaliser les activités (Figure 16). Cette représentation du processus est basée sur le

formalisme IDEF-0 expliqué dans le chapitre précédent. Lors de la modélisation de l'organisation humaine, le processus modélisé est celui réellement effectué par les agents humains. Les rôles impliqués dans ce processus sont exclusivement ceux assumés par les acteurs de l'organisation humaine. Durant la modélisation de l'organisation humaine, les informations concernant le processus de l'atelier de créativité formalisé dans le chapitre précédent sont réutilisées. La modélisation des processus permet de mettre en évidence les agents réactifs qui vont interagir avec les agents cognitifs pour traiter l'information. La réalisation du modèle de processus est également guidée par un ensemble de questions (Tableau 12). Celles-ci diffèrent entre l'organisation humaine et l'organisation des agents uniquement concernant les supports à l'activité (4 du Tableau 12).

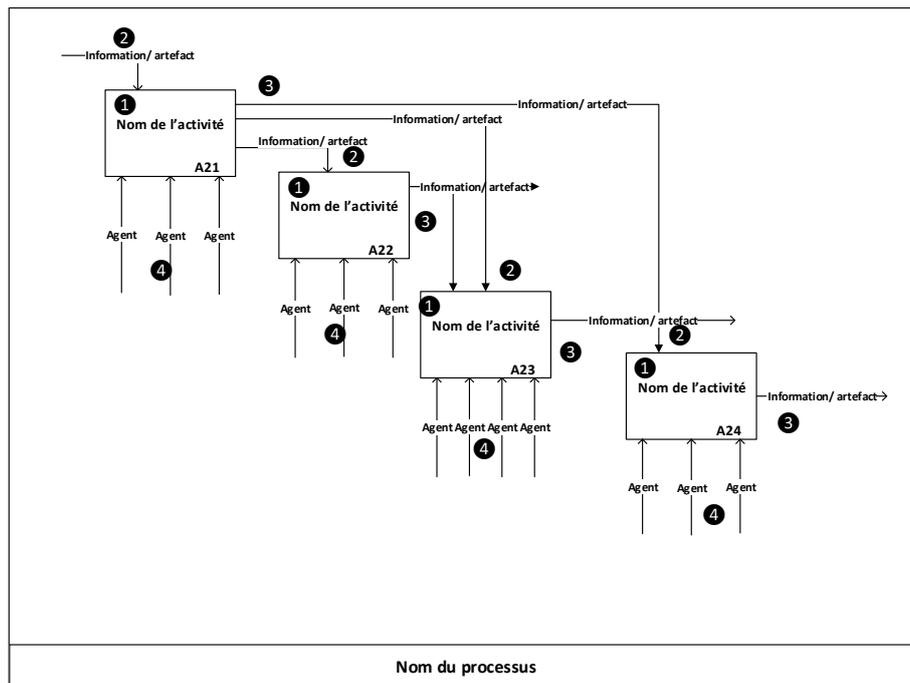


Figure 16. Modèle de processus

Tableau 12. Questions directrices pour la réalisation du modèle de processus

	Organisation humaine	Organisation des agents
①	Quelles sont les activités réalisées pour remplir la mission associée à ce processus ?	Quelles sont les activités réalisées pour remplir la mission associée à ce processus ?
②	Quelles sont les informations ou les ressources qui conditionnent la réalisation de l'activité ?	Quelles sont les informations ou les ressources qui conditionnent la réalisation de l'activité ?
③	Quelles sont les produits (artefact/informations) de l'activité ?	Quelles sont les produits (artefact/informations) de l'activité ?
④	Qui sont les personnes qui participent à l'activité ? Quel est le rôle de ces personnes ?	Quels types d'agents participent à l'activité ?

5.2.3. Modèle d'activité

Le modèle d'activité est produit pour chaque activité du modèle de processus et utilise des informations du précédent modèle telles que les artefacts et les ressources. Le modèle d'activité représente les détails des interactions entre les rôles des individus ou les types d'agent qui participent à la réalisation de l'activité et à la production des résultats (Figure 17). La forme et les informations diffèrent du modèle d'activité présenté dans le chapitre précédent. Issue de RIOCK (Monticolo et al., 2007), le modèle d'activité a été modifié dans le cadre de la méthodologie DOCK (Girodon et al., 2015) pour présenter les actions et les responsabilités. Les rôles ou les types d'agent impliqués dans l'activité sont individuellement décrits par les actions effectuées durant l'activité, les compétences et les connaissances nécessaires pour réaliser ces actions, et les responsabilités dans la réalisation de ces actions. Comme cela a été indiqué précédemment, la modélisation de l'organisation humaine au travers du modèle d'activité implique les rôles des individus tandis que la modélisation de l'organisation des agents implique des types d'agents. Quelle que soit la perspective, les deux sont décrites par les compétences, les connaissances, les actions et les responsabilités. En terme de réalisation du modèle d'activité, il n'y a pas de différence sensible entre l'organisation humaine et l'organisation des agents. Les questions directrices qui guident la réalisation du modèle sont ainsi identiques (Tableau 13).

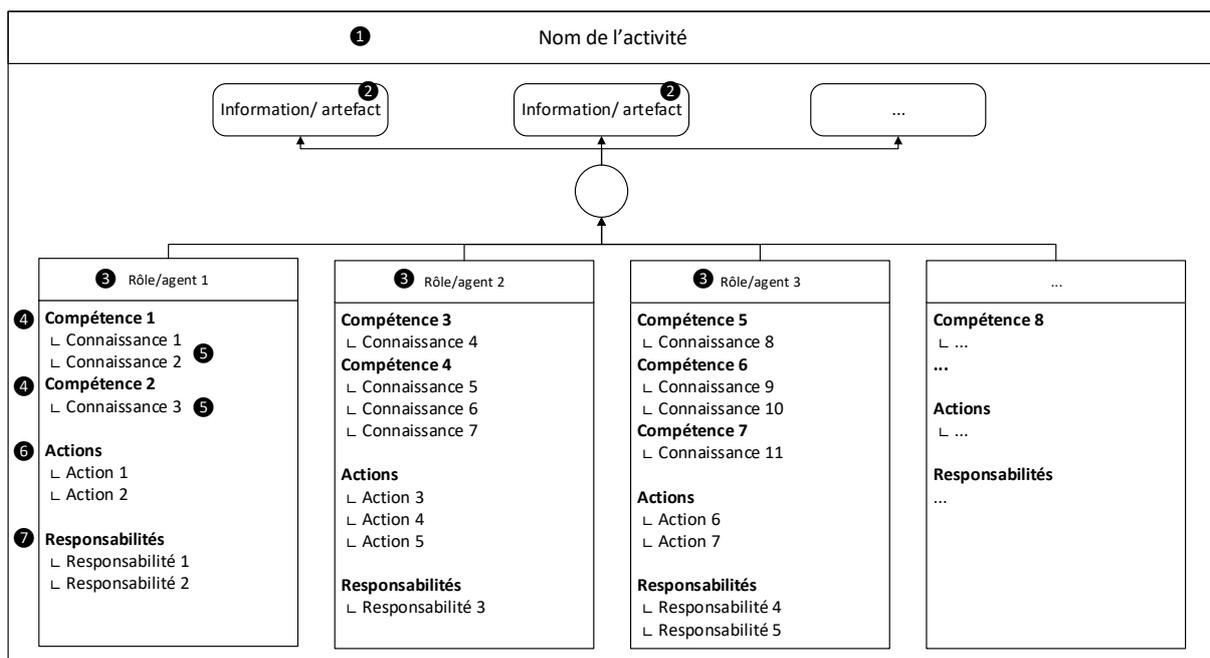


Figure 17. Modèle d'activité

Tableau 13. Questions directrices pour réaliser le modèle d'activité.

	Organisation humaine	Organisation des agents
①	Quel est le nom de l'activité modélisée ?	Quel est le nom de l'activité modélisée ?
②	Quelles sont les sorties de l'activité (information, connaissance, et artefact)?	Quelles sont les sorties de l'activité (information, connaissance, et artefact) ?
③	Quelles sont les rôles impliqués dans la production des résultats ?	Quelles sont les types d'agents impliqués dans la production des résultats ?
④	Quelles sont les compétences nécessaires à la réalisation de l'activité ?	Quelles sont les compétences nécessaires à la réalisation de l'activité ?
⑤	Quelles sont les connaissances nécessaires pour appliquer ses compétences ?	Quelles sont les connaissances nécessaires pour appliquer ses compétences ?
⑥	Quelles sont les actions réalisées par chacun des rôles dans le cadre de l'activité ? Quelles sont les actions réalisées pour obtenir des connaissances nécessaires ? Quelles sont les actions de traitement des connaissances ?	Quelles sont les actions réalisées par chacun des agents dans le cadre de l'activité ? Quelles sont les actions réalisées pour obtenir des connaissances nécessaires ? Quelles sont les actions de traitement des connaissances ?
⑦	Quelles sont les responsabilités du rôle dans la collaboration et la réalisation de l'activité ? (Responsable, support, consultant, avisé)	Quelles sont les responsabilités de l'agent dans la collaboration et la réalisation de l'activité ? (Responsable, support, consultant, avisé)

5.2.4. Caractéristiques de rôle

A l'issue de la réalisation des différents modèles précédents, le rôle peut être décrit selon ses caractéristiques. Il récapitule, en quelque sorte, l'ensemble des informations concernant un agent qui ont pu être formalisées par les autres modèles, c'est en quelque sorte la carte d'identité de l'agent. Cette carte d'identité met en évidence un certain nombre d'éléments qui caractérisent son cycle de vie, cela inclut les informations concernant les organisations, les missions, les compétences, les connaissances, et les responsabilités (Tableau 14). Bien que ces éléments soient déjà présents dans les autres modèles, les caractéristiques de rôle formalisent également les domaines d'interactions avec son environnement. Selon que l'agent est réactif ou cognitif, les domaines d'interactions diffèrent. Dans le premier cas, le domaine d'interaction inclut exclusivement les agents avec qui il échange directement durant son cycle de vie, tandis que dans le second cas, cela inclut les agents mais également les interfaces qui permettent d'interagir avec les acteurs humains. De plus, d'un point de vue de la démarche de modélisation du SMA qui considère d'abord l'organisation humaine avant de considérer l'organisation des agents, les caractéristiques des rôles issues de l'organisation humaine ne concernent que des agents cognitifs et des interfaces avec les humains. C'est dans un second temps, avec l'organisation des agents que les agents réactifs sont définis et représentés en interaction avec les agents cognitifs. De ce fait, les caractéristiques des agents cognitifs doivent être mises à jour concernant les actions, les interactions et les responsabilités. Bien que la majorité des informations de ce modèle soient issues des précédents, des questions directrices (Tableau 15) ont été formalisées pour faciliter sa réalisation.

Tableau 14. Modèle de rôle

Nom du rôle	
Organisation	Nom de l'organisation ①
Missions	Mission1 : Nom de la mission ② Mission2 : Nom de la mission ②
Compétences	C1: Nom de compétence ③ C2: Nom de compétence ③
Connaissances	K1 : Connaissance ④ K2 : Connaissance ④ K3 : Connaissance ④
Domaines d'interaction	Rôles : ⑤ Interfaces : ⑤
Responsabilités	Nom de l'activité : responsabilité ⑥ Nom de l'activité : responsabilité ⑥

Tableau 15. Questions directrices pour la réalisation du modèle de rôle.

	Organisation humaine	Organisation des agents
①		Dans le cas d'un agent cognitif, y a-t-il de nouvelles caractéristiques ? (Mise à jour des agents cognitifs)
②	Le rôle appartient à quelle organisation ?	L'agent appartient à quelle organisation ?
③	A quelles missions le rôle participe-t-il à la réalisation ?	A quelles missions l'agent participe-t-il à la réalisation ?
④	Quelle sont les compétences requises au rôle pour participer à l'accomplissement de la mission ?	Quelle sont les compétences requises à l'agent pour participer à l'accomplissement de la mission ?
⑤	Quelle sont les connaissances nécessaires pour que l'agent applique les compétences associées à son rôle ?	Quelle sont les connaissances nécessaires pour que l'agent applique les compétences associées à son rôle ?
⑥	Avec quels autres rôles et interfaces, ce rôle interagit-il ?	Avec quel autre agent, cet agent interagit-il ?
⑦	Quelles sont les activités auxquelles le rôle participe et quel est sa responsabilité pour chaque activité ?	Quelles sont les activités auxquelles le rôle participe et quel est sa responsabilité pour chaque activité ?

5.3. Modélisation appliquée aux ateliers de créativité

La méthodologie DOCK présentée ci-dessus a été appliquée à l'atelier de créativité « 48h pour faire vivre des idées® ». Ainsi la première étape de modélisation pour concevoir le SMA supportant l'atelier de créativité est de modéliser l'organisation humaine de l'atelier. L'organisation humaine de l'atelier permet de décrire les différents rôles des individus et d'en déduire les agents cognitifs. Ensuite, l'organisation des agents est modélisée en considérant les agents cognitifs définis précédemment ainsi que les processus de gestion des connaissances afin d'aborder le traitement de

l'information. Ceci permet de déterminer les caractéristiques des agents réactifs et de compléter la description des agents cognitifs. A l'issue de cette étape, nous avons les différents composants du système supposé supporter un atelier de créativité, il ne manque plus qu'à formaliser les interactions entre les agents réactifs, cognitifs et la base de connaissances. Les sous-sections suivantes vont présenter l'application des différentes étapes de la démarche de modélisation à l'atelier « 48h pour faire vivre des idées® ».

5.3.1. De l'organisation des agents humains aux agents cognitifs

Lors de la modélisation de l'organisation humaine, le futur système support à la créativité n'est pas considéré. L'atelier de créativité est considéré comme un ensemble d'individus qui échangent des informations dans le but de trouver des solutions créatives en appliquant des techniques de créativité avec l'aide d'un facilitateur afin de résoudre un problème proposé par un commanditaire qui ne trouve pas de solution convenable. Différentes missions décomposent cet objectif comme le décrit le modèle de structure organisationnelle (Figure 18). A partir des six missions illustrées par la Figure 18, cinq processus tentent de satisfaire les missions.

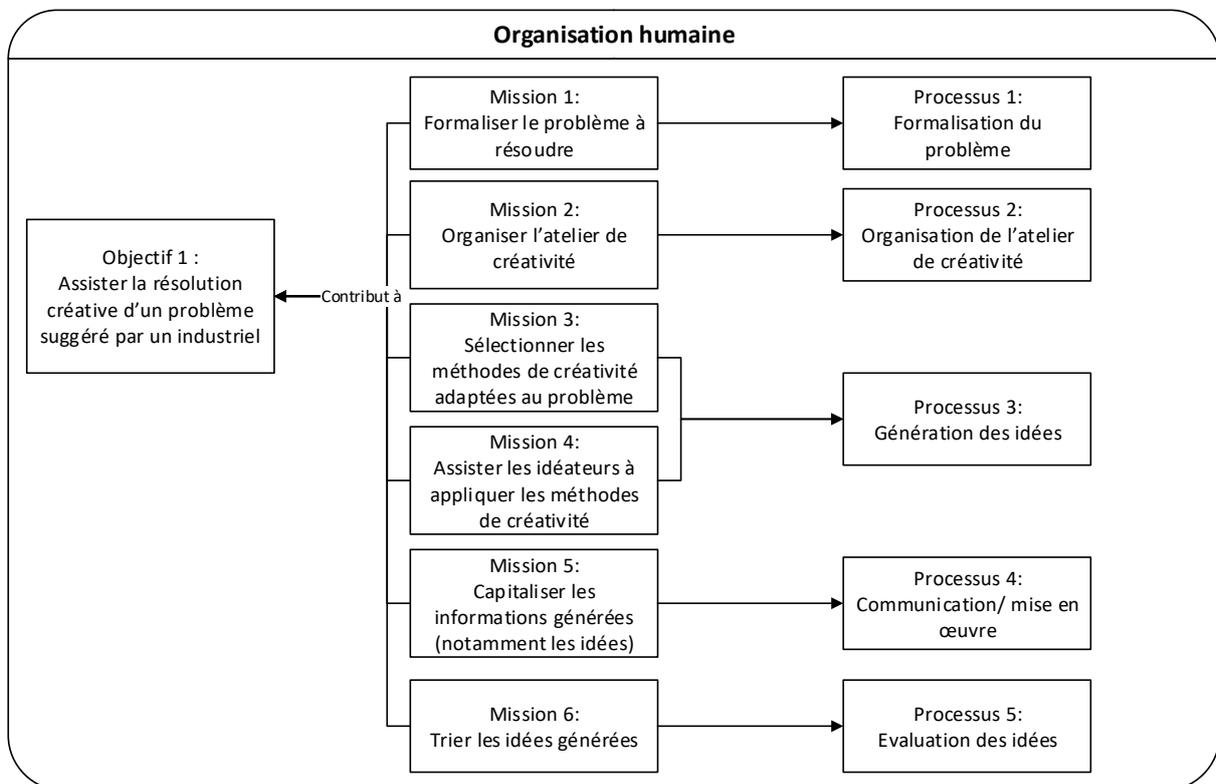


Figure 18. Modèle de structure organisationnelle d'un atelier de créativité

Quatre des cinq processus du modèle de structure organisationnelle rappellent les étapes du processus de l'atelier de créativité définies dans le chapitre 2. Seul le processus 2 n'est pas un processus propre à la créativité tel qu'il existe dans la littérature mais est nécessaire dans la mise en œuvre d'un atelier de créativité. Ainsi, à partir des cinq processus déterminés, chacun d'eux est détaillé dans un modèle de processus. Parmi ces cinq processus de créativité, la Figure 19 donne en exemple de modèle de processus concernant la *formalisation du problème*. Ainsi, la Figure 19 représente l'enchaînement des activités réalisées par l'organisateur et le commanditaire pour satisfaire la mission 1 (formaliser le problème à résoudre). Ce processus génère plusieurs résultats

notamment les informations concernant le problème, le contexte, l'historique de l'entreprise commanditaire, et les informations techniques mais aussi l'approche adoptée pour résoudre le problème, le sujet et la problématique de l'atelier ainsi que les méthodes d'évaluation des idées et les critères. Pour aboutir à l'ensemble de ces informations, le processus est composé de 5 activités dont 4 impliquent la coopération et la collaboration de l'organisateur et du commanditaire. Ce processus commence, comme cela a pu être décrit dans le chapitre précédent, par l'activité de demande d'organisation d'un atelier par le commanditaire une fois que celui-ci a identifié le problème. Ensuite les informations concernant le problème sont collectées pour nourrir les tâches de sélection de l'approche de résolution, de formulation du sujet d'atelier et de définition de la méthode d'évaluations des idées.

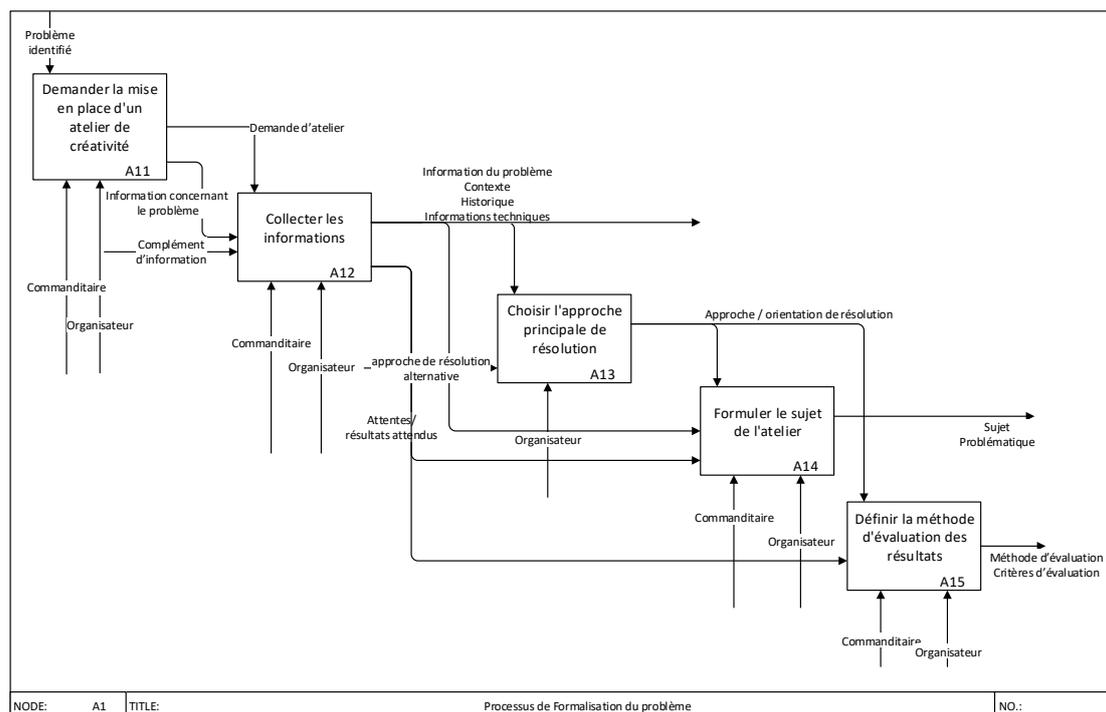


Figure 19. Modèle du processus de formalisation du problème

Pour chacune des activités du modèle de processus mais surtout pour celles qui impliquent une collaboration, un modèle d'activité peut être réalisé. Étant donné que l'activité A12 *Collecter les informations* conditionne et fournit des données pour la réalisation de trois autres activités, nous avons choisi de présenter son modèle d'activité (Figure 20). Ainsi, pour formaliser les différentes connaissances nécessaires aux différentes activités, le *commanditaire* doit être capable de décrire la situation de l'entreprise et donner une vision stratégique de l'entreprise. Ceci requiert, de sa part, de connaître un minimum l'entreprise, c'est-à-dire son historique, le secteur dans lequel elle évolue, et l'expertise qu'elle possède, mais aussi la stratégie et les attentes qu'elle peut avoir de l'atelier de créativité. En termes d'actions, le *commanditaire* échange avec l'*organisateur* et apporte de la documentation complémentaire pour renforcer certains aspects. Dans le cadre de cette activité, la responsabilité du *commanditaire* est de donner les informations qu'il possède et qui sont utiles pour comprendre la situation et nourrir la réflexion, dans la limite de ce qu'il est autorisé à donner. En ce

qui concerne l'organisateur, sa responsabilité dans le cadre de cette activité est de collecter et formaliser les informations liées au problème. Cela signifie qu'il doit être capable de collecter les informations concernant le problème et l'entreprise. Cela implique qu'il ait connaissance de questions ou d'une méthodologie pour éventuellement structurer la collecte d'informations ainsi qu'une idée des informations qu'il doit collecter pour les autres activités. En termes d'actions, l'organisateur devra collecter les informations fournies par le commanditaire, poser d'éventuelles questions pour diriger la collecte d'informations et récupérer les documentations complémentaires éventuellement fournies par le commanditaire.

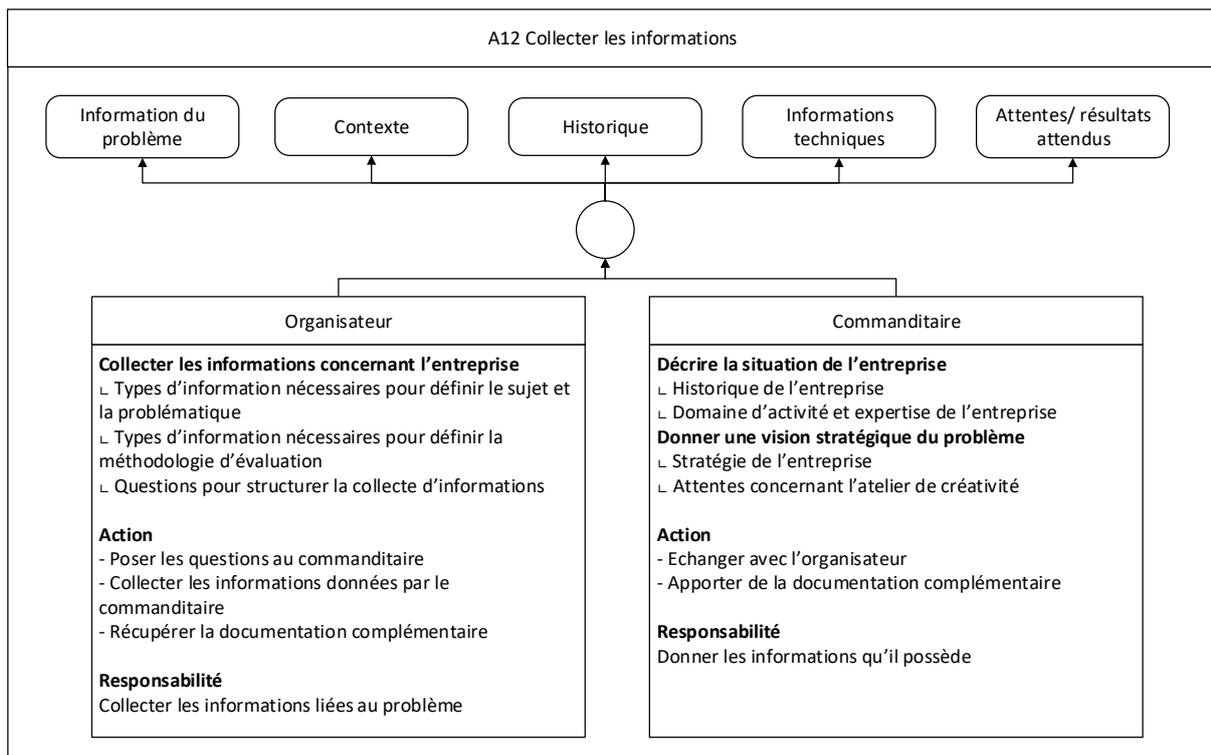


Figure 20. Modèle de l'activité A12 "Collecter les informations"

A l'issue de la décomposition des modèles de structure organisationnelle en modèles de processus et la décomposition des modèles de processus en modèle d'activité, les modèles de rôle peuvent être réalisés. Dans le cas présent, il y a 6 rôles d'agents humains : organisateur, facilitateur, idéateur, évaluateur, expert, et commanditaire. Ces rôles d'agents humains sont autant d'agents computationnels cognitifs qui vont monitorer les individus impliqués dans un atelier de créativité. Le Tableau 16 est un extrait du modèle de rôle pour l'organisateur où l'on retrouve les informations du modèle d'activité précédent avec des informations issues d'autres modèles d'activité. Pour chaque rôle d'agent humain, un modèle de rôle est réalisé.

Tableau 16. Extrait du diagramme de rôle Organisateur

Organisateur	
Organisation	Organisation des agents humains
Missions	Formaliser le problème à résoudre Organiser l'atelier de créativité Trier les idées générées
Compétences	Collecter les informations concernant le problème et l'entreprise Caractériser le problème à résoudre Résumer les informations concernant le problème en un sujet Résumer le sujet en une problématique Sélectionner l'approche de résolution du problème [...]
Connaissances	Questions pour structurer la collecte d'informations Types d'information nécessaires pour définir la méthodologie d'évaluation Types d'information nécessaires pour définir le sujet et la problématique Typologie de problème Equilibre entre ouverture et précision de la formulation du sujet [...]
Domaines d'interaction	Commanditaire Expert Interface pour organisateur
Responsabilités	Collecter les informations liées au problème Produire un résumé à partir des informations du problème [...]

La suite du processus de conception du SMA est de modéliser l'organisation des agents computationnels à partir de la description des rôles des agents humains qui, à partir de ce moment, deviennent des agents cognitifs.

5.3.2. De l'organisation des agents computationnels aux agents réactifs

Une fois l'organisation humaine de l'atelier de créativité modélisée, les rôles des agents humains décrits par les modèles de rôle sont considérés comme des agents cognitifs. Ces agents cognitifs sont les images informatisées du comportement des agents humains. Ils sont censés suivre leurs activités pour capturer les informations utiles et anticiper d'autres activités en fournissant des informations. La modélisation ne se focalise donc plus sur l'organisation des agents humains mais l'organisation des agents computationnels qui va manipuler les informations et constituer le futur système support à la créativité. Ainsi dans le cadre de cet atelier de créativité, l'objectif de l'organisation des agents computationnels est de faciliter le déroulement de l'atelier de créativité pour chacun des rôles (Figure 21). Par conséquent, les missions de l'organisation des agents est de faciliter les missions de l'organisation humaine, ainsi les missions et les processus se retrouvent être très similaires à la modélisation de l'organisation des agents humains. La différence de modélisation réside dans un point de vue légèrement différent, celui-ci est non seulement l'organisation d'un atelier précédemment formalisé mais également le système en cours de conception. La première différence

notable est qu'il y a plus de missions que pour l'organisation des humains. Ceci est dû à la décomposition de certaines missions de l'organisation humaine. Par exemple, les missions 1, 2, 6 et 8 de l'organisation des agents correspondent respectivement au support des missions 1, 2, 5 et 6 de l'organisation humaine (Figure 18). Par contre, la mission 3 de *sélection des méthodes de créativité* évolue en deux missions (3 et 4) de *suggestion des méthodes adaptées* et d'*aide à l'organisation des méthodes*. Il en va de même pour la mission 5 d'*assistance à l'application des techniques de créativité par le facilitateur* qui est divisée en deux missions (5 et 6) dans l'organisation des agents computationnels. Pour satisfaire ces missions, les agents vont réaliser des activités, s'organiser et interagir. Les processus associés aux missions de l'organisation des agents computationnels représentent l'ordonnancement des activités et les interactions des agents pour satisfaire les missions. Les cinq processus de l'organisation des agents humains sont également présents dans le modèle de structure organisationnelle de l'organisation des agents computationnels. Bien que ces processus aient le même nom que dans la modélisation de l'organisation des agents humains, ils n'impliquent pas du tout les mêmes agents et de fait les mêmes activités. L'organisation des agents computationnels introduit également deux nouveaux processus concernant la gestion des connaissances et la gestion des méthodes de créativité.

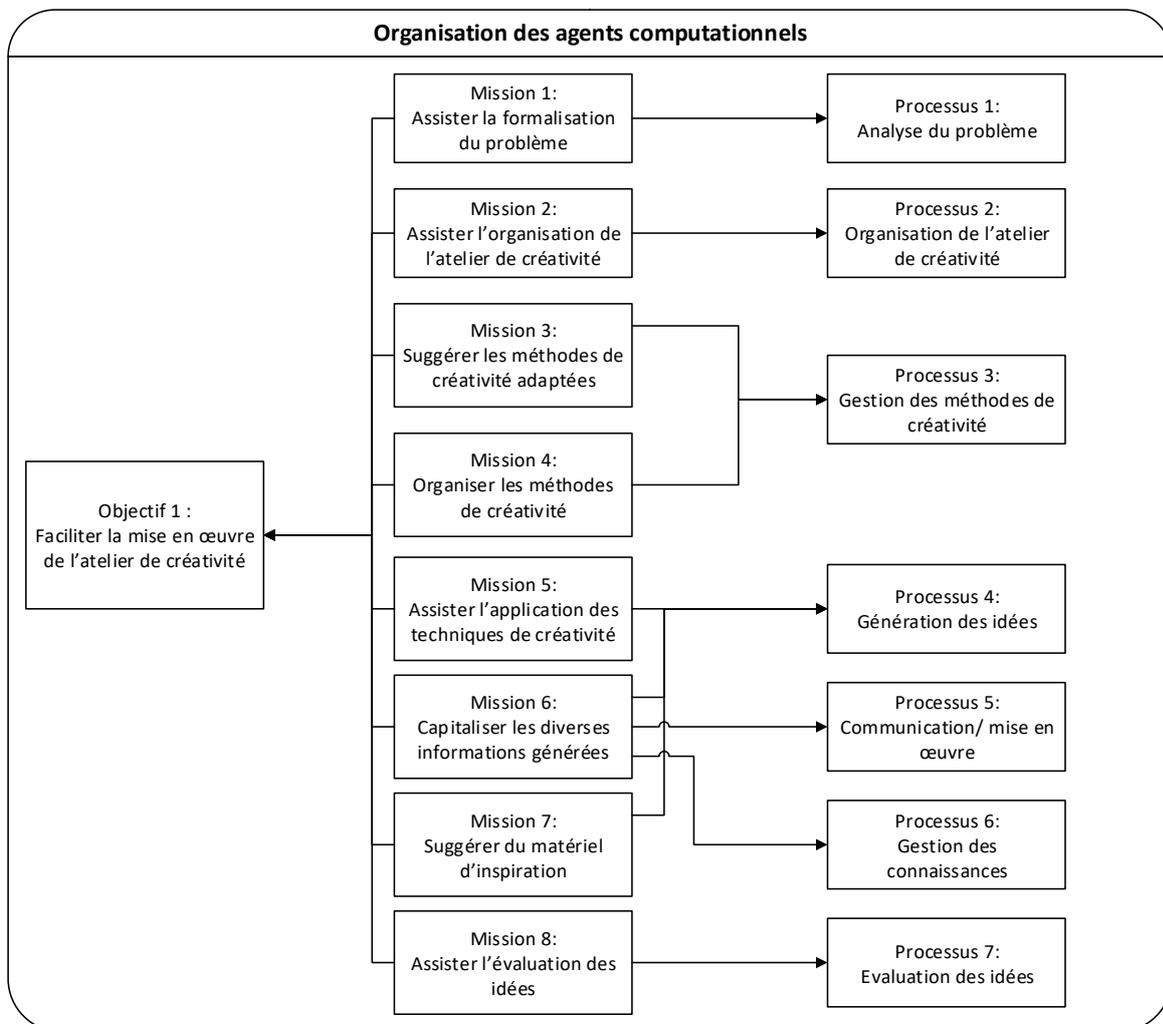


Figure 21. Modèle de structure organisationnelle du système support à la créativité

Une fois la formalisation de la structure organisationnelle des agents computationnels définie, l'étape de conception suivante est de formaliser les processus réalisés par les agents. Les informations manipulées par les agents computationnels sont globalement les mêmes que celles manipulées par les agents humains, ce qui diffère ce sont les agents impliqués et les activités réalisées. Il n'est plus question d'organisateur ou d'idéateur en tant qu'agents humains mais d'agents computationnels organisateurs ou d'agents computationnels idéateurs. En plus de ces agents, déterminés lors de la modélisation de l'organisation humaine, il y a de nouveaux agents propres à chaque processus qui répondent aux missions du SMA (Figure 21).

Dans le cas de cette démarche de conception de système multi-agents support à la créativité, la réalisation des modèles de processus se fait de manière itérative notamment entre le processus de gestion des connaissances et les autres processus. En effet, les agents réactifs supportant les processus liés à l'atelier de créativité interagissent avec l'agent dédié à la gestion des connaissances. Ces processus impliquent les agents réactifs et les agents cognitifs. Par exemple, le modèle du processus d'analyse du problème (Figure 22) intègre des agents cognitifs issus de la modélisation de l'organisation humaine ainsi que les agents réactifs d'aide à l'analyse du problème et l'agent d'aide à la gestion des connaissances. Les processus du point de vue de l'organisation des agents sont à distinguer des processus du point de vue de l'organisation humaine. Les missions du système multi-agents impliquent de nouvelles activités pour lesquelles les agents cognitifs et réactifs interagissent. Cette différence est notamment visible entre la Figure 19 et Figure 22. En raison de la limite d'espace dans les modèles de processus, nous avons utilisé des acronymes pour désigner les sept agents des sept processus, le Tableau 17 constitue le glossaire des noms des agents.

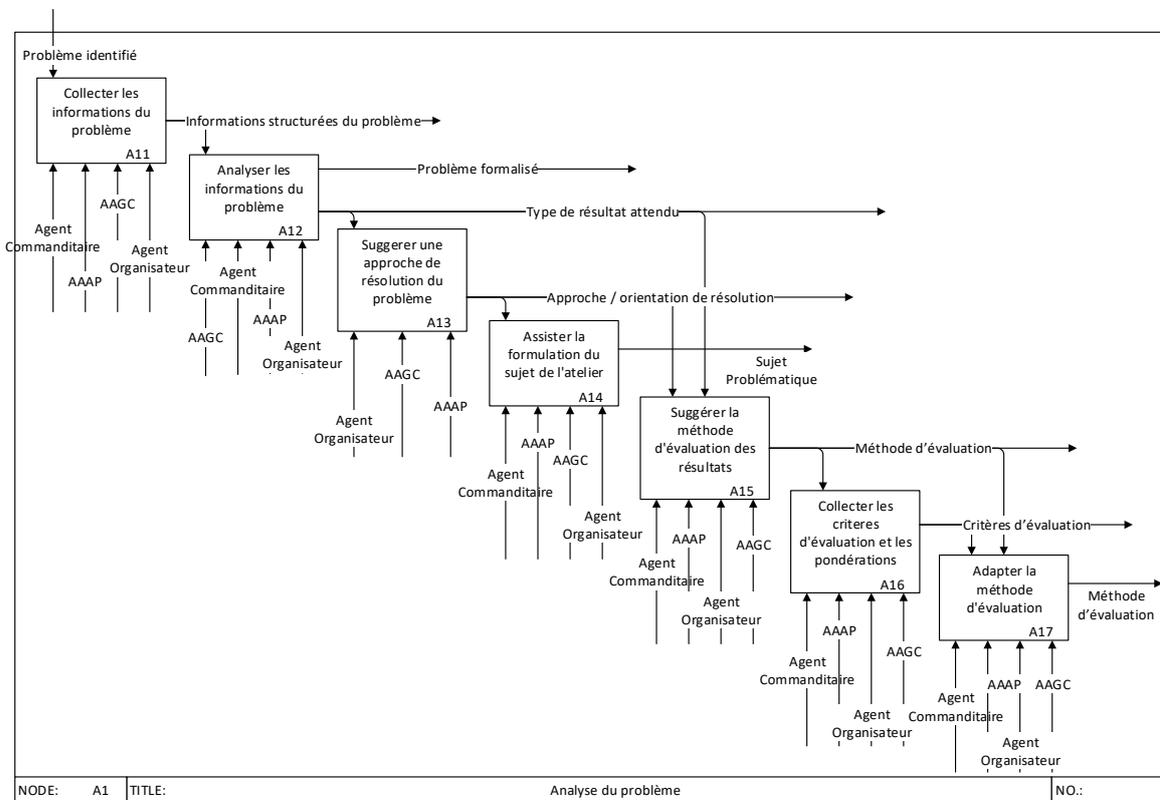


Figure 22. Modèle du processus d'analyse de problème

Tableau 17. Nom des agents computationnels, leur acronyme et leur fonction

Acronyme	Nom
AAI	Agent d'aide à l'idéation
AAE	Agent d'aide à l'évaluation
AAAP	Agent d'aide à l'analyse du problème
AAO	Agent d'aide à l'organisation de l'atelier de créativité
AAGM	Agent d'aide à la gestion des méthodes de créativité
AAC	Agent d'aide à la communication et la mise en œuvre des idées
AAGC	Agent d'aide à la gestion des connaissances

Dans le cadre de la modélisation de l'organisation humaine, les activités sont représentées au travers de modèles d'activité afin d'explicitier les compétences, les connaissances, les actions et les responsabilités de chacun des agents. La Figure 23 présente un exemple de modèle d'activité dans le cas de l'organisation des agents computationnels pour l'activité A13 Suggérer une approche de résolution du problème. Comme l'introduisait la Figure 22, l'activité A13 est le résultat de la collaboration de trois agents. Chacun agit en fonction de ses compétences et ses connaissances pour aboutir à la formalisation de l'approche de résolution du problème. Les actions de chacun des agents précisent un peu plus les échanges d'informations entre les agents. Dans le cas de l'activité 13, l'agent d'aide à l'analyse du problème est central car il traite et distribue les informations aux autres agents. De manière succincte, il va demander les informations dont il a besoin à l'agent d'aide à la gestion des connaissances, puis il traite ces informations et les envoie à l'agent organisateur pour être affichées à l'organisateur humain. Ensuite, l'agent d'aide à l'analyse du problème reçoit les informations issues de l'agent organisateur par le biais de l'agent d'aide à la gestion des connaissances. Celui-ci les renvoie itérativement à différent agents pour traiter les informations et les stocker.

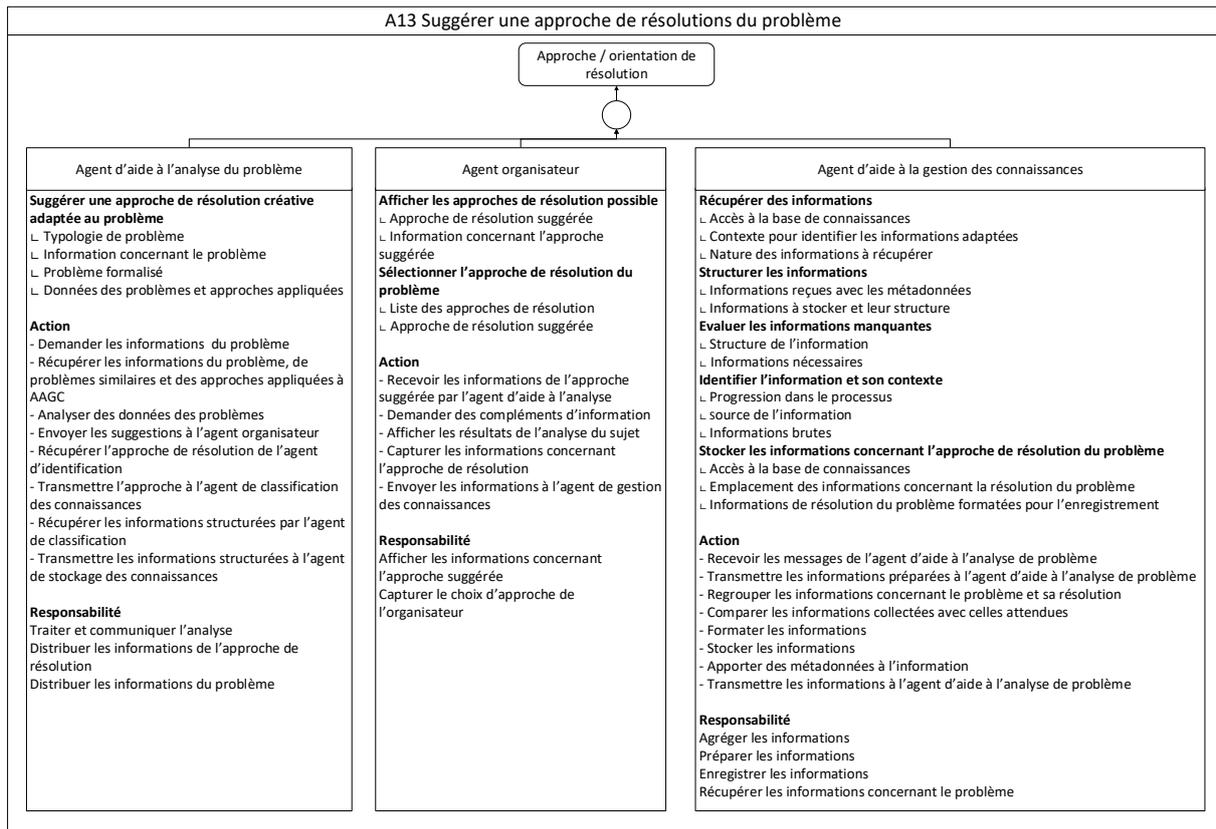


Figure 23. Modèle de l'activité A13 Suggérer une approche de résolution du problème

À l'instar du processus de modélisation de l'organisation humaine, la réalisation des modèles d'activité pour les différentes activités des processus de l'organisation des agents permet de mettre en évidence l'ensemble des compétences et des connaissances. A l'issue de la réalisation des divers modèles d'activité, les modèles de rôle peuvent être formalisés pour les agents réactifs. Si l'introduction des agents réactifs dans le système requiert de nouvelles compétences ou connaissances de la part des agents cognitifs, ceux-ci sont mis à jour. Cette notion de mise à jour de la description des agents cognitifs lors de la modélisation de l'organisation des agents computationnels n'est pas précisée dans la méthodologie originale DOCK. Etant donné le contexte de conception d'un système censé aider les individus impliqués dans un atelier de créativité, il est difficile d'imaginer que le système ne va pas modifier l'environnement dans lequel il s'inscrit. Cela semble tout à fait approprié de considérer que le système en cours de conception puisse modifier les actions, les compétences et les connaissances des agents humains et, par conséquent, les agents cognitifs qui suivent ces agents humains. En effet, l'introduction d'agents réactifs implique de nouvelles actions, de nouvelles connaissances et de nouvelles compétences, ainsi que de nouveaux domaines d'interactions dans le modèle de rôle. Si l'on prend l'exemple de l'agent organisateur, le modèle de rôle (Tableau 18) à l'issue de la modélisation de l'organisation des agents, il correspond au modèle de rôle de l'organisation des agents humains (Tableau 16) complété par les éléments de l'organisation des agents computationnels. Les croix (+) dans le Tableau 18 représentent les nouveaux éléments issus de la modélisation de l'organisation des agents.

Tableau 18. Modèle du rôle Organisateur mis à jour suite à la modélisation de l'organisation des agents computationnels

Organisateur	
Organisation	Organisation des agents computationnels
Missions	Formaliser le problème à résoudre Organiser l'atelier de créativité Triez les idées générées + Assister l'évaluation des idées
Compétences	Démarche d'identification des informations du problème Caractériser le problème à résoudre Résumer les informations concernant le problème en un sujet Résumer le sujet en une problématique + Afficher les approches de résolution possible Sélectionner l'approche de résolution du problème [...]
Connaissances	Questions pour structurer la collecte d'informations Types d'information nécessaires pour définir la méthodologie d'évaluation Types d'information nécessaires pour définir le sujet et la problématique Typologie de problème Equilibre entre ouverture et précision de la formulation du sujet + Approche de résolution suggérée + Information concernant l'approche suggérée [...]
Domaines d'interaction	+ Agent d'aide à l'analyse du problème + Agent d'aide à la gestion des connaissances + Agent d'aide à l'organisation de l'atelier de créativité Commanditaire Expert Interface pour organisateur [...]
Responsabilités	Collecter les informations liées au problème Produire un résumé à partir des informations du problème + Afficher les informations concernant l'approche de résolution suggérée Capturer le choix d'approche de l'organisateur [...]

A l'issue de la réalisation de l'ensemble des modèles de l'organisation des agents computationnels, nous avons les informations des 13 agents dans ce qu'il est possible de considérer comme des cartes d'identité individuelles avec les caractéristiques de rôle. Avoir les caractéristiques des agents un à un permet de faciliter leur future programmation. Bien qu'à l'issue de la modélisation de l'organisation des agents computationnels, nous ayons beaucoup d'informations concernant les caractéristiques des agents, il manque la formalisation des interactions pour avoir une description complète des comportements des agents dans le système support à la créativité. La sous-section suivante aborde cette notion de formalisation des interactions.

5.3.3. Interactions entre les organisations cognitives, réactives et la base de connaissance

Pour avoir une description complète du SMA qui supportera un atelier de créativité, la dernière étape selon la méthodologie DOCK est de formaliser les interactions des agents. L'approche adoptée jusqu'à maintenant est une approche organisationnelle, ce qui implique que les agents ne sont pas considérés individuellement mais en interaction les uns avec les autres. La sous-section précédente présentait la réalisation des différents modèles en prenant en compte cette perspective organisationnelle afin de formaliser les caractéristiques des agents. Le modèle d'activité apporte également un certain nombre de détails concernant les actions réalisées par les agents en termes de communication et de traitement des données. Ainsi, à partir de ces informations concernant les agents durant la réalisation d'une activité, il est possible de formaliser les séquences d'interactions entre les agents et les objets. Cette formalisation s'effectue selon un diagramme de séquences UML avec quelques modifications concernant les stéréotypes liés aux agents computationnels et à la base de connaissances. La Figure 24 représente le modèle de séquences de l'activité A13 *Suggérer une approche de résolution du problème* qui a été détaillée selon les divers modèles dans les sous-sections précédentes. Selon le formalisme UML, les agents humains sont représentés avec des personnages. La modification par rapport au formalisme UML concerne la représentation des agents computationnels et de la base de connaissances. Les agents computationnels sont représentés avec un personnage sans bras et la base de connaissances avec un cercle contenant des éléments reliés entre eux. Comme cela a été présenté précédemment, il existe deux types d'agents : les réactifs et les cognitifs. Les agents computationnels c'est-à-dire les personnages sans bras dans la Figure 24, sont différenciés par un « R » pour les réactifs et un « C » pour les cognitifs. Le modèle de séquences de l'activité représente l'ensemble des agents et objets intervenant dans la réalisation de l'activité. Ainsi la Figure 24 représente, avec plus de détails quant à la nature des messages, les actions et les interactions introduites par le modèle d'activité (Figure 23).

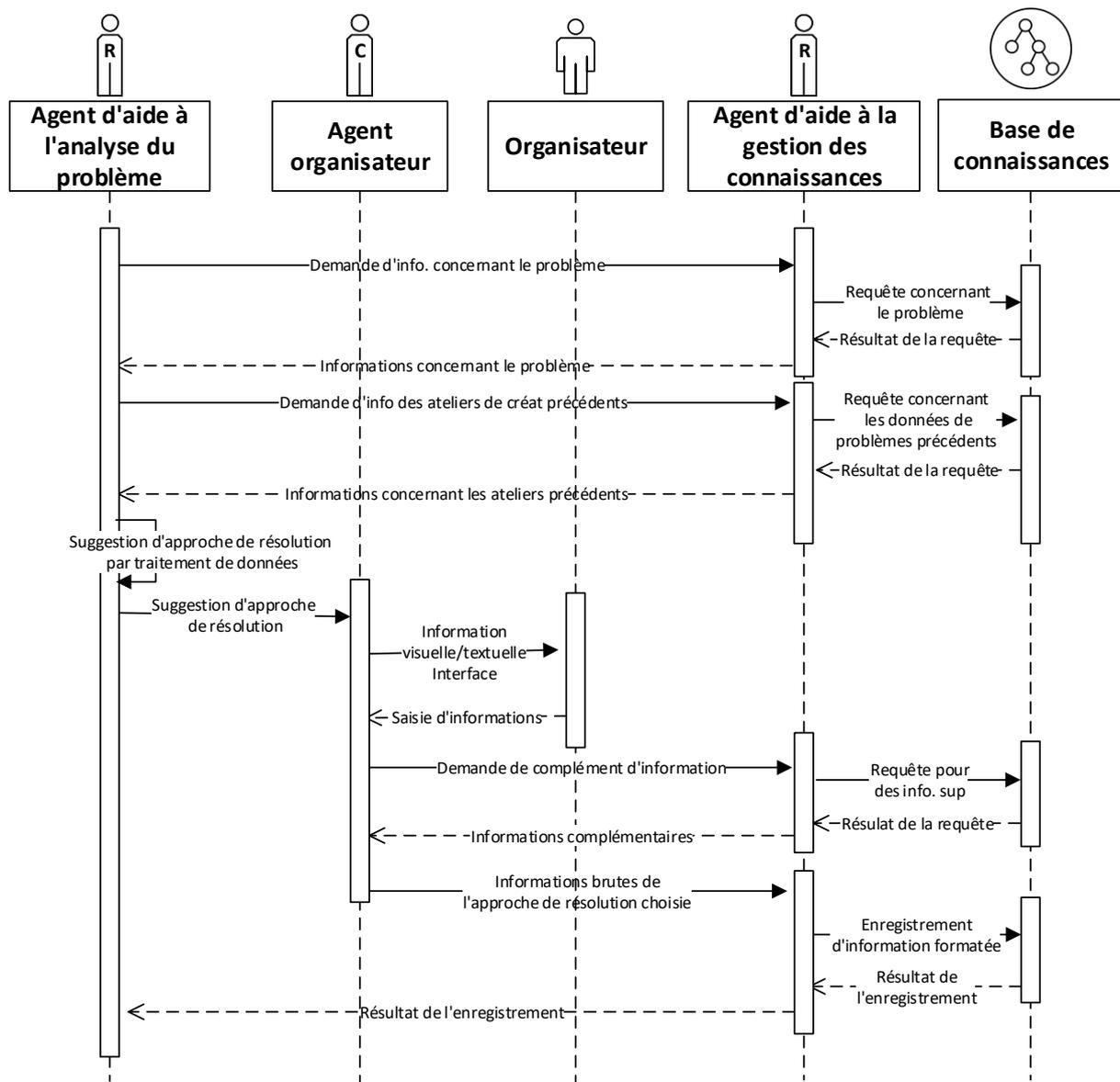


Figure 24. Modèle de séquences de l'activité A13 « Suggérer une approche de résolution du problème »

Pour chaque activité de l'organisation des agents, un modèle de séquences est réalisé pour décrire l'ensemble des échanges d'informations et d'interactions qui devront être programmés lors de la conception détaillée du système multi-agents. L'ensemble de ces modèles de séquences de chaque activité décrit les interactions de l'ensemble des agents du SMA pour la totalité du processus couvert. D'un point de vue général, le SMA peut être représenté sans rentrer dans les détails. A l'issue de la formalisation des modèles de séquences, les interactions globales entre les acteurs peuvent être représentées dans une représentation type « plateau à fromage ». Ainsi la Figure 25, représente les différents types d'agents (humains, cognitifs et réactifs) sur différents « plateaux » avec les relations à l'intérieur et entre les niveaux.

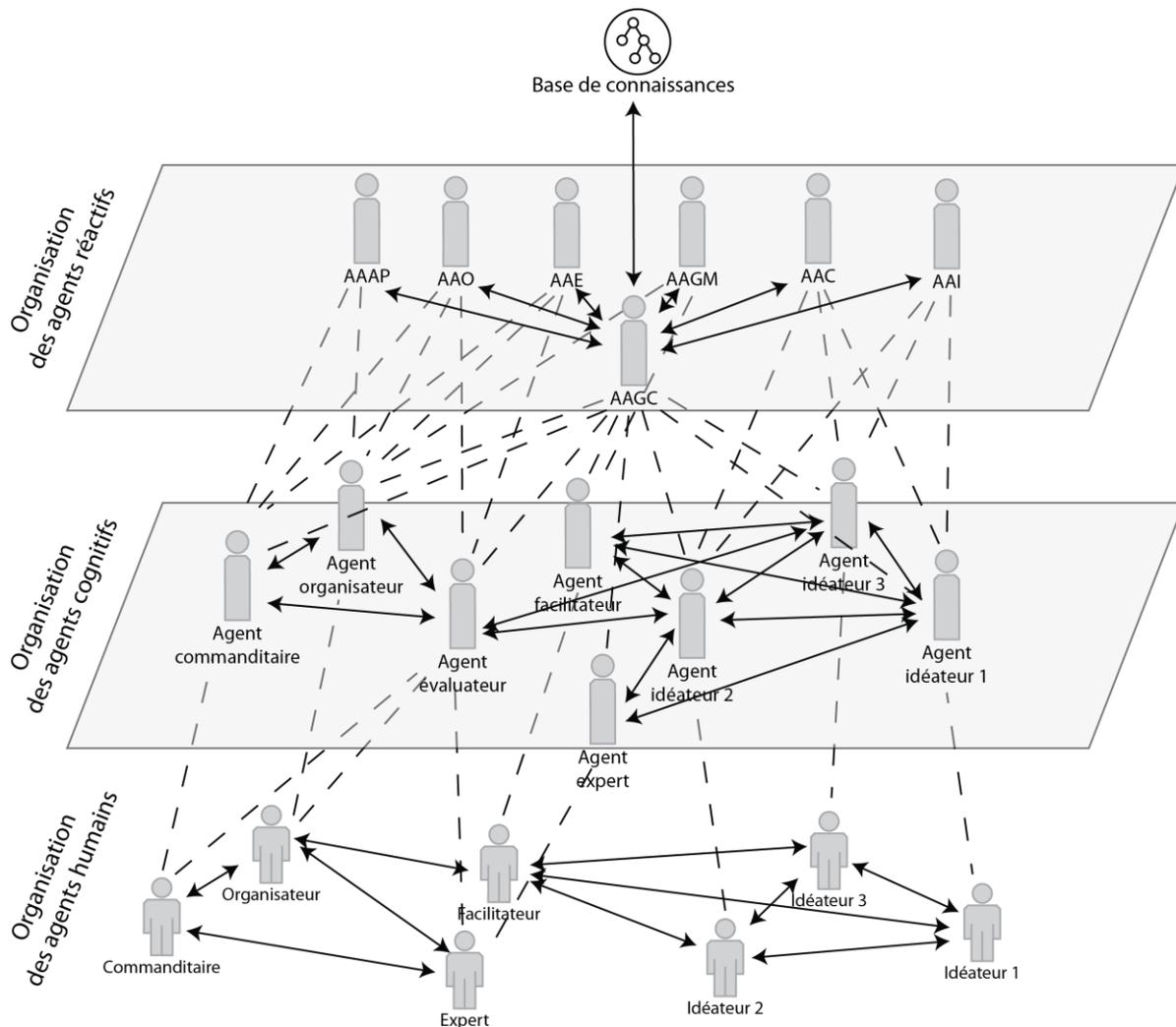


Figure 25. Représentation globale du Système Multi-Agents pour supporter une démarche de créativité

La représentation globale du système multi-agents par la Figure 25 illustre les interactions entre les agents. Ces agents communiquent directement entre eux par envoi de messages. La Figure 25 met également en évidence le lien unique de la base de connaissances et l'agent d'aide à la gestion des connaissances. La centralisation des connaissances concernant les instances d'atelier de créativité ne veut pas dire que les agents n'ont aucune connaissance. Pour que les agents interagissent, il faut qu'ils soient capables d'interpréter les messages qu'ils reçoivent, c'est-à-dire avoir une représentation du domaine de connaissances d'un atelier de créativité. Cette représentation des connaissances se formalise sous la forme d'une ontologie qui définit un vocabulaire permettant de structurer les échanges entre les agents. Ce même vocabulaire peut être utilisé pour structurer les connaissances capitalisées concernant les ateliers de créativité. La suite logique de la conception de ce système multi-agents support à la créativité est la formalisation de cette représentation des connaissances associées à l'atelier de créativité.

5.4. Conclusion

Ce chapitre présente l'application de la méthodologie DOCK pour concevoir un Système Multi-Agents dédié à la créativité. L'application de la méthodologie aboutit à la formalisation du modèle SMA pour un système support à des ateliers de créativité. Ce modèle de SMA intègre les spécifications des

agents du système ainsi que leurs interactions. Le principe de la méthodologie de conception du SMA est fondé selon une approche organisationnelle. L'approche organisationnelle a l'avantage de modéliser le fonctionnement de l'organisation dans lequel s'inscrit le SMA à concevoir et d'adapter sa conception. Dans le cas présent, un atelier de créativité a été modélisé pour déterminer les caractéristiques des rôles clés pour ensuite concevoir les agents du SMA adapté aux processus à assister. Le fait de considérer le fonctionnement actuel et d'adapter le système à concevoir permet d'une certaine manière d'être certain que l'ensemble du processus d'un atelier de créativité est supporté pour chacun des rôles. La méthodologie appliquée à la conception d'un système multi-agents support à la créativité aboutit à un modèle de SMA constitué de 6 agents cognitifs et 7 agents réactifs dans le but de faciliter le déroulement d'un atelier de créativité.

Le modèle SMA résultant de l'application de la méthodologie soulève malgré tout quelques questions concernant l'explicitation des interactions et la communication des agents. En effet, la méthodologie DOCK a l'avantage de systématiser la détermination des caractéristiques des agents mais du point de vue de la détermination des interactions, celle-ci nécessite certainement une nouvelle approche pour simplifier son application. Il est également question d'interactions et d'échanges entre les agents, mais la formalisation du contenu de ces échanges n'a pas été abordée. La définition d'un vocabulaire et d'une sémantique permettrait de formaliser et structurer ces échanges. Comme il est question de connaissances, la formalisation d'un vocabulaire permettrait également de formaliser les concepts manipulés par les agents et de fait, déterminer la structure de la connaissance à stocker.

Bien que la formalisation et la conception d'une ontologie représentant le domaine de connaissances puissent se faire en parallèle de la conception du système multi-agents, les conceptions de l'ontologie et du SMA ont été séparées dans un souci de clarté. Le prochain chapitre va aborder la conception de l'ontologie formalisant les connaissances liées au processus collaboratif de créativité d'un atelier de créativité nécessaire au fonctionnement du système multi-agents.

6. Un vocabulaire pour représenter les connaissances du processus de créativité

Table des Matières du Chapitre 6

6.1. Méthodologie de conception de l'ontologie	97
6.1.1. Définition de l'étendue, de l'objectif et des aptitudes de l'ontologie	99
6.1.2. Conceptualisation du vocabulaire	100
6.1.3. Développement	101
6.1.4. Validation et évaluation	102
6.2. Conception de l'ontologie pour la gestion des ateliers de créativité	102
6.2.1. Etendue, objectif et aptitude de l'ontologie	102
6.2.2. Création du vocabulaire	105
6.2.3. Développement de l'ontologie	110
6.2.4. Vérification	111
6.3. Discussion de la méthodologie	112
6.4. Conclusion.....	113

Le chapitre précédent a détaillé la conception d'un Système Multi-Agents (SMA) pour supporter le processus collaboratif de créativité. Ce système a pour objectif d'aider l'organisation et la mise en œuvre d'un atelier de créativité par la gestion des connaissances tout au long de l'atelier pour l'ensemble des acteurs. La conception de ce SMA a mis en évidence les nombreuses interactions entre les agents, mais a également introduit des interactions avec une base de connaissances pour stocker les connaissances échangées. Pour que les agents réalisent leur objectif de conception et influencent le déroulement de l'atelier de créativité, ils doivent comprendre les connaissances qu'ils s'échangent et se représenter le domaine de connaissances qu'ils manipulent. Selon Ferber (Ferber, 1995), lors de la conception d'un SMA, la représentation des connaissances est tout aussi importante que la description des comportements des agents et de l'environnement réalisée dans le chapitre 5. La formalisation du domaine de connaissances concernant l'atelier de créativité est donc décisive car cela définit un vocabulaire commun pour structurer les échanges de connaissances, et cela apporte également une structure pour capitaliser, organiser et exploiter les connaissances (Kamsu Foguem et al., 2008).

Une des approches utilisées pour formaliser les domaines de connaissances dans le champ de l'intelligence artificielle est la construction d'ontologies. Une ontologie spécifie un vocabulaire constitué de termes/concepts, de la définition de chacun de ces concepts, et des relations qui les lient. Ces vocabulaires sont également composés de propriétés et de classes qui constituent un référentiel de métadonnées pour apporter une sémantique à du contenu dans l'objectif d'être lisible par des machines. La représentation des connaissances grâce à une ontologie possède un intérêt à plusieurs égards, cela permet notamment l'interopérabilité des agents et des systèmes par la définition d'un « langage » commun (Sorli and Stokic, 2009), et cela permet également de capitaliser des connaissances et d'en déduire de nouvelles par inférence grâce à la formalisation des relations qui lient les concepts (Kamsu Foguem et al., 2008). Il existe des vocabulaires pour décrire l'innovation, le brainstorming et les idées mais aucun ne couvre les concepts utilisés pour organiser et gérer un atelier de créativité. Selon le principe de structuration et de connexion des données (web des données) mis en œuvre par le Web sémantique, les concepts des ontologies existantes pourront éventuellement être réutilisés. Pour concevoir l'ontologie, qui sera utilisée par le SMA suggéré dans le chapitre précédent, l'approche de conception utilise le modèle organisationnel du processus collaboratif de créativité obtenu au chapitre 4. Les concepts et les relations qui constitueront cette ontologie sont extraits de la modélisation de l'organisation d'un atelier de créativité.

La première section de ce chapitre présente la méthodologie appliquée pour construire l'ontologie. La section suivante présente la mise en œuvre de la méthodologie et la réalisation de l'ontologie. Finalement, la conclusion suggère quelques perspectives d'utilisation d'une telle ontologie pour décrire les connaissances d'un atelier de créativité.

6.1. Méthodologie de conception de l'ontologie

Depuis l'introduction du concept d'ontologie dans les sciences de l'informatique, de multiples méthodologies de conception ont été proposées. Pour autant, d'après une revue de littérature, aucune méthodologie de conception d'ontologie n'est complètement mature (Iqbal et al., 2013). Selon l'auteur, les méthodologies n'apportent pas assez de détails concernant leur mise en œuvre, très peu d'entre elles couvrent la notion de réutilisation et de reconception d'ontologie, et la plupart ont une stratégie d'identification des concepts conventionnels et suggère d'explorer des approches

plus efficaces et pratiques. Il souligne également le peu d'attention portée à la construction collaborative d'ontologie. A partir de cette conclusion, nous avons comparé les phases des principales méthodologies existantes pour concevoir notre ontologie (Tableau 19). Les phases considérées sont : (1) la définition du domaine, de l'étendue, et de la finalité de l'ontologie, (2) la définition des questions-compétences de l'ontologie, (3) la conceptualisation/acquisition des concepts, (4) la réutilisation de concepts d'ontologies existantes, (5) le développement de l'ontologie (programmation), (6) le peuplement de l'ontologie, et (7) l'évaluation de l'ontologie. Le processus de construction de l'ontologie que nous utilisons suit les phases suggérées ci-dessus ainsi que les recommandations de conception suggérées par Noy and McGuinness (Noy and McGuinness, 2001).

Tableau 19. Comparaison des méthodologies de conception d'ontologie

Nom de la méthodologie	Domaine, Etendue, Finalité,	Questions - compétences	Acquisition/ conceptualisation	Réutilisation	Formalisation	Peuplement	Evaluation
KEM (Uschold and Gruninger, 1996)	X	X	X	X	X	X	X
TOVE (Gruninger and Fox, 1995)	X	X	X		X		
Onto methodology (Hadzic and Chang, 2008)	X		X	X	X		X
Design science ontology lifecycle (Bullinger, 2009)	X		X		X		X

Suite à l'identification des différentes phases du processus de conception d'une ontologie à partir de différentes méthodologies, nous proposons de combiner certaines phases qui nous ont semblé cohérentes dans le cheminement de conception afin de simplifier la description ultérieure de sa mise en œuvre. Ainsi, les sept phases suggérées dans la littérature (cf. Tableau 19) ont été regroupées pour former quatre étapes qui sont : la définition de l'étendue et de la finalité (incluant le domaine, l'étendue, la responsabilité et les questions-compétences de l'ontologie), la conceptualisation du vocabulaire (incluant l'acquisition et la réutilisation), le développement (incluant la formalisation et le peuplement de l'ontologie), et l'évaluation. Le processus de conception d'une ontologie tel qu'il va être abordé dans les sections suivantes est représenté par la Figure 26. Il met en évidence la distribution des phases selon les différentes étapes de conception ainsi que les deux boucles itératives en fonction des résultats de l'étape d'évaluation. Chacune des étapes de conception va être détaillée dans une sous-section, la première étant la définition des limites du domaine de l'ontologie à concevoir. La particularité de notre approche est de déterminer les concepts qui peupleront l'ontologie à partir de la modélisation organisationnelle que nous avons réalisée et présentée dans le chapitre 4. Les quatre sous-sections suivantes détaillent donc la réalisation des sept phases selon les quatre étapes présentées ci-dessus.

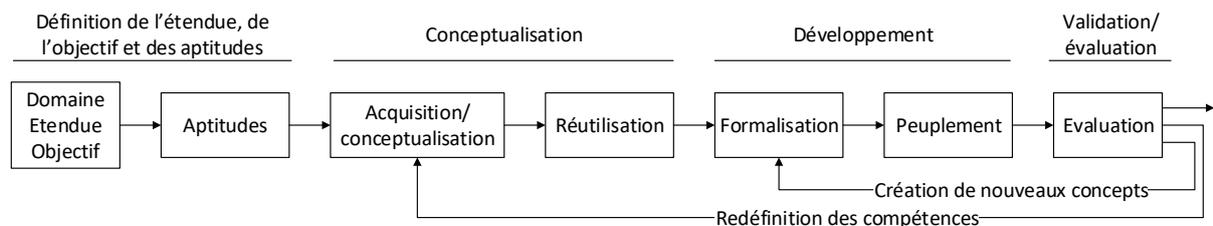


Figure 26. Processus de conception d'ontologie

6.1.1. Définition de l'étendue, de l'objectif et des aptitudes de l'ontologie

La première étape de notre approche est la préparation de l'ontologie. Cette préparation implique la définition du domaine, de l'étendue et de la finalité de l'ontologie. Pour faciliter la définition de ces aspects, il est suggéré de répertorier les acteurs ayant un contact avec la future ontologie (Gandon, 2002b). Afin de faciliter la définition ou la compréhension du domaine, de l'étendue et de la finalité par d'autres personnes, les situations couvertes par la future ontologie peuvent être décrites par des scénarios de motivation (motivating scenario) (Gruninger and Fox, 1995).

Ce qui est entendu par la notion de domaine est le domaine de connaissances décrit par le vocabulaire de l'ontologie. Ainsi une ontologie possède une certaine étendue de connaissances tant dans la diversité des concepts définis et l'éventuel recouvrement avec d'autres domaines que dans la spécificité et la précision des concepts du domaine décrit. La finalité de l'ontologie réfère à l'objectif de sa conception. Pourquoi va-t-elle être créée ? Quelle va être son utilité ? Que va-t-elle effectuer ? La finalité est liée à la notion d'objectif mais également à celle de questions-compétences (Gruninger and Fox, 1995 ; Uschold and Gruninger, 1996) qui correspond à un besoin en termes de connaissances. L'objectif global de l'ontologie peut ainsi être décomposé en questions-compétences qui sont des questions ou des affirmations auxquelles l'ontologie doit être capable de répondre. Nous préférons le terme d'*aptitude* à celui de *question-compétence* pour des raisons de simplicité mais également de confusions. L'aptitude est soit exprimée sous la forme d'une question pour obtenir des informations de l'ontologie, soit exprimée sous la forme d'une affirmation pour enregistrer ou modifier une information dans l'ontologie. Les aptitudes sont également un référentiel d'évaluation pour déterminer l'achèvement de la conception d'une ontologie (Gruninger and Fox, 1995). En effet, celles-ci sont traduites en requêtes SPARQL pour valider que l'ontologie fournisse bien les informations attendues.

Notre ontologie est construite à partir du modèle organisationnel obtenu lors de la modélisation des ateliers de créativité. Comme cela a pu être présenté dans le chapitre précédent, une approche organisationnelle tend à modéliser les interactions des individus dans une organisation pour comprendre son fonctionnement. Ce que nous avons mis en avant dans cette modélisation sont les échanges d'informations entre les individus. Le modèle de structure organisationnelle (Figure 15) formalise les multiples finalités de l'ontologie tandis que les modèles de processus (Figure 16) représentent, selon le formalise IDEF-0, les activités que décrit l'ontologie, les individus et les ressources nécessaires à leur réalisation ainsi que les connaissances requises et produites par les activités. De cette manière, le domaine de l'ontologie devient celui décrit par la modélisation. La question de l'étendue du vocabulaire, tant en termes de diversité que de précision, devient moins prégnante car la modélisation guide la détermination des concepts. La limite du domaine décrit par

l'ontologie correspond à la limite de la modélisation. La finalité de l'ontologie est donc la description, la collecte et l'apport des connaissances manipulées durant le processus modélisé.

6.1.2. Conceptualisation du vocabulaire

La deuxième étape de conception consiste à déterminer les concepts et les relations qui vont constituer l'ontologie. Selon la littérature, une des manières de définir ce vocabulaire est de décrire l'activité et les échanges de connaissances avec des phrases simples (sujet, verbe, complément) pour ensuite annoter et trier les concepts et les relations. La description des échanges selon une structure sujet-verbe-complément permet d'être au plus près de la structure sujet-prédicat-objet caractéristique d'une ontologie. Selon le mode de rédaction du scénario de motivation, il peut être utilisé pour définir le vocabulaire. Par exemple, à partir de la phrase « *Le facilitateur (sujet) choisit (prédicat) la technique de créativité (objet)* », il est possible d'identifier des concepts et une relation. *Le facilitateur* et *la technique de créativité* sont deux concepts de l'ontologie et sont reliés par l'action de *choisir*.

Comme l'étape précédente a pu l'introduire, l'identification des concepts et des relations de l'ontologie est réalisée à partir de la modélisation organisationnelle. Cette modélisation représente un ou plusieurs processus selon le formalisme IDEF-0. Ces processus sont constitués des activités ainsi que des connaissances requises ou produites et des ressources mobilisées. Cette représentation du domaine à décrire permet d'identifier et de lister les concepts du vocabulaire qui peuvent être, selon le formalisme IDEF-0, les ressources d'une activité, les productions d'une activité ou encore les supports. Après avoir identifié les concepts, ceux-ci sont répertoriés dans un tableau et les définitions de ces concepts sont formulées. Concernant les relations entre les concepts, celles-ci peuvent être déterminées par la description du déroulement de chacune des activités du processus. Ces relations sont également répertoriées dans un tableau avec leur description respective. Pour faciliter la détermination des relations entre les concepts, quelques questions peuvent être posées itérativement à chacun des concepts : Qu'est ce qui caractérise une instance de ce concept ? Avec quelle autre instance est-elle en lien et quelle est la relation ? Ces questions permettent de différencier les deux types de relations : les relations entre concepts et les relations avec une donnée (entier, chaîne de caractères,...). Chacune de ces relations est répertoriée dans deux tableaux distincts. Cette itération permet de vérifier l'exhaustivité des concepts et des relations déterminées à partir des modèles de processus. Si une question révèle un concept et/ou une relation qui n'était pas présente dans une des listes, celui-ci est ajouté et les mêmes questions sont itérées à ce nouveau concept ou cette nouvelle relation. Si ce nouveau concept ou cette nouvelle relation ne présente pas d'intérêt, c'est-à-dire hors du domaine à décrire et n'apporte rien à la finalité, celui-ci n'est pas ajouté à la liste des concepts ou des relations. L'itération des questions s'achève une fois que l'ensemble des concepts a été questionné.

En parallèle de la démarche de détermination du vocabulaire de l'ontologie, les concepts et les relations peuvent être représentés graphiquement. Cette représentation graphique facilite le suivi de la conception mais aussi la communication avec d'éventuels experts du domaine. L'intérêt de l'indexation des concepts et des relations dans des tableaux est l'exhaustivité des informations tandis que la représentation graphique permet une vision globale des relations entre les concepts. Plusieurs formalismes sont possibles pour représenter une ontologie : le diagramme de classe UML (Tran and Low, 2008 ; Westerski, 2013), le diagramme d'ontologie d'AML (Cervenka and Trencansky, 2007), G-

OWL (Héon, 2014), IDEF-5 (Iqbal et al., 2013), ou simplement avec des cercles et des segments (comme la représentation de Brainstorm Ontology¹⁸ ou de Ontology for Innovation¹⁹). Les formalismes qui seront utilisés dans la suite de ce chapitre sont le diagramme d'ontologie AML et le diagramme de classes UML. La combinaison de ces deux formalismes s'explique par une raison pratique, en effet il est difficile de visualiser la totalité d'un diagramme de classe UML quand le nombre de classes/concepts est important. Ainsi pour des raisons de représentation sur le papier de l'ontologie, la représentation AML est utilisée pour illustrer la structure de l'ontologie selon différents sous-domaines tandis que le diagramme de classe UML est utilisé pour représenter les différents concepts et leurs relations pour chacun de ces sous-domaines. La représentation graphique de l'ontologie selon un diagramme de classe est similaire à ce qui a été réalisé pour GI2MO (Westerski, 2013) mais la décomposition en sous-domaines permet la réalisation de diagrammes de classe plus lisibles.

Une fois les concepts et les relations déterminés, une des recommandations de conception (Noy and McGuinness, 2001 ; Gandon, 2002b) d'une ontologie est de réutiliser des concepts déjà formalisés par d'autres ontologies. La difficulté de réutiliser un concept réside dans l'identification de concepts similaires. Un concept n'est pas réutilisé parce que les noms sont identiques mais parce que les deux concepts partagent la même signification, c'est-à-dire que la définition des concepts est la même. Il est possible de trouver des concepts de différentes ontologies avec des noms de concept similaires mais avec des définitions différentes. La situation inverse est plus difficile à remarquer, il y a des concepts aux noms différents qui signifient la même chose. La réutilisation de concepts d'autres ontologies se traduit par l'ajout de l'espace de nommage ou identifiant (namespace) de l'ontologie source dans les listes des concepts et des relations.

6.1.3. Développement

A partir de la liste des concepts et des relations déterminés précédemment, ceux-ci peuvent être traduits en langage informatique. Pour ce faire, différents types de langage sont possibles avec différents niveaux d'abstraction. Le niveau le plus bas, sur lequel la quasi-totalité des recommandations du Web sémantique se base, est le langage XML qui est un métalangage utilisé pour construire des langages structurés de description de l'information (Gandon, 2002b). A partir de la syntaxe XML, le langage Resource Description Framework (RDF)(RDF Working Group, 2014) a été défini pour apporter un modèle de données afin de décrire les ressources et les triplets (prédicat, sujet, objet) qui sont le noyau de la représentation des connaissances. Au-dessus de RDF, la recommandation Web Ontology Language (OWL) (W3C OWL Working Group, 2012) a été réalisée pour apporter plus de détails aux documents du Web sémantique par la formalisation des classes, des propriétés, des individus et des valeurs de données. Le langage XML est donc la base de RDF et OWL, mais il existe également d'autres syntaxes possibles pour décrire les connaissances d'une ontologie telles que N3²⁰ or Turtle²¹. Le choix de la syntaxe n'a pas de réelle importance du fait que la plupart des logiciels de conception d'ontologie permettent de les générer. De plus, si le logiciel n'est

¹⁸ Brainstorm Ontology : <http://vocab.deri.ie/br> (29/01/2016)

¹⁹ Ontology for Innovation : <http://www.lexicator.co.uk/vocabularies/innovation/ns.html> (29/01/2016)

²⁰ N3 notation : <https://www.w3.org/TeamSubmission/n3/>

²¹ Turtle notation : <https://www.w3.org/TR/turtle/>

pas capable de générer une syntaxe particulière, il existe des applications web qui permettent la conversion, comme par exemple RDF translator²².

Dans le cadre de la conception de l'ontologie concernant l'atelier de créativité, le logiciel d'édition d'ontologie utilisé a été Protégé²³(Musen, 2015). Cette décision a été prise selon la renommée du logiciel dans la communauté scientifique et l'importante communauté d'utilisateurs. De plus, la structuration des concepts et des relations est spécialement adaptée à l'utilisation de ce logiciel car il structure également en trois catégories : classes (concept), propriété d'objet (relations entre concepts) et propriété de données (relation concept-donnée).

6.1.4. Validation et évaluation

Plusieurs aspects de l'ontologie peuvent être évalués : la syntaxe par rapport au standard ou à la recommandation utilisée, la consistance de l'ontologie, et les aptitudes réelles de l'ontologie. Concernant la syntaxe et le respect des recommandations, il existe divers outils disponibles pour faciliter cette tâche, par exemple Ontology Pitfalls Scanner²⁴, OWL validator²⁵ ou RDF validator²⁶. Une fois la syntaxe corrigée et les pratiques de conception respectées, la validation de l'ontologie porte sur la capacité de celle-ci à réaliser des inférences. Cela consiste à vérifier qu'il n'existe pas de contradiction entre les relations des concepts qui empêcherait le moteur d'inférence de déduire les relations implicites. Le moteur d'inférence qui a été utilisé lors de la conception de l'ontologie est le moteur d'inférence Pellet (Sirin et al., 2007). L'ontologie est déclarée comme incohérente s'il existe au moins un concept qui insatisfait des relations. Le plus haut degré d'erreur est l'inconsistance qui est l'impossibilité d'interpréter un axiome dans lequel est impliquée une instance. La troisième évaluation concerne la validation des aptitudes de l'ontologie. Les aptitudes définies lors de la première étape de conception sont traduites en requêtes SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL) (W3C SPARQL Working Group, 2013) pour être appliquées à l'ontologie et ensuite comparer les résultats à ceux attendus. Si le résultat de la requête n'est pas satisfaisant, deux actions sont envisageables : soit la requête SPARQL est modifiée pour mieux correspondre à l'aptitude attendue, soit l'ontologie est modifiée pour structurer les connaissances de manières adaptées.

6.2. Conception de l'ontologie pour la gestion des ateliers de créativité

6.2.1. Etendue, objectif et aptitude de l'ontologie

Comme cela a été dit préalablement, l'ontologie associée au SMA de support à la créativité décrit l'ensemble des concepts liés à l'atelier de créativité tout au long du processus et pour l'ensemble des acteurs. L'étendue du vocabulaire est donc l'ensemble des concepts qui décrivent l'atelier de créativité pour sa mise en œuvre et son organisation. Le domaine couvert par l'ontologie est la gestion d'atelier de créativité dans son ensemble, c'est pour cette raison que nous l'avons nommé

²² RDF translator : <http://rdf-translator.appspot.com/>

²³ Editeur d'ontologie Protégé : <http://protege.stanford.edu/>

²⁴ OOPS : <http://oops.linkeddata.es/response.jsp>

²⁵ OWL validator : <http://mowl-power.cs.man.ac.uk:8080/validator/>

²⁶ W3C RDF validator : <https://www.w3.org/RDF/Validator/>

Creative Workshop Management Ontology (CWMO). L'objectif principal est donc de décrire, de collecter et de distribuer les connaissances de l'atelier de créativité. D'après le modèle de structure organisationnelle (Figure 27) issu de la modélisation des ateliers de créativité, l'atelier est décomposé selon cinq processus : la formalisation du problème, l'organisation de l'atelier, la production d'idées, l'évaluation des idées et la communication/mise en œuvre des idées. Ces processus sont inspirés des quatre grandes étapes du processus de créativité (Howard et al., 2008). Ces processus peuvent être décrits de la manière suivante :

- Le processus d'*analyse de problème* est une phase du processus de créativité où le problème à résoudre de manière créative est formulé suite à une demande d'un commanditaire. Suite à cette demande de mise en œuvre d'un atelier, les informations concernant le problème, le contexte, la thématique et le sujet sont collectées.
- Lors du processus d'*organisation de l'atelier*, ces informations sont analysées par l'organisateur pour orienter au mieux l'atelier, reformuler le sujet, et distribuer les informations si nécessaire pour la mise en œuvre de l'atelier, mais également s'occuper de considérations logistiques telles que les locaux et le matériel nécessaire.
- Le processus de *génération d'idées* concerne, quant à lui, l'application de techniques de créativité par les idéateurs et avec l'aide des facilitateurs afin de générer des idées de solutions potentielles au problème à résoudre. L'orientation de l'idéation et des techniques de créativité doit être adaptée au problème à partir des informations collectées lors de l'analyse du problème.
- Le processus d'*évaluation des idées* confronte les idées au contexte du problème et aux éventuelles attentes. Comme pour l'idéation, il existe différentes techniques pour évaluer les différents aspects des idées en fonction du problème, des participants et du contexte de mise en œuvre de l'atelier.
- Finalement le processus de *communication/mise en œuvre* formalise les idées et produit différents types d'artefacts pour compléter, communiquer ou tester l'idée.

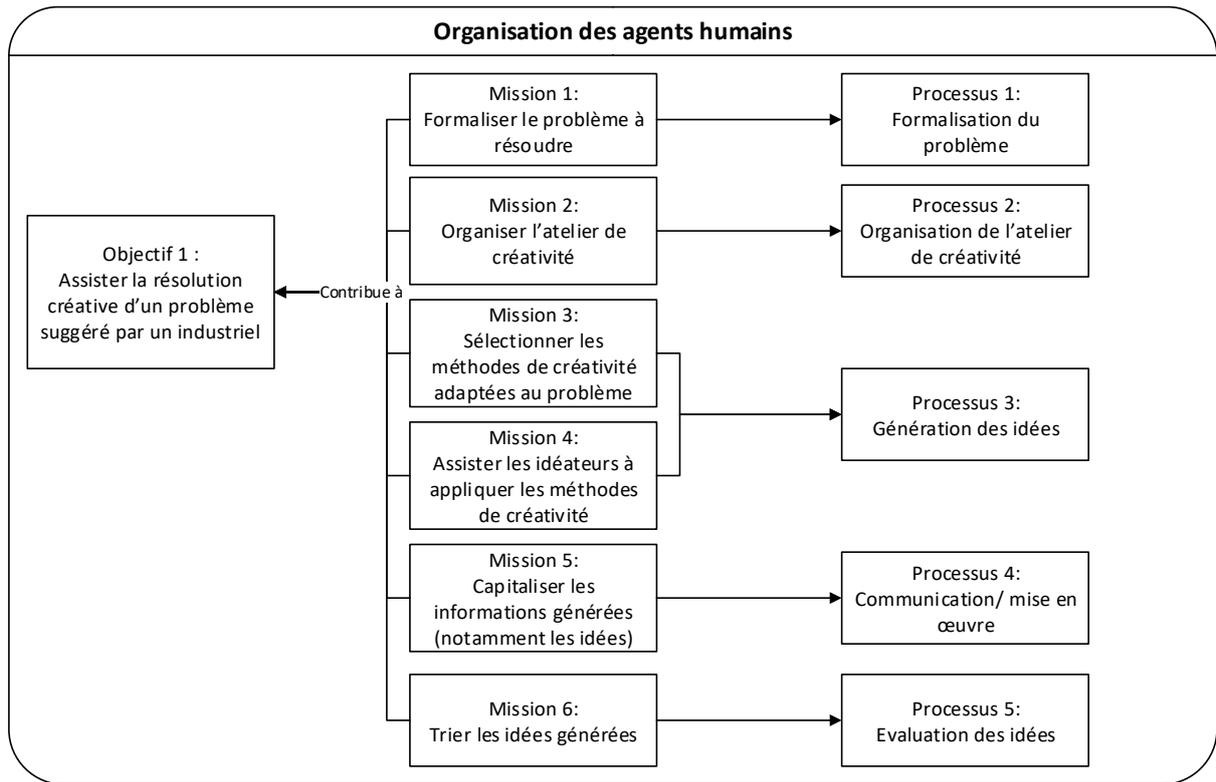


Figure 27. Modèle de structure organisationnelle d'un atelier de créativité issu de la modélisation du SMA

Chacun de ces processus est représenté en un modèle de processus selon le formalisme IDEF-0 (Figure 28). Ces modèles présentent les informations et les connaissances attendues et produites par les activités qui les composent. Ces informations concernant les connaissances permettent de déduire les aptitudes de l'ontologie CWMO. Le Tableau 20 répertorie les aptitudes qui seront mobilisées auprès de l'ontologie pour permettre la réalisation des activités et des processus. Les aptitudes ne concernent pas toutes le même type de manipulation de l'information, ni le même stade dans le cycle de vie de l'ontologie. Les informations concernant les techniques de créativité seront instanciées durant la conception de l'ontologie. À l'inverse, les informations concernant par exemple le problème ou bien les idées sont instanciées durant l'utilisation de l'ontologie lors d'un atelier de créativité. Cela signifie que le raisonnement à partir de ces données est possible uniquement après un certain nombre d'ateliers de créativité (raisonnement sur le problème) ou à la fin d'un atelier de créativité (raisonnement sur les idées) afin d'avoir une quantité critique de données.

Tableau 20. Aptitudes de l'ontologie pour chacun des scénarios

Processus	Aptitudes
Analyse du problème	<p>Quel est le problème déjà résolu le plus proche ?</p> <p>Créer un problème avec le sujet et le contexte.</p> <p>Ajouter un sujet, un contexte et une ressource au problème.</p> <p>Créer une stratégie de créativité qui réponde au sujet.</p> <p>Ajouter une technique de créativité à la stratégie.</p> <p>Quelles sont les techniques de créativité associées à des problèmes similaires ?</p> <p>Quelles ressources et conditions sont nécessaires pour appliquer une technique de créativité particulière ?</p> <p>Quelles techniques de créativité peuvent être appliquées selon le contexte et les ressources disponibles ?</p> <p>Quelles sont les techniques de créativité les plus adaptées selon le mode de collaboration ?</p> <p>Quelles sont les techniques de créativité les plus adaptées selon les outils et les technologies disponibles ?</p> <p>Quelles sont les informations concernant un problème donné ?</p>
Génération des idées	<p>Ajouter une nouvelle technique de créativité avec ses différentes caractéristiques.</p> <p>Quelles sont les informations concernant les techniques de créativité appliquées ?</p> <p>Quelles idées peuvent être intéressantes/inspirantes dans le cadre de ce problème ?</p> <p>Quelles ressources peuvent être inspirantes selon le problème et la technique de créativité appliquée ?</p> <p>Quelles sont les technologies et le matériel nécessaire pour appliquer les différentes techniques de créativité ?</p> <p>Créer une idée avec ses diverses caractéristiques.</p> <p>Ajouter un nouvel outil/ matériel/ technologie utilisé pour appliquer ou assister l'application d'une technique de créativité.</p>
Evaluation des idées	<p>Créer une stratégie d'évaluation au problème.</p> <p>Ajouter les données d'évaluation à l'idée.</p> <p>Quelles sont les évaluations d'une idée ?</p> <p>Ajouter le résultat final d'une idée pour une stratégie d'évaluation.</p> <p>Quel est le classement d'une idée pour une stratégie d'évaluation donnée ?</p> <p>Ajouter une technique d'évaluation à la stratégie de créativité.</p> <p>Ajouter un critère et une pondération à une technique d'évaluation selon la stratégie.</p> <p>Affecter une technique ou un critère à une personne selon la stratégie.</p> <p>Quels sont les critères d'évaluation associés au problème et à la personne ?</p> <p>Quelle est la pondération d'un critère selon un problème ?</p> <p>Quelles sont les techniques d'évaluation associées à un problème ?</p> <p>Quelle est la technique d'analyse de donnée pour le problème ?</p> <p>Quelles sont les idées à évaluer en premier en fonction du problème ?</p> <p>Quelles sont les idées proches d'une idée donnée ?</p> <p>Quelle est la technique de créativité à l'origine de l'idée ?</p>

6.2.2. Création du vocabulaire

Après avoir formalisé les aptitudes de l'ontologie avec les modèles de processus, l'étape suivante est de déterminer les concepts et les relations qui vont composer l'ontologie. Les concepts sont déduits de la modélisation organisationnelle et indexés dans un tableau des concepts. Le Tableau 21 présente un extrait de ces concepts. Ce tableau apporte les définitions de concepts issus du modèle

de processus de la génération d'idées (Figure 28) telles que la technique de créativité, l'ordonnancement des techniques de créativité, le facilitateur ou l'idéateur. Par contre, le modèle de processus ne permet pas de déterminer directement les relations entre les concepts. Pour ce faire, les questions « Qu'est ce qui caractérise une instance de ce concept ? » et « Avec quelle autre instance est-elle en lien et quelle est la relation ? » permettent itérativement de compléter le vocabulaire

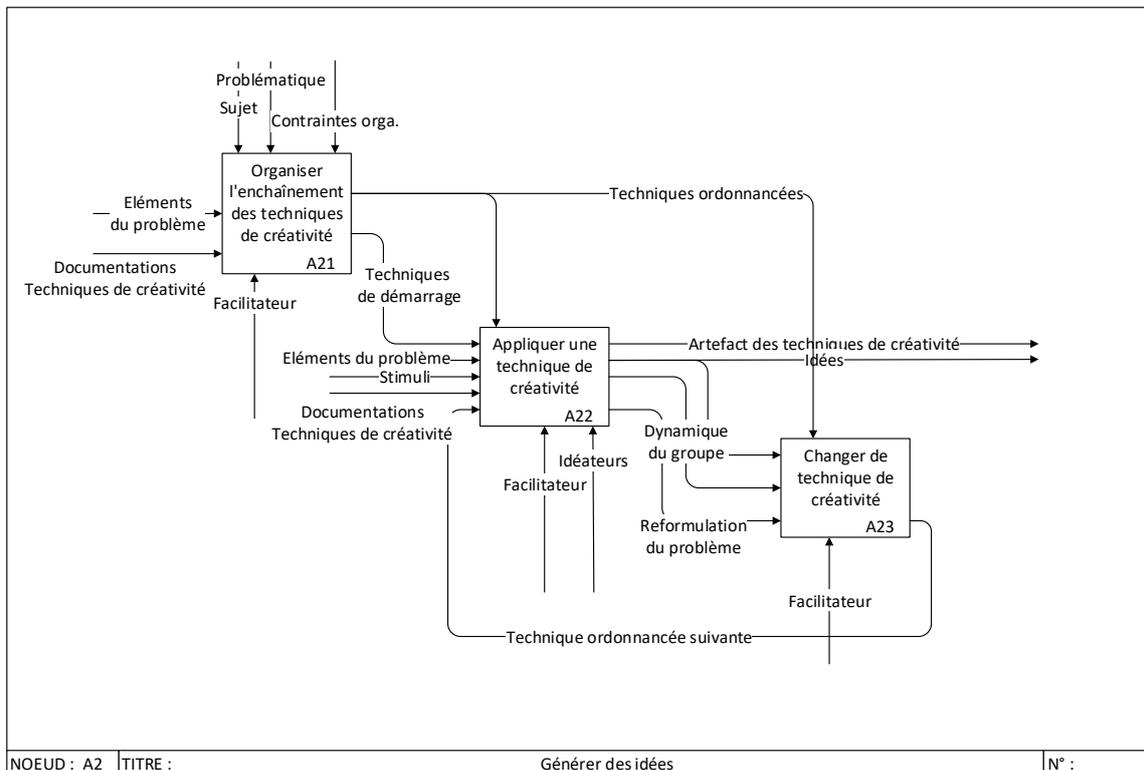


Figure 28. Modèle de processus de la génération des idées lors d'un atelier de créativité

Par exemple, *facilitateur* est le rôle d'une *personne*, le concept de personne est ajouté dans la liste (Tableau 21). Par la même occasion, la relation « aPourRôle » qui lie ces deux concepts est ajoutée dans la liste des relations de concepts (Tableau 22). En faisant le même exercice avec *Personne*, les relations de données *nom* et *prénom* sont ajoutées à la liste des relations de données (Tableau 23). Ce mécanisme itératif est l'occasion d'intégrer des concepts présents dans la littérature. C'est ainsi que la description d'une technique de créativité est enrichie par des concepts issus de la littérature (VanGundy, 2008 ; Martin et al., 2012) et permet de mieux concevoir la réalisation de l'activité *Organiser l'enchaînement des techniques de créativité*.

Tableau 21. Extrait du tableau des concepts de CWMO

Concept	Identifiant du vocabulaire (namespace)	Définition
Techniques ordonnancées	CWMO	Sélection de techniques organisées par le facilitateur pour résoudre de manière créative le problème de manière adaptée.
Technique de créativité	CWMO	La technique de créativité est un ensemble d'instructions appliqué par les idéateurs et guidé par le facilitateur pour générer des idées.
Facilitateur	CWMO	Le facilitateur est une personne qui encadre l'application des techniques de créativité et veille à la création d'une dynamique favorable à la créativité dans le groupe d'idéateurs.
Idéateur	CWMO	L'idéateur est une personne qui propose des idées afin de résoudre créativement un problème.
Problème	CWMO	Le problème est l'ensemble des informations qui explique les raisons pour lesquelles une organisation met en œuvre un atelier de créativité.
Personne	FOAF	La classe personne représente un individu indépendamment de son état ou de son rôle.

Tableau 22. Extrait des relations de concepts

Nom de la relation	Domaine (concept)	Portée (concept)	Définition	Identifiant du vocabulaire (namespace)
aPourRole	Personne	Facilitateur Commanditaire Organisateur	Propriété indiquant qu'une personne assume un ou plusieurs rôle(s) durant un atelier de créativité.	CWMO
estMatérialiséPar	Idée	Artefact	Propriété indiquant qu'une idée a été concrétisée en un objet tangible.	CWMO
matérialise	Artefact	Idée	Propriété indiquant qu'un artefact représente une idée.	CWMO
généralise	Concept	Idée	Propriété indiquant qu'un concept généralise une idée. Plusieurs idées peuvent représenter un même concept bien que les idées soient différentes.	CWMO
estGénéraliséPar	Idée	Concept	Propriété indiquant qu'une idée est généralisée par un concept.	CWMO
estContraintPar	Problème	Contrainte	Propriété indiquant qu'un problème est limité par différentes contraintes.	CWMO

Tableau 23. Extrait des relations de données

Nom de la relation	Domaine (concept)	Portée	Définition	Identifiant du vocabulaire (namespace)
titre	Idée Sujet Technique de créativité Technique d'évaluation	chaîne de caractères	Décrit le titre d'une entité.	dcterms
nom	Personne	chaîne de caractères	Nom de famille d'une personne.	foaf
prénom	Personne	chaîne de caractères	Prénom d'une personne.	foaf
lieu	Evènement	chaîne de caractères	Endroit où un évènement se déroule.	schema
description	Idée Sujet Problème Technique de créativité Technique d'évaluation	chaîne de caractères	Décrit le contenu d'une entité. La description peut être mais n'est pas limitée à : un résumé, une table de contenu, une représentation graphique, ou un texte libre.	dcterms doap

En parallèle de la formalisation des concepts et de leurs définitions, l'ontologie peut être représentée graphiquement. La Figure 29 présente quelques concepts et relations de l'ontologie CWMO. La difficulté est de représenter cette ontologie d'un seul tenant sachant qu'elle comporte un nombre important de concepts et de relations. Étant donné que la modélisation organisationnelle (Figure 27) décompose l'atelier de créativité en cinq processus, la représentation de l'ontologie peut s'en inspirer. Les processus d'analyse du problème, d'organisation de l'atelier de créativité, de génération d'idées, d'évaluation et de communication/mise en œuvre correspondent respectivement à la spécification des concepts liés au problème, à l'organisation, aux techniques de créativité, à l'évaluation et aux idées (Figure 30). Ces différents domaines qui constituent l'ontologie CWMO ne sont pas indépendants, en effet les concepts qui les composent sont reliés les uns aux autres. Cette décomposition de l'ontologie en domaines (qui sont des regroupements de concepts) a comme unique but de faciliter la représentation de l'ontologie. Une vue d'ensemble de l'ontologie ainsi que chaque domaine de l'ontologie se trouvent en annexe (Annexe C).

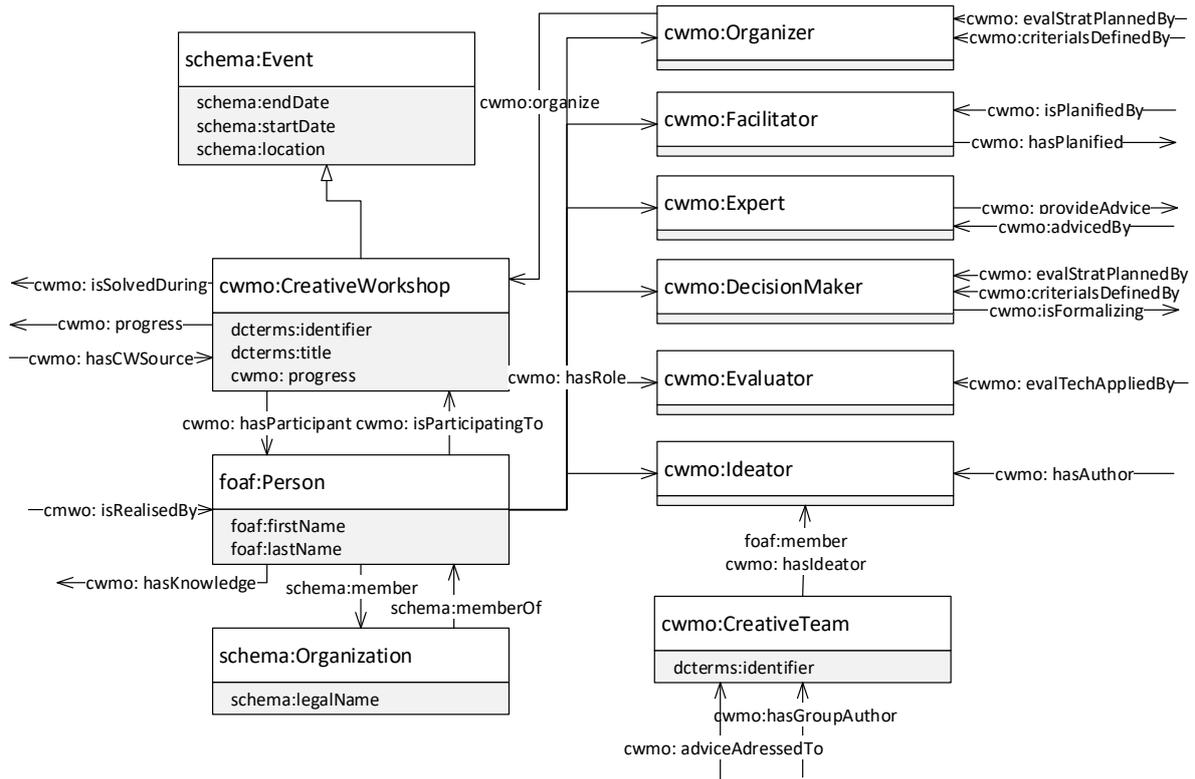


Figure 29. Représentation partielle de l'ontologie : concepts de base de l'ontologie décrivant les personnes et leurs rôles

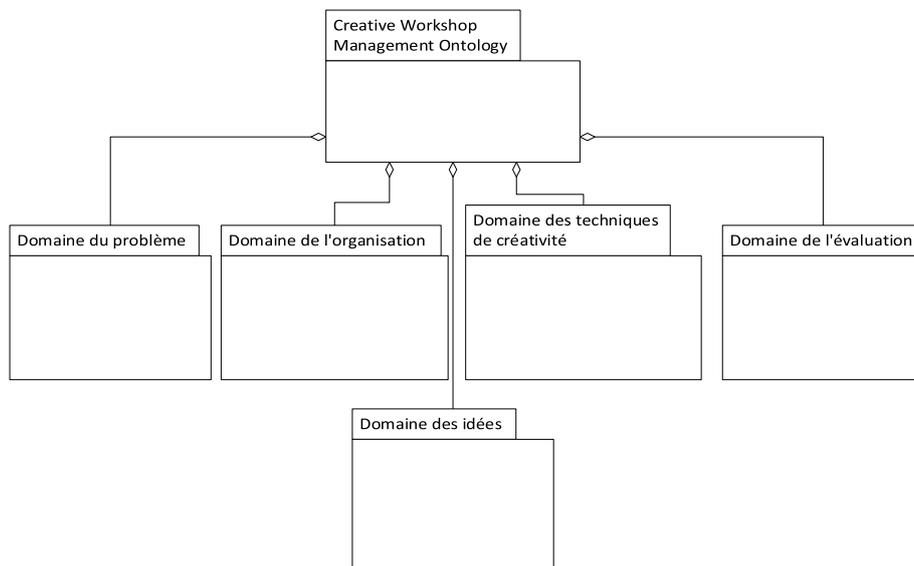


Figure 30. Décomposition en sous domaines de l'ontologie CWMO

Une fois les concepts et les relations déterminés, tous ces éléments sont comparés à des ontologies existantes pour vérifier l'existence de concepts et de relations similaires dans le but de les réutiliser. Pour ce faire, nous avons utilisé le moteur de recherche Linked Open Vocabulary²⁷ (LOV) qui permet de chercher parmi les noms des concepts et les définitions de concepts provenant de plusieurs centaines de vocabulaires. Si un concept ou une relation est proposé par le moteur de recherche LOV

²⁷ Linked Open Vocabulary <http://lov.okfn.org/dataset/lov/>

et possède une définition similaire, il peut être remplacé par celui déjà existant. Ainsi le concept de *Personne* existe déjà dans l'ontologie Friend-Of-A-Friend (FOAF), le concept ayant le même nom dans les deux vocabulaires, seul l'espace de nommage du concept (namespace), c'est-à-dire l'identifiant de l'ontologie référente pour avoir la définition du concept change, passant CWMO à FOAF comme c'est indiqué dans le Tableau 21. Si, par contre, un concept ou une relation possède une définition proche mais n'est pas adapté à sa réutilisation dans le contexte de l'ontologie, celui-ci peut être mentionné en commentaire lors du développement de l'ontologie pour faciliter la compréhension des potentiels utilisateurs. Au final, nous avons enrichi CWMO de concepts provenant d'ontologies telles que GI2MO (Westerski, 2013), FOAF (Brickley and Miller, 2012), schema²⁸, dcterms²⁹, and SKOS (Alistair and Bechhofer, 2009).

6.2.3. Développement de l'ontologie

Afin d'implémenter notre ontologie, la traduction des tableaux de concepts et de relations en langage OWL s'est faite grâce à l'éditeur d'ontologie Protégé (Musen, 2015). La Figure 31 présente l'exemple du concept de technique de créativité qui a pour instance Mindmapping et une instance de stratégie de créativité (ordonnancement des idées). Ainsi l'ontologie CWMO est composée de 39 classes (concepts), 79 relations d'objet (relations de classe) et 32 relations de données. Bien entendu, durant la phase d'utilisation de son cycle de vie, l'ontologie est peuplée d'instances des divers concepts tels que les personnes, les ateliers de créativité et les techniques de créativité. Pour la grande majorité des concepts, leur création se fait dans la phase d'utilisation du cycle de vie de l'ontologie mais certaines aptitudes de l'ontologie et les fonctionnalités associées attendues requièrent des instances dès la mise en service de l'outil. C'est le cas des techniques de créativité dont des instances issues de la littérature (Aznar, 2005 ; Michalko, 2006 ; VanGundy, 2008 ; Martin et al., 2012) peuvent déjà peupler l'ontologie pour permettre la validation de certaines aptitudes et la réalisation de fonctionnalité future. Bien entendu, de nouvelles techniques de créativité pourront être ajoutées dans le cycle d'utilisation de l'ontologie.

²⁸ Schema.org : <http://schema.org/>

²⁹ Dublin Core Metadata Initiative : <http://dublincore.org/documents/dcmi-terms/>

```

<!--concept -->
<owl:Class rdf:about="http://purl.org/cwmo/#CreativeTechnique">
  <rdfs:label xml:lang="en">Creative Technique</rdfs:label>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#Activity"/>
  <rdfs:comment xml:lang="en">The creative technic class is the technic applied by
  the ideator to generated ideas</rdfs:comment>
</owl:Class>

<!-- instances -->
<owl:NamedIndividual rdf:about="http://purl.org/cwmo/#MindMapping">
  <rdfs:type rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#CreativeTechnique"/>
  <terms:title xml:lang="en">Mind Mapping</terms:title>
  <terms:description xml:lang="en">Visually organize the different elements of a
  complex problem in order to better understand it.</terms:description>
  <hasInputType rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#Attitudinal"/>
  <isRelatedTo rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#BrainstormGraphicOrganizers"/>
  <isSupportedBy rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#Coggle"/>
  <isRelatedTo rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#Collage"/>
  <isRelatedTo rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#ConceptMapping"/>
  <hasFunction rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#Exploration"/>
  <isProducingData rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#QualitativeData"/>
  <hasCreativePhase rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#Synthesis"/>
</owl:NamedIndividual>

<owl:NamedIndividual rdf:about="http://purl.org/cwmo/#CreatStrat1">
  <rdfs:type rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#CreativeStrategy"/>
  <isPlanifiedBy rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#Alex"/>
  <hasCreatTechnic rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#MindMapping"/>
  <hasCreatTechnic rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#Prototyping"/>
  <organizeResponseTo rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#SportSubject"/>
  <hasCreatTechnic rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#WeightedMatrix"/>
  <hasCreatTechnic rdf:resource="http://purl.org/cwmo/#WordCloud"/>
</owl:NamedIndividual>

```

Figure 31. Exemple de concepts et d'instances de l'ontologie CWMO en OWL

6.2.4. Vérification

Il existe différents niveaux de validation de l'ontologie. Pour valider la consistance de CWMO, le moteur d'inférence Pellet qui est intégré au logiciel Protégé a été utilisé pour détecter les erreurs critiques. Les inconsistances détectées ont été corrigées par itération jusqu'à atteindre le comportement et le raisonnement attendu. Une fois que l'ontologie ne contient plus d'erreur, la vérification se focalise sur les aptitudes de l'ontologie. Pour réaliser la validation des aptitudes, l'ontologie a été peuplée d'instances. Les aptitudes ont ensuite été traduites en requête SPARQL (Tableau 24) pour être testées sur CWMO. L'évaluation consiste à observer les résultats des requêtes comparativement aux résultats attendus. La Figure 32 illustre la soumission d'une requête pour connaître quelle technique d'évaluation est associée à un sujet et le résultat produit par cette requête. Le sujet n'étant pas spécifié, le résultat est tout à fait conforme à ce que nous devons obtenir, c'est-à-dire l'ensemble des techniques d'évaluation pour chacun des sujets présents dans l'ontologie. Dans le cas inverse où le résultat n'aurait pas été celui attendu, deux cas de figure sont possibles : modifier les concepts et les relations de l'ontologie pour que la requête génère le résultat attendu ou bien modifier l'aptitude et/ou sa traduction SPARQL.

Tableau 24. Exemples de traduction des aptitudes en requêtes SPARQL

Aptitudes	SPARQL requête
Quelles techniques de créativité peuvent être appliquées selon les ressources matérielles disponibles ?	<pre>SELECT DISTINCT ?tech WHERE { :cw48h2014 :possessEquipment ?equipment. ?tech :requireEquipment ?equipment. }</pre>
Quelles techniques de créativité peuvent être appliquées selon le contexte du sujet et les ressources disponibles durant l'atelier ?	<pre>SELECT DISTINCT ?technique WHERE { :cw48h2014 :possessEquipment ?equipment. ?pb :isFormalizedInto :HelmetSubject . ?pb :hasContext ?ctxt. ?ctxt :hasContextType ?ctxtType. ?technique :requireEquipment ?equipment. ?technique :appliedInContextType ?ctxtType. }</pre>

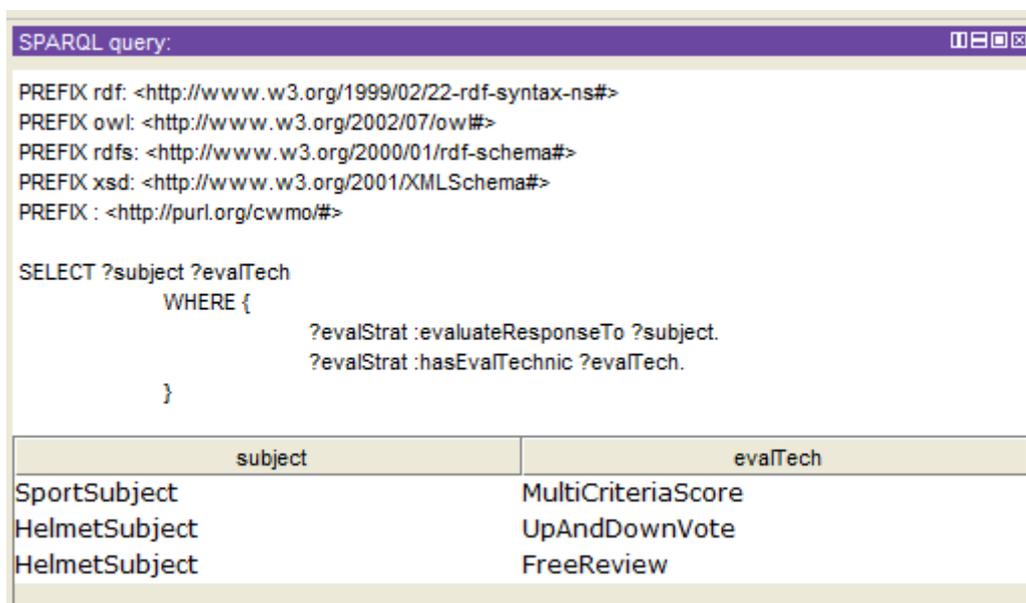


Figure 32. Requête SPARQL pour déterminer les techniques d'évaluation appliquées à un sujet d'atelier de créativité et le résultat de la requête

6.3. Discussion de la méthodologie

Dans le cadre de la construction d'un système support à la créativité sous la forme d'un système multi-agents, nous avons élicité la nécessité d'établir une représentation du domaine de connaissances. La construction de cette représentation du domaine de connaissances concernant l'atelier de créativité a été réalisée en continuité à la démarche de conception du système multi-agents, c'est-à-dire une approche organisationnelle. Bien qu'à première vue originale, ceci n'est pas suffisant pour positionner la méthodologie utilisée pour concevoir CWMO vis à vis de celles déjà existantes. Pour ce faire, nous allons réutiliser des critères déjà appliqués dans le cadre d'une revue de littérature des méthodologies de conception d'une ontologie (Iqbal et al., 2013). Les auteurs de cette revue ont défini huit critères divisés selon deux catégories :

- Les critères couvrant les aspects généraux de la méthodologie, c'est-à-dire les types de développement, le support d'une conception collaborative, l'incitation à la réutilisation d'ontologie, et le support de l'interopérabilité,

- Les critères couvrant les aspects techniques de la méthodologie, c'est-à-dire la dépendance au cas d'application, la recommandation d'un cycle de vie de l'ontologie, la stratégie d'identification des concepts et enfin la quantité de détails fournis concernant la mise en œuvre de la méthodologie.

Du point de vue général, la méthodologie appliquée dans ce chapitre suit un modèle de développement par étape qui a été défini par la combinaison d'étapes de différentes méthodologies. Par contre, les critères de construction collaborative, de réutilisation et d'interopérabilité n'ont pas été spécialement considérés dans la méthodologie. Pour autant, les étapes du processus de conception intègrent la réutilisation d'autres ontologies. Concernant la construction collaborative, l'utilisation du formalisme visuel tel que IDEF-0 pour déterminer les concepts va dans le sens d'une facilitation de la collaboration lors de la conception d'une ontologie. Cependant, selon le sens donné par les auteurs, le support à la construction collaborative fait plutôt référence à un outil collaboratif pour concevoir l'ontologie. La version en ligne de l'éditeur d'ontologie Protégé permet la réalisation collaborative d'une ontologie, mais la méthodologie en tant que telle n'a pas intégré la collaboration dans ces différentes étapes.

Du point de vue technique, la méthodologie peut être qualifiée de semi-indépendante au cas d'application de l'atelier de créativité. En d'autres termes, les différents scénarios d'utilisation possibles de CWMO ont été considérés durant l'étape de développement. Ceci est notamment dû à la stratégie d'identification des concepts qui est basée sur la modélisation organisationnelle de l'atelier de créativité dont nous cherchons à formaliser les connaissances. Cette modélisation organisationnelle constitue la particularité de la méthodologie. La stratégie d'identification des concepts peut donc être qualifiée d'ascendante (bottom-up). Le niveau de détails de la description de cette méthodologie utilisant la modélisation est selon nous élevé. Concernant le cycle de vie de l'ontologie, celui-ci doit être distingué du modèle de développement par étapes. Bien que la conception de l'ontologie suive des étapes définies, la notion de cycle de vie de l'ontologie n'a pas été explicitement intégrée à ce processus. Pour autant la méthodologie mentionne la phase de conception et la phase d'utilisation lors de la création d'instances durant l'étape de développement de l'ontologie.

Confortant la conclusion de la revue de littérature des méthodologies de conception d'ontologie (Iqbal et al., 2013), la présente méthodologie ne considère pas la conception collaborative de l'ontologie, et n'aborde pas la question de la réutilisation et de l'interopérabilité. Par contre, selon nous, la stratégie d'identification des concepts utilisée dans cette méthodologie est originale et répond à la suggestion d'explorer de nouvelles techniques. De plus, un effort a été réalisé pour apporter suffisamment de détails concernant les techniques et les activités utilisées par la méthodologie pour la reproduire, lacune reprochée à la plupart des méthodologies révisées.

6.4. Conclusion

Ce chapitre propose une approche organisationnelle de conception d'ontologie basée sur la modélisation organisationnelle d'un atelier de créativité afin de mettre en évidence les connaissances utilisées lors des ateliers de créativité. Cette approche organisationnelle systématise la détermination des concepts de l'ontologie par la représentation des activités et des connaissances requises et produites. Les ontologies permettent la capture, le partage et le traitement des

connaissances d'un domaine mais également l'interopérabilité entre acteurs physiques et logiciels (Sorli and Stokic, 2009). L'ontologie issue de la modélisation du processus collaboratif de créativité d'un atelier de créativité a été nommée Creative Workshop Management Ontology (CWMO). CWMO est une ontologie décrivant les connaissances nécessaires à la mise en œuvre et à la gestion d'un atelier de créativité. Cette ontologie formalise ainsi les connaissances manipulées par les humains, tous rôles confondus, durant l'ensemble des activités d'un atelier de créativité et qui seront manipulées par les agents supportant l'atelier.

La perspective de l'utilisation d'ontologie dans un système supportant la créativité est de permettre une représentation des connaissances nécessaires pour l'organisation et le déroulement de l'atelier. Cela permet de représenter et capturer non seulement les informations générées (idées, artefacts) mais également la démarche (typologie de problème, techniques de créativité, techniques d'évaluation). C'est à partir de l'ensemble des connaissances concernant l'atelier de créativité que le système support pourra aider les acteurs humains.

Dans le cadre de la conception d'un système multi-agents support à la créativité initiée dans le chapitre précédent, l'ontologie formalise les connaissances que les agents seront amenés à manipuler durant leurs échanges et leurs actions. Cette représentation du domaine de connaissances d'un atelier de créativité permet notamment aux agents d'inférer les connaissances manquantes pour éventuellement demander des compléments d'informations à d'autres agents. Cette ontologie apportera la capacité de raisonnement aux agents pour déterminer notamment la sélection des techniques de créativité en fonction du problème, l'enchaînement de ces techniques, ou bien la progression dans le processus de l'atelier de créativité. Cette ontologie fournit également les bases en termes de représentation du concept et de leurs attributs pour faire un potentiel système de recommandation des idées mêlant une représentation structurée des idées avec une approche basée sur les contenus (Ben Ticha et al., 2014 ; Chan et al., 2014).

Après avoir déterminé l'architecture du système intelligent pour supporter le processus collaboratif de créativité et l'ontologie CWMO, nous présentons dans le chapitre suivant comment les agents exploitent les données pour réaliser leurs missions.

Partie III

Contribution :

Agents dédiés à l'évaluation des idées

7. Processus d'évaluation des idées supporté par les agents

Table des Matières du Chapitre 7

7.1. Vue d'ensemble des méthodes d'évaluation appliquées à la créativité.....	119
7.1.1. Evaluation en créativité.....	119
7.1.2. Formalisation du contexte.....	122
7.2. Proposition d'une approche pour évaluer et classer les idées.....	124
7.2.1. Définition du contexte.....	124
7.2.2. Evaluation des idées.....	126
7.2.3. Traitement par analyse multicritère.....	126
7.2.4. Résultat et discussion.....	127
7.2.5. Approche d'application détaillée.....	127
7.3. Etude de cas d'un atelier de créativité pour le développement du tourisme durable dans la ville de Leticia.....	129
7.3.1. Contexte de l'atelier.....	129
7.3.2. Analyse du problème.....	129
7.3.3. Evaluation des idées.....	130
7.3.4. Traitement par analyse multicritère.....	131
7.3.5. Résultats et discussions du cas d'application.....	132
7.4. Discussion de l'approche.....	134
7.5. Conclusion et Perspectives.....	135

Le chapitre 5 a introduit la structure du Système Multi-Agents (SMA) pour supporter un atelier de créativité tandis que le chapitre 6 a introduit l'ontologie représentant les connaissances manipulées par les agents lors de leurs échanges et leurs interactions. La structure du SMA, détaillé dans le chapitre 5, présente les propriétés des agents illustrant leurs compétences, connaissances, actions et responsabilités. Dans ce chapitre, nous présentons comment les idées sont évaluées lors d'un atelier de créativité et ainsi formalisons la succession de certaines des actions de l'agent d'aide à l'évaluation des idées.

Dans le cadre de la résolution créative de problèmes, l'évaluation des idées illustrant de potentielles solutions au problème est essentielle. La notion d'évaluation ainsi que la notion de processus d'évaluation sont toutes les deux justifiées par les moyens limités des organisations qui tentent d'innover. Même si elles disposent de moyens considérables, elles ne peuvent pas développer la totalité des idées proposées. Il est donc nécessaire de différencier les idées qui ont un potentiel de celles qui n'en ont pas. La notion d'idée à fort potentiel varie notamment en fonction de l'entreprise, de son contexte (secteur, filière), du contexte de résolution du problème, de la demande du commanditaire, du nombre et du profil des personnes impliquées dans l'évaluation. De ce fait, le processus de sélection doit prendre en compte ce contexte particulier ainsi que l'ensemble des informations annexes (Cluzel et al., 2016). Ainsi, ce chapitre propose une approche pour intégrer les particularités du contexte dans le processus d'évaluation des idées afin d'adapter cette évaluation aux spécificités du problème à résoudre lors d'un atelier de créativité. La finalité de cette approche est de déterminer les idées et les concepts répondant aux mieux au problème proposé, selon les informations provenant du commanditaire et du décideur (dans le cas où les deux soient différents).

L'évaluation des idées peut être individuelle ou collective, bien que d'après Sawyer (2012), l'évaluation collective des idées semble être l'approche la plus pertinente. Les deux approches resteront deux perspectives possibles pour le commanditaire qui définira la stratégie d'évaluation qu'il souhaite. Ceci augmente la complexité de l'agent en charge de l'évaluation des idées. Pour permettre cette aide à la décision, l'hypothèse de ce chapitre est d'explorer les méthodes d'analyse multicritère pour les appliquer à l'évaluation des idées. Comme c'est déjà le cas dans divers domaines, les méthodes d'analyse multicritère (MCDA) ont montré leur pertinence pour aider la prise de décision dans un contexte multidimensionnel (Renaud et al., 2008 ; Nemery et al., 2012). La section suivante proposera une approche pour l'évaluation des idées en prenant en compte les différents choix nécessaires à la mise en œuvre de l'évaluation des idées basée sur des méthodes d'analyse multicritère. Cette méthodologie sera présentée au travers d'un exemple d'atelier de créativité.

7.1. Vue d'ensemble des méthodes d'évaluation appliquées à la créativité

7.1.1. Evaluation en créativité

La créativité est un sujet qui est étudié et théorisé depuis longtemps. Poincaré en son temps a déjà proposé une description des étapes principales de la créativité (Lubart, 2001). Sans réaliser une revue historique des théories concernant la créativité, la décomposition de ces étapes implique quasi systématiquement une phase de génération d'idées et une phase d'évaluation/validation des idées parmi d'autres phases (Nemiro et al., 2008 ; Howard et al., 2008 ; Seidel, 2011 ; Sawyer, 2012 ;

Salerno et al., 2015). Comme précédemment, nous considérerons la créativité selon les étapes issues d'une revue de littérature des processus du domaine de l'ingénierie et de la psychologie (Howard et al., 2008) : analyse du problème, génération des idées, évaluations des idées, et mise en œuvre /communication. Même Guilford qui a souligné la nécessité de réviser le processus de créativité en 4 étapes (Lubart, 2001) introduit la notion de confrontation et d'évaluation dans son modèle de pensée divergente/convergente. Selon le processus considéré, l'évaluation peut être utilisée pour différentes choses : sélectionner une idée parmi celles suggérées, gérer le processus de créativité (Micaëlli and Fougères, 2007), définir l'étape suivante dans le processus de créativité, changer l'orientation du processus (Bonnardel, 2006) ou évaluer la performance des techniques de créativité appliquées (Oman et al., 2013). Bien que le phénomène de créativité soit décomposable en six grands axes d'études (processus, produit, personne, environnement, croyances et potentiel) (Long, 2014), et que chacun puisse être sujet à évaluation, dans ce chapitre elle se limitera au produit de la créativité. En effet, ce résultat peut prendre de multiples formes : une idée formalisée, un prototype, un dessin, ou un produit/ service mis en œuvre.

Une fois qu'un grand nombre d'idées a été généré suite à l'application de techniques de créativité par les idéateurs, une ou plusieurs idées sont choisies parmi la masse des idées produites pour être approfondies. Cette prise de décision implique la réalisation d'appréciations et de compromis mais aussi la prise de risques (Oman et al., 2013). Les différentes approches qui ont été identifiées dans la littérature pour assister cette évaluation peuvent être regroupées en trois techniques principales (Westerski, 2013) : l'appréciation/analyse des idées, le traitement assisté par ordinateur, et le filtrage et le regroupement d'idées. L'*appréciation des idées* est effectuée par un évaluateur pour enrichir les idées en accord avec les objectifs de l'organisation et ses besoins actuels. L'*analyse de données assistée par ordinateur* est une tâche informatisée pour générer des statistiques, reconnaître des tendances et prétraiter les idées au préalable d'une décision humaine. Finalement, le *filtrage et le regroupement* sont composés de méthodes textuelles et graphiques durant la sélection des idées pour faciliter la navigation et la recherche d'idées dans la masse. Les exemples de ce genre de techniques incluent le Mindmapping et la grille d'avantage/inconvénient.

A partir de cette typologie, ce chapitre se positionne dans l'assistance à l'appréciation des idées. Cette évaluation peut être réalisée de différentes manières (Westerski, 2013) : des outils de classification, des outils de catégorisation, l'interconnexion (connecter les idées les unes aux autres), et l'appréciation écrite. Dans les sections à venir, les outils de classement et accessoirement les outils de catégorisation seront plus approfondis.

Pour effectuer l'évaluation des idées, différentes méthodes existent dans la littérature. La technique d'évaluation de produit la plus populaire (Long, 2014) est la Consensual Assessment Technique (CAT) (Hennessey and Amabile, 1999). Cette technique est l'une des 10 méthodes examinées par (Oman et al., 2013) qui proposent également deux autres méthodes pour l'évaluation des concepts créatifs durant l'étape préliminaire de conception : Comparative Creativity Assessment (CCA) et Multi-Point Creativity Assessment (MPCA). La quasi-totalité de ces techniques repose sur l'évaluation de critères par des juges, les aspects qui les différencient sont la technique d'évaluation, l'échelle d'évaluation et la manière de traiter les données de l'évaluation.

Toutes ces méthodes d'évaluation des idées, de filtrage et de regroupement requièrent des critères. Selon les caractéristiques de nouveauté et d'adaptation de la définition de la créativité, des

variations de critères peuvent être déterminées et déduites pour évaluer le potentiel d'une idée ou d'un concept. Ces critères peuvent être organisés selon un arbre (Figure 33) inspiré de la classification de Dean et ses collègues (2006) et légèrement modifiée par Verhaegen et ses collègues (2013). Malgré les modifications, certains critères n'ont pas été pris en compte tels que la variété ou la quantité. Ces critères ne sont pas pertinents pour l'évaluation des idées mais plutôt pour évaluer l'efficacité d'une approche ou d'une technique de créativité (Oman et al., 2013). La Figure 33 ne limite pas les critères d'évaluation, elle en propose une structure. Des critères d'évaluation spécifiques peuvent être associés à chacune des classes de l'arbre. Une étude concernant les critères utilisés par une entreprise pour évaluer des idées dans le cadre d'une démarche d'innovation a mis en lumière 7 critères : (1) alignement des idées avec la stratégie de la compagnie, (2) faisabilité de l'idée, (3) retour sur investissement de l'idée, (4) impact environnemental, (5) impact social, (6) amélioration des projets parallèles, (7) autres impacts tangibles (Correa and Danilevicz, 2015). Chacun de ces critères peut être associé à une des classes de l'arbre. Étonnamment, ces critères sont tous parents au critère de qualité de l'idée et très peu à l'aspect de nouveauté. Nous supposons que dépendamment du problème et de son domaine, l'évaluation n'implique pas les mêmes critères. Ainsi chacune des classes de la Figure 33, peuvent être utilisée comme un critère ou être détaillée par un critère plus spécifique mais dans tous les cas, il faut que ceux-ci soient pertinents par rapport au problème et l'objectif de l'atelier.

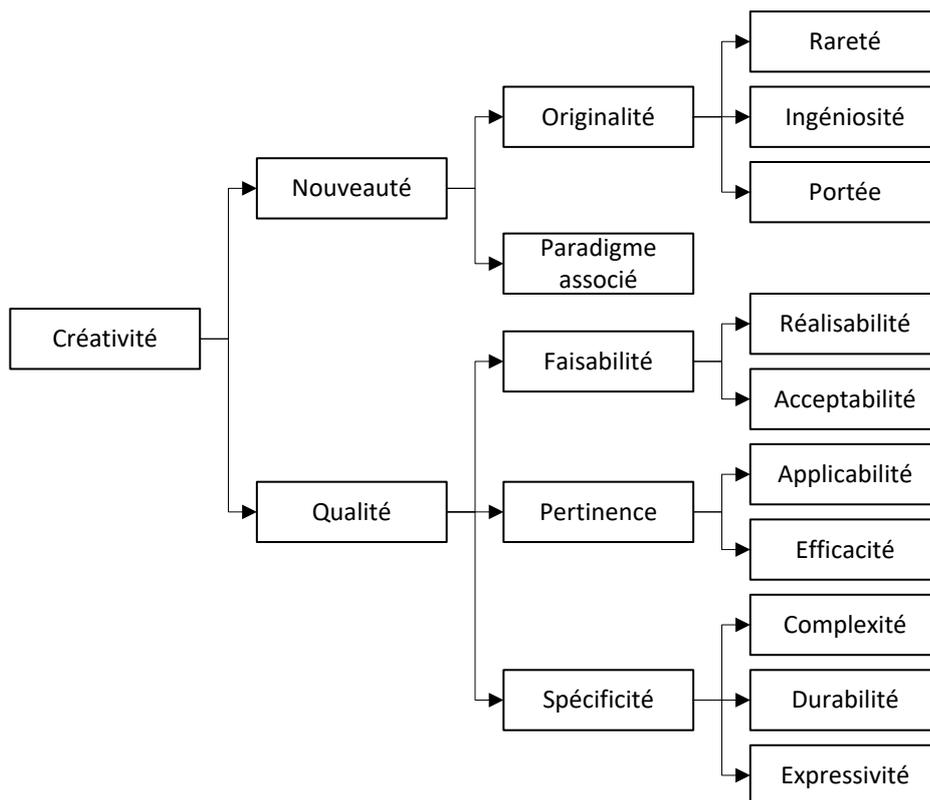


Figure 33. Synthèse des critères d'évaluations adaptés de (Verhaegen et al., 2013)

Selon Micaëlli et Fougères (2007), une meilleure évaluation est d'abord une meilleure conception de celle-ci. Il n'est pas possible de réaliser une évaluation avec des outils et des instruments sans les concevoir en fonction du contexte d'application. Pour ce faire, l'hypothèse est d'aligner l'évaluation avec le contexte de l'atelier et ses objectifs. Cela implique de collecter les informations nécessaires pour définir un référentiel à l'évaluation. Bien entendu, la créativité est quelque chose d'imprévisible,

concevoir des outils pour évaluer des résultats dont on ne connaît rien à l'avance peut paraître antinomique. Pour autant, tout en acceptant le caractère imprédictible de la créativité, un atelier de créativité est un moyen de gérer cette imprédictibilité en créant les conditions favorables à l'émergence d'idées. L'atelier de créativité pouvant être considéré comme un outil collectif de gestion et d'amélioration de la créativité, il est indissociable à la mise en place d'indicateurs pour justifier l'amélioration de la génération d'idées. Ces indicateurs peuvent être autant quantitatifs que qualitatifs. La difficulté réside dans le manque de connaissances des facteurs d'influence de la créativité, de leurs corrélations et la relation que cela peut avoir avec les critères d'évaluation.

Le Tableau 25 montre les récentes études concernant l'évaluation des idées en créativité. Bien qu'il ne soit pas exhaustif, deux remarques peuvent être faites : premièrement, il y existe deux types d'études : les études situationnelles basées sur la résolution d'une situation par la génération d'idées et les études de conception d'artefact qui se focalise sur la conception d'un objet tangible. Deuxièmement, certains critères comme la nouveauté sont communs à toutes les études alors que les autres critères dépendent de la situation. Les deux types d'études se distinguent par l'objet d'étude, il est soit question d'une situation problématique, soit il est question de la comparaison de divers artefacts. Concernant les critères, cela nous mène à confirmer la dépendance d'un ensemble de critères d'évaluation et de la nécessité de formaliser le contexte.

Tableau 25. Sélection d'études concernant l'évaluation des idées et les critères utilisés

Etude	Nature de l'étude	Produit / situation	Critères impliqués
(Dean et al. 2006)	Situationnel	Augmenter le tourisme à Tuscon	Nouveauté, Faisabilité, Pertinence, Spécificité
(Kudrowitz and Wallace, 2013)	Artefact	Parapluies, grille-pains et brosses à dents	Créativité, Nouveauté, Utilité, Louabilité, Clarté
(Gray et al., 2010)	Artefact	Divers conceptions d'objets	Nouveauté, Utilité, Faisabilité
(Liikkanen et al., 2011)	Situationnel	Réception d'hôtel informatisée et Smart Gym	Nouveauté, Utilité, Faisabilité, Niveau de détail, Mode de présentation
(Jagtap et al., 2015)	Artefact	Divers conceptions d'objets	Qualité, Nouveauté, Variété
(Cluzel et al., 2016)	Situationnel	Sélectionner des projets de R&D Eco-Innovant	Nouveauté, Variété, Quantité, Qualité
(Correa and Danilevicz, 2015)	Situationnel	Sélectionner des idées de projets innovants pour l'industrie électrique	Alignement à la stratégie de l'entreprise, Faisabilité, Retours financier, social et environnemental
(Verhaegen et al., 2013)	Artefact	Rasoirs	Quantité, Variété, Nouveauté, Qualité

7.1.2. Formalisation du contexte

Dans le but d'évaluer la pertinence d'une idée par rapport au problème auquel elle répond, il est nécessaire de définir les caractéristiques de ce problème. Le contexte d'un problème est composé de différents éléments notamment le secteur d'activité de l'organisation, les compétences disponibles, la stratégie de l'organisation, la culture de l'entreprise et l'expertise en terme de gestion de l'innovation. La formalisation du problème, de ses contraintes et de ses besoins permet d'énoncer correctement le problème et donc de déterminer le jeu de critères nécessaire pour évaluer les idées.

Comme cela a été mentionné par Roy et Słowiński (2013), une situation de prise de décision suppose trois choses : (1) un objectif composé d'un ensemble d'actions potentielles, (2) un ensemble de critères et d'attributs déterminé à partir de points de vue multiples et potentiellement conflictuels, et (3) des connaissances approfondies du contexte de décision et des acteurs qui possèdent les informations. La question de la contextualisation a déjà été abordée dans diverses situations comme celui des études comparatives de systèmes informatiques (Friginal et al., 2016) ou de systèmes de gestion de technologies de soins (de Moraes et al., 2010). Ces auteurs argumentent que les mêmes résultats des classements pourraient avoir des interprétations totalement différentes sans la contextualisation avec des facteurs comme par exemple l'environnement, le type de système ciblé ou les caractéristiques de l'évaluateur.

De plus, durant la phase de génération des idées, les contraintes issues du problème et de son contexte servent de guide pour la représentation mentale nécessaire à la résolution du problème (Bonnardel, 2006). Selon les recherches de N. Bonnardel, moins il y a de contraintes, plus il est difficile de résoudre le problème avec une approche créative. Récupérer les informations concernant le problème permet à la personne de définir l'espace de résolution du problème et ensuite représenter les idées dans l'espace des solutions associé. Dans le but de décider si une idée est présente ou pas dans l'espace des solutions, certaines informations doivent être collectées de la part de l'organisation commanditaire telles que les antécédents de l'organisation, les intentions de celle-ci, les critères de succès de la démarche de créativité ou encore la logique de prise de décisions du décideur.

La pertinence d'une idée dépendra du jeu de critères appliqué mais pas uniquement. Un même jeu de critères n'a pas forcément la même répartition des pondérations selon le contexte. Le niveau d'importance, c'est-à-dire le poids d'un critère varie selon le domaine et l'objectif d'un atelier de créativité. Par exemple, dans le cas d'un problème technique, les idées qui répondent aux spécifications du problème sont jugées comme pertinentes. Dans le cas d'un problème de conception, c'est quelque peu différent, une idée peut être considérée comme pertinente même si celle-ci ne répond pas aux spécifications du problème (Bonnardel, 2006). Plus précisément, le poids d'un critère appliqué pour évaluer une idée peut évoluer selon le domaine d'application. Par exemple, dans le cas de la création d'un meuble ou d'un site internet, l'originalité est plus importante (par exemple, 70% originalité, 30% adaptabilité) tandis que dans un contexte industriel, l'adaptabilité est plus appréciée (par exemple, 30% originalité, 70% adaptabilité) (Bonnardel, 2006). La formalisation du contexte et de ces particularités est justifiée pour concevoir et adapter un système d'évaluation qui n'est pas adapté en règle générale (Micaëlli and Fougères, 2007). L'analyse multicritère est une des manières d'adapter l'évaluation au contexte en déterminant le meilleur compromis des poids entre les différents critères.

Bien que la formalisation du problème soit un prérequis pour l'ensemble de l'atelier de créativité, nous avons préféré approfondir la méthodologie d'évaluation des idées en considérant les informations comme acquises. La méthodologie de collecte de ses informations ne sera donc pas abordée, d'autant plus que cela concerne un autre agent.

7.2. Proposition d'une approche pour évaluer et classer les idées

L'évaluation devient vraisemblablement de plus en plus importante pour les organisations qui veulent innover car elles ne peuvent pas se permettre d'accepter toutes les idées (Acar and Runco, 2012). Pour réaliser cette évaluation, la Consensual Assessment Technique (CAT) de T. Amabile peut être utilisée pour mesurer la créativité d'un produit ou d'un artefact (Piffer, 2012). Bien que l'évaluation de la production créative au travers d'une évaluation globale et subjective par des experts puisse être riche en termes de retours, cela nécessite beaucoup de temps pour traiter l'information. Ce traitement est d'autant plus difficile que les définitions des notions de produit créatif et de créativité ne sont pas forcément partagées parmi les experts. Pour systématiser l'évaluation, l'hypothèse est d'utiliser des méthodes d'analyse multicritère. En effet, les méthodes d'analyse multicritère permettent au décideur de déterminer le meilleur compromis en termes de combinaison de critères car il n'existe pas de combinaisons uniques qui conviennent à tous les cas de figure. De plus, le processus de formalisation du problème apporte des informations essentielles pour comprendre l'évaluation et cadrer la prise de décision (Nemery et al., 2012). La démarche d'évaluation peut être représentée comme un sous-processus (Figure 34) de celui de l'atelier de créativité. Il est composé de 4 étapes : définition du contexte, évaluation des idées, traitement multicritère, et discussion. Les sous sections suivantes vont détailler en quoi consiste chacune des étapes du processus d'évaluation des idées suggérées ci-dessus.

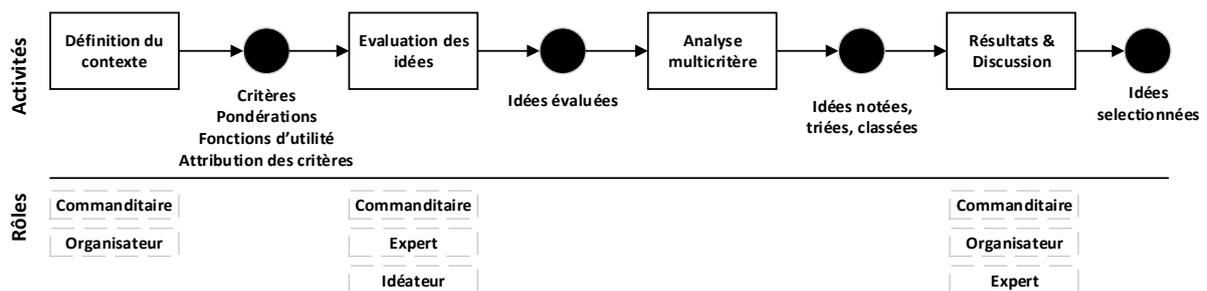


Figure 34. Représentation de l'approche d'évaluation des idées

7.2.1. Définition du contexte

La définition du contexte comme il a été expliqué plus haut dans ce chapitre (section 7.1.2) a pour objectif d'assurer la cohérence entre les objectifs de l'organisation et ce qui doit être évalué. Durant cette étape, il y a quatre activités clés : analyse du problème, définition des critères et de leurs échelles, détermination du degré d'importance de chaque critère, et assignation à chacun des évaluateurs.

7.2.1.1. Analyse du problème

Comme cela a été mis en avant par Bao et ses collègues (2010), les ateliers de créativité manquent parfois d'une orientation claire et n'arrivent pas à produire des idées de qualité. La définition du problème implique de formaliser des éléments du contexte durant l'atelier de créativité notamment concernant le sujet et le problème à résoudre. L'atelier de créativité est lui-même dans un contexte avec des contraintes, des attentes et des objectifs. Toutes ces informations nécessaires à la mise en

œuvre de l'atelier de créativité apportent également les informations nécessaires pour structurer et diriger l'évaluation et plus précisément choisir les méthodes d'évaluation adaptées.

7.2.1.2. Définition d'un ensemble de critères et d'échelles

La section 7.1 a déjà introduit cet aspect, les critères d'évaluation dépendent du contexte d'évaluation mais également de la définition de la créativité qui est, soit basée principalement sur la nouveauté, soit basée sur de multiples attributs (Dean et al., 2006). La définition multi-attributs de la créativité affirme qu'un produit doit être nouveau et également présenter un autre attribut gage de qualité (Kudrowitz and Wallace, 2013). Pour qu'une organisation fasse une réelle contribution sur le marché, une idée doit être applicable, utile et faisable – tout en étant nouvelle – (Acar and Runco, 2012), ce qui représente autant de critères d'évaluation. Ainsi, il est imaginable que le décideur puisse sélectionner les critères à appliquer parmi une liste ou définisse ses propres critères. Malgré tout, lors de la sélection/définition des critères d'évaluation, il faut garder en tête qu'un grand nombre de critères n'est pas adapté à l'évaluation d'un grand nombre d'idées (Riedl et al., 2010). D'un point de vue pragmatique, pour évaluer les critères, l'évaluateur a besoin d'une échelle d'évaluation. Celle-ci peut être binaire, aboutissant à un classement par l'agrégation des votes ou donner des notes selon une échelle de Likert. Il faut noter qu'utiliser des échelles trop réduites et un seul paramètre d'évaluation mènent à des résultats proches du hasard (Riedl et al., 2010).

7.2.1.3. Eliciter le degré d'importance pour chaque critère

Une fois le jeu de critères choisi, ils doivent éventuellement être pondérés les uns par rapport aux autres. En effet selon les objectifs de l'atelier de créativité et l'avis du décideur, les critères n'ont pas tous la même importance. Pour déterminer la pondération des critères, il y a deux solutions : soit le décideur définit explicitement le poids du critère, soit le schéma décisionnel est obtenu par l'application de méthodes d'analyse multicritère sur un panel d'idées. La définition explicite se fait par l'attribution d'un poids entre 0 et 100%, en faisant en sorte que la somme des critères soit égale à 100%. Concernant le mode de définition indirect, il existe différentes manières de déterminer le schéma décisionnel du décideur et les poids des critères qu'il applique intuitivement. Par exemple, il est possible de faire une comparaison deux à deux des critères par le décideur comme avec la méthode Analytical Hierarchical Process (AHP) (Saaty, 2008), établir une description du degré de satisfaction du décideur et ensuite quantifier l'expression de performance avec MACBETH (Bana E Costa and Vansnick, 1997), ou bien selon le classement préalable par le décideur d'un échantillon représentatif d'idées par identification paramétrique (Renaud et al., 2008). Le choix de l'une de ces méthodes pour déterminer la pondération des critères dépend du temps disponible et de la nature de l'information que le décideur peut fournir. La définition explicite combinée à une définition assistée par une méthode multicritère de la pondération des critères est également une manière de vérifier la cohérence de la stratégie d'évaluation du décideur en comparant les deux résultats.

7.2.1.4. Attribution aux évaluateurs

Il existe différents scénarios d'attribution des critères d'évaluations aux évaluateurs selon leurs nombres et leurs expertises. Plus précisément, il y a deux cas de figure en fonction du nombre d'évaluateurs : soit il y a un évaluateur unique, soit il y a plusieurs évaluateurs. Dans le premier cas, l'évaluateur apprécie chaque critère pour chacune des idées. Dans le dernier cas, la situation est un peu plus compliquée car elle introduit la diversité des points de vue des évaluateurs. Ce scénario

peut être dû au manque de connaissances du décideur sur certains aspects, ceci implique de collecter et traiter les informations générées. Ainsi, dans le cas de multiples évaluateurs, il y a trois manières différentes de mettre en œuvre l'évaluation : tous les évaluateurs évaluent indépendamment les mêmes critères, les évaluateurs évaluent des critères adaptés à leurs connaissances, ou bien les évaluateurs constituent un consensus pour chaque critère.

7.2.2. Evaluation des idées

Afin de mieux comprendre comment l'évaluation d'idées est exécutée, les trois scénarios d'évaluation (évaluateur unique, évaluation par agrégation de points de vue, ou consensus) sont plus amplement décrits.

- Le scénario le plus simple est celui de l'évaluateur unique qui implique soit le décideur soit un expert. Ce scénario peut être mis en œuvre pendant la génération d'idées durant l'atelier de créativité ou une fois que l'ensemble des idées a été généré. Dans le cas d'un atelier de créativité prolifique, cette approche entraîne l'évaluation d'un nombre important d'idées et est donc chronophage. De plus, malgré les critères formalisés, l'évaluation des idées selon un point de vue unique peut être assez critique. Une solution à la chronophagie de ce scénario serait la pré-sélection des idées par les idéateurs ou de manière automatique. La participation des idéateurs à l'évaluation pourrait se faire durant des activités dédiées lors de la phase de génération. Selon leur qualification, ils pourraient classer les idées selon des groupes, cartographier l'espace des idées avec un Mindmapping, ou évaluer les idées selon des critères qui leur sont spécifiquement dédiés. Cette approche permet d'avoir un premier tri des idées pour faciliter la tâche de l'évaluateur. D'une certaine manière, les idéateurs deviennent également des évaluateurs dans une configuration d'évaluation en groupe.
- Dans le cas d'une évaluation réalisée par plusieurs personnes, l'agrégation des évaluations peut se faire de différentes manières selon leurs rôles et les expertises des évaluateurs. Plusieurs évaluateurs vont individuellement évaluer les mêmes critères ou des critères adaptés à leur expertise. Dans ce cas, les points de vue seront variés à l'inverse de l'approche avec un seul évaluateur. Si ces évaluateurs évaluent les mêmes idées, la question des idées à évaluer en premier reste d'actualité. La solution de l'implication des idéateurs est également applicable. Afin d'accélérer l'évaluation de l'ensemble des idées, les évaluateurs pourraient évaluer différentes idées, ce qui revient à augmenter le rendement de l'approche à évaluateur unique.
- Le scénario du consensus consiste à répondre collectivement aux critères pour chacune des idées évaluées. Les évaluateurs discutent l'idée selon chacun des critères. Ceci peut générer des pistes d'améliorations mais est également très chronophage. Cette manière de faire introduit des biais en raison de la capacité de négociation et de prise de parole propre à chaque individu. Ce scénario n'est applicable que pour un petit nombre d'idées.

7.2.3. Traitement par analyse multicritère

Une fois les idées évaluées, les données générées par l'évaluation sont traitées par une méthode d'analyse multicritère. Cette étape calculatoire produit soit un tri, soit un classement, soit une classification en fonction de la méthode d'analyse multicritère utilisée. Si des outils numériques sont utilisés pour réaliser les calculs, cette étape est exclusivement informatique et donc virtuellement

invisible en terme de temps. La méthode d'analyse multicritère appliquée dépend du nombre d'évaluateurs (un ou plusieurs évaluateurs par idée), du poids des critères, de la nature du résultat souhaité, et éventuellement du modèle décisionnel (fonction de préférences) du décideur. Par exemple, si l'approche d'évaluation est l'agrégation de points de vue individuels, un « Group Analytical Hierarchical Process » peut être appliqué, ou bien si le décideur est capable de donner une fonction de préférences pour chacun des critères, la méthode MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) (Ishizaka and Nemery, 2013) peut être appliquée. Selon les informations collectées durant la définition du contexte et l'évaluation des idées, la méthode d'analyse multicritère adaptée à la situation d'évaluation suggèrera un résultat qui sera au plus proche des attentes des décideurs. Il reste à savoir quelle méthode d'analyse multicritère appliquer en fonction de la situation de prise de décision. Des propositions ont été faites par Guitouni et Martel (1998) et plus récemment par Roy et Słowiński (2013). Sur la base de ces textes, il a été établi un arbre décisionnel (Figure 35) pour déterminer quelles méthodes d'analyse multicritère utiliser en fonction du contexte spécifique à l'atelier de créativité et l'évaluation des idées.

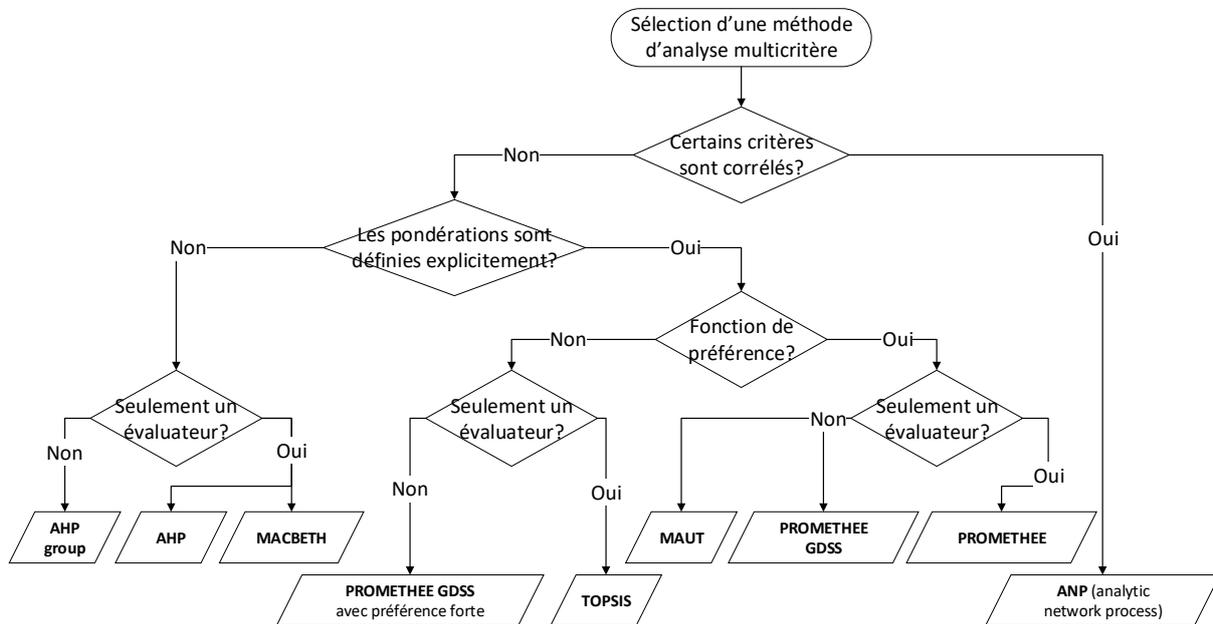


Figure 35. Arbre décisionnel de sélection des méthodes d'analyse multicritère

7.2.4. Résultat et discussion

L'objectif des méthodes d'analyse multicritère est essentiellement de supporter la prise de décision du commanditaire en objectivant l'évaluation des idées et en relativisant d'éventuelles idées « coups de cœur ». C'est d'ailleurs ce qui fait l'intérêt de ces méthodes, elles permettent de compenser de compenser des aprioris positif ou négatif par des aspects normés et évaluable au travers de critères. La décision finale concernant le ou les idées à développer appartient au décideur. Ainsi, le résultat de l'analyse multicritère doit être considéré uniquement comme un support de discussion entre le décideur, les experts, et les éventuels autres acteurs de la mise en œuvre des idées. Cette discussion permet de confronter l'éventuel coup de cœur avec ce qui est rationnellement plus adapté d'après la méthode d'analyse multicritère.

7.2.5. Approche d'application détaillée

Pour résumer et simplifier la compréhension de l'approche d'évaluation des idées, il est possible de la représenter sous la forme d'un diagramme d'activités (Figure 36). Comme il existe différentes méthodes d'analyse multicritère, chacune ayant leur particularité et un besoin plus ou moins important d'informations en entrée (Ishizaka and Nemery, 2013), ce diagramme d'activités a été conçu pour être aussi détaillé que possible tout en étant indépendant de la méthode appliquée.

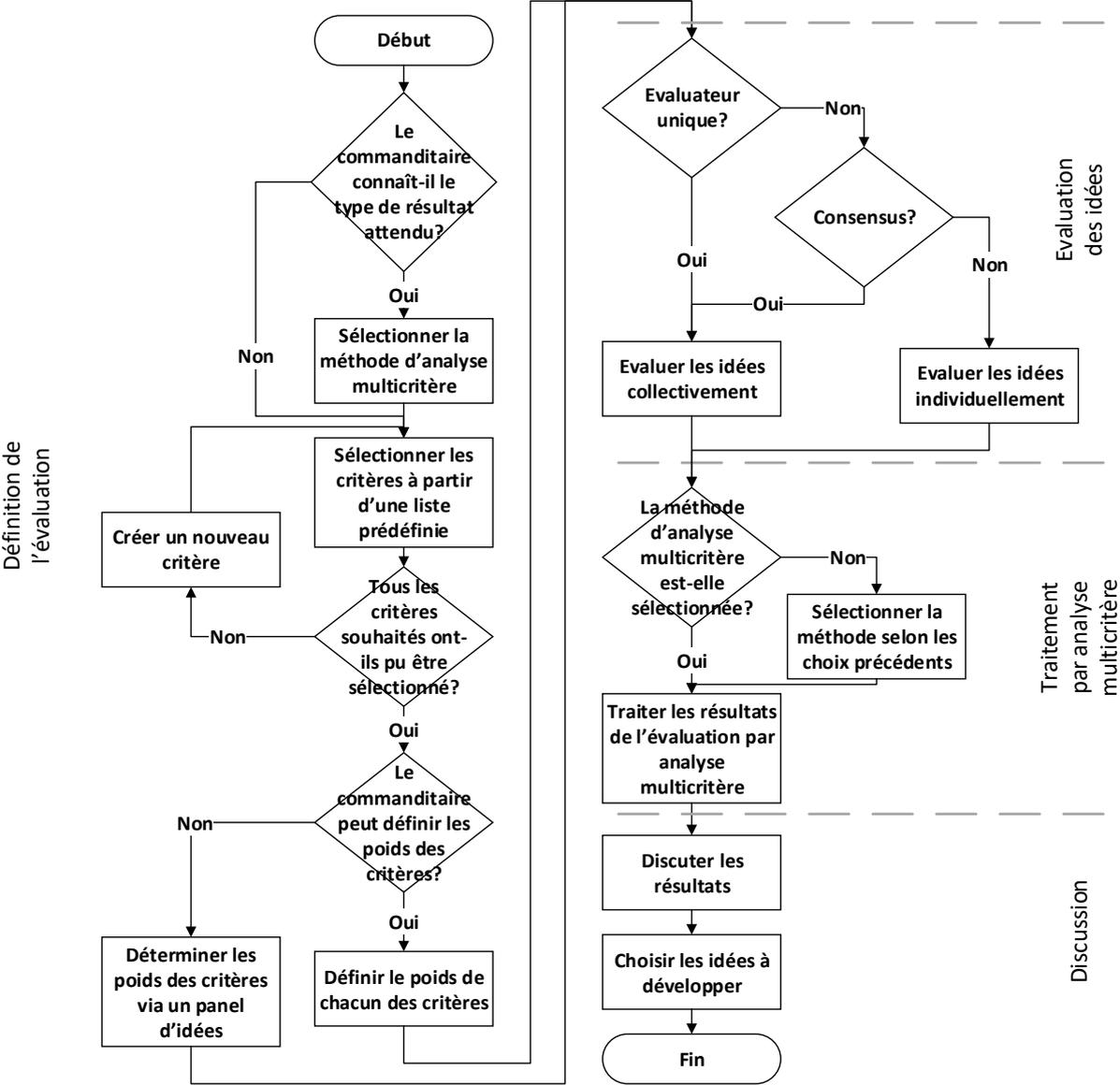


Figure 36. Diagramme d'activités détaillé de la démarche d'évaluation des idées

7.3. Etude de cas d'un atelier de créativité pour le développement du tourisme durable dans la ville de Leticia

Pour illustrer la démarche proposée, nous allons exposer un cas d'application dans lequel nous avons pu la mettre en application.

7.3.1. Contexte de l'atelier

La région amazonienne, en Amérique du Sud, reste l'un des endroits les plus préservés dans le monde. Cependant, en raison de la diversité environnementale et culturelle, la région est devenue en quelques années une destination touristique attractive. Durant la première décennie du XXI^{ème} siècle, le nombre de touristes a significativement augmenté dans les villes les plus importantes de la région telles que Leticia (+500%), Iquitos (+200%) et Manaus (+300%) (Obando Lugo et al., 2010). Malgré la croissance économique qu'apporte cet afflux de touristes à la région, il existe une préoccupation croissante concernant le caractère durable de ce développement. Cette préoccupation concerne plus spécifiquement, l'impact environnemental, l'inclusion marginale des populations indigènes locales dans ce développement et l'impact culturel induit par leur contact avec les touristes (Craven, 2015; Ochoa, 2008). C'est dans ce contexte que la ville de Leticia et ses plus importantes parties prenantes (l'université, les autorités locales et les agences de tourisme) cherchent à explorer des solutions créatives pour supporter le développement de l'écotourisme tout en trouvant le meilleur compromis entre développement local, respect de l'environnement local et les traditions des populations. Dans le cadre de cette recherche de solutions, deux ateliers de créativité ont été organisés en coordination avec l'université en juillet 2014 : le premier avec un groupe de 35 étudiants à Bogota et le second avec un groupe de 25 participants (incluant des acteurs locaux et des étudiants) à Leticia. Chaque atelier a débuté par une demi-journée de réunion avec une courte introduction concernant les objectifs et cadre de cet atelier suivi d'un court exercice de cohésion d'équipe pour créer une ambiance propice à la créativité. Ensuite deux boucles de divergence-convergence ont été effectuées dans une dynamique de créativité habituelle. En parallèle de cet atelier de créativité, la méthodologie précédemment présentée a été déployée avant, pendant et après l'atelier.

7.3.2. Analyse du problème

Le sujet de l'atelier de créativité était « explorer les nouveaux produits et services pour promouvoir le tourisme écologique d'un point de vue durable dans la région Amazonienne ». Chacun des groupes a généré des idées, en a choisi une parmi celles générées et l'a présentée au panel de jury durant une courte présentation. Le panel était composé de cinq personnes soit enseignants-chercheurs ou parties prenantes de la ville. Ils ont évalué individuellement chacun des critères pour chacune des idées présentées.

7.3.2.1. Définition de l'ensemble des critères et des échelles

Selon la méthodologie présentée précédemment, la première étape consiste à définir la démarche d'évaluation. Dans le cadre de ces ateliers, aucune attente spécifique n'a été exprimée par les parties prenantes. La phase de définition a donc commencé par la définition des six critères pour ce sujet : l'originalité de l'idée, la valeur ajoutée créée, la difficulté de mise en œuvre, les risques induits par

l'idée, la durabilité, enfin la qualité de la présentation. L'échelle d'évaluation a été définie de 0 à 5 pour chacun des critères.

Originalité : évalue la nouveauté, la rareté et le caractère atypique d'une idée selon la population générale d'idées (Dean et al., 2006).

Durabilité : évalue comment l'idée sera mise en œuvre tout en minimisant son impact sur l'environnement, la culture indigène et le respect des standards de vie locaux.

Valeur ajoutée : évalue si l'idée va créer de la valeur parmi la population locale et la région en général, pas nécessairement en termes d'unités monétaires.

Difficulté de mise en œuvre : évalue le niveau de complexité pour mettre en œuvre l'idée avec les ressources locales si cela n'enfreint pas des contraintes, réglementations ou normes connues.

Risques : mesure les aspects incertains de la mise en œuvre et l'acceptabilité du produit, du service ou du projet issu de l'idée.

Qualité de la présentation : réfère à la qualité de la présentation de l'idée quel qu'en soit le contenu.

7.3.2.2. *Obtention de la pondération des critères*

En ce qui concerne le poids des critères, les préférences des parties prenantes n'ont pas été suffisamment explicitées. De plus, il n'a pas été possible de définir un panel d'idées pour déterminer le schéma de prises de décision. Par conséquent, tous les critères ont été considérés à importance égale (16.67%). Malgré tout, dans le but de tester la méthodologie suggérée, deux scénarios additionnels d'évaluation ont été ajoutés. Le premier favorise l'originalité tandis que le second met l'accent sur la difficulté de mise en œuvre. Ces deux différents scénarios d'évaluation ont pour objectif de visualiser l'impact de la stratégie d'évaluation sur le classement des idées.

7.3.3. **Evaluation des idées**

Les étudiants des différentes disciplines d'ingénierie ainsi que les participants non-étudiants ont été répartis dans 5 groupes. A l'issue des deux jours de travail, au total, 88 idées ont été produites. De ces idées, chaque groupe a sélectionné une idée pour la présenter aux cinq juges qui ont évalué individuellement chaque idée de chacun des groupes selon les six critères présentés précédemment.

Dans le but d'illustrer le caractère dynamique de la méthode en fonction de la stratégie d'évaluation, trois différents jeux de pondérations ont été testés. Le premier, issue du contexte peu formalisé de l'atelier de créativité, considère les critères avec la même importance, c'est-à-dire un poids de 16.67% pour chacun. Le second et le troisième, servant uniquement à tester la méthodologie, considèrent respectivement l'originalité à 50% et la difficulté de mise en œuvre à 50%. La répartition des pondérations en fonction des stratégies d'évaluation ainsi que les moyennes des notes des jurys pour les 5 idées sont présentées dans le Tableau 26. Une rapide description du contenu des idées est disponible en Annexe D.

Tableau 26. Détails des résultats d'évaluation pour le panel d'idées

Critères		Originalité	Valeur Ajoutée	Difficulté de mise en œuvre	Risques	Durabilité	Présentation
Jeu de poids 1 (%)		16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67
Jeu de poids 2 (%)		50,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Jeu de poids 3 (%)		10,00	10,00	50,00	10,00	10,00	10,00
Nom de l'idée	(G1) Air amazon	3.3	3.1	2.9	3.3	3.1	4.1
	(G2) Expedition Kia	4.1	4.1	3.4	3.7	3.7	4.9
	(G3) Amazonian visitor center	4.3	3.9	3.3	3.6	3.6	4.1
	(G4) Cupid on Amazonia	4.1	3.4	2.9	2.7	3.1	4.0
	(G5) No-cash	4.7	3.4	3.9	3.3	2.9	3.7

7.3.4. Traitement par analyse multicritère

Quel que soit le jeu de critères, la mise en œuvre de la méthodologie implique le postulat que les critères ne sont pas corrélés. La méthodologie d'analyse multicritère utilisée dans le cadre de cette étude de cas est la méthode de classement PROMETHEE (Brans and Vincke, 1985). PROMETHEE (Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations) est une méthode de classement relativement simple dans sa conception et son application comparativement aux autres méthodes d'analyse multicritère. Elle est bien adaptée pour les problèmes dans lesquels un nombre fini d'alternatives doivent être classées selon plusieurs critères parfois contradictoires (Albadvi et al., 2007). De plus, du point de vue du décideur, l'analyse peut être enrichie par la visualisation des données avec la méthode GAIA (Brans and Mareschal, 1994). A partir de la méthode d'analyse de donnée par les composantes principales, le but de la méthode GAIA est de décrire graphiquement les principales caractéristiques du problème de décision. Cela permet d'identifier les similarités et les différences entre les critères et les groupes d'alternatives.

PROMETHEE est une méthode de classement par comparaisons deux à deux des alternatives à partir du concept de degré de préférence qui permet de classer les alternatives. Comme pour la plupart des méthodes d'aides à la décision, $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ est l'ensemble des m alternatives qui doivent être classées, et $F = \{f_1, \dots, f_n\}$ l'ensemble des n critères qui doivent être optimisés. La situation de prise de décision peut être résumée par une matrice de décision ($m \times n$) où les éléments de la matrice sont les valeurs de l'évaluation $f_k(a_i)$ pour l'alternative a_i selon de le critère f_k . A partir de ces informations, l'application de la méthode PROMETHEE peut être décrite comme suit :

1. Calcul des degrés de préférence unicritère pour chaque couple d'alternatives

Les alternatives i et j sont comparées deux à deux pour chacun des critères k . Le degré de préférence P_{ij}^k est déterminé selon une fonction de préférence définie par le décideur qui dépend de la différence des valeurs des alternatives pour un critère donné, c'est-à-dire $f_k(a_i) - f_k(a_j)$. Autrement dit, le degré de préférence d'une alternative à une autre dépend de la fonction défini par le décideur (fonction linéaire, fonction carré...) et de la différence de la valeur d'évaluation des alternatives pour un critère. Le degré de préférence est exprimé

par un nombre dans l'intervalle [0, 1]. La valeur 0 représente l'indifférence ou la non-préférence et la valeur 1 signifie la préférence stricte.

2. Définition du vecteur de poids par le décideur. Ce vecteur mesure l'importance relative de chacun des critères, $W = \{w_1, \dots, w_n\}$
3. Calcul des degrés de préférence multicritère π pour toutes les alternatives :

$$\pi(a_i, a_j) = \sum_{k=1}^n w_k P_k (f_k(a_i) - f_k(a_j)) \text{ avec } \pi(a_i, a_j) \in [0; 1] \quad (1)$$

Le degré de préférence multicritère $\pi(a_i, a_j)$ est la mesure de la préférence du décideur pour l'alternative a_i comparée à l'alternative a_j en prenant en compte l'ensemble des critères f_k et leur pondération w_k .

4. Calcul des flux de préférence multicritère qui positionne une alternative par rapport à toutes les autres. La préférence d'une alternative à toutes les autres est quantifiée par le flux positif (ou flux sortant) :

$$\phi^+(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \pi(a_i, a_j) \text{ avec } \phi^+(a_i) \in [0; 1] \quad (2)$$

La préférence d'une alternative par toutes les autres est quantifiée par le flux négatif (ou flux entrant) :

$$\phi^-(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \pi(a_j, a_i) \text{ avec } \phi^-(a_i) \in [0; 1] \quad (3)$$

5. Calcul du flux net (ou flux global) regroupe le flux positif et le flux négatif :

$$\phi(a_i) = \phi^+(a_i) - \phi^-(a_i) \text{ avec } \phi(a_i) \in [-1; 1] \quad (4)$$

Comme le montre la description de méthode PROMETHEE ci-dessus, une fonction de préférence doit être définie par le décideur. Dans le cas présent, la fonction de préférence appliquée est de préférer l'alternative avec le plus haut score, aussi petite soit la différence de score entre les alternatives, c'est-à-dire $P_{ij}^k = 1$ si $f_k(a_i) - f_k(a_j) > 0$. La génération du classement des alternatives, c'est-à-dire des idées de l'atelier de créativité, implique d'abord une évaluation de la part des évaluateurs. Une fois que l'ensemble des évaluateurs ont évalué les différents critères, la moyenne des scores pour chaque idée et chaque critère est calculée pour générer la valeur de l'évaluation moyenne, en d'autres termes $f_k(a_j)$. A partir de ces données, la méthode PROMETHEE peut être appliquée comme ci-dessus pour aboutir aux flux nets de chacune des idées et qui permet ainsi de les classer.

7.3.5. Résultats et discussions du cas d'application

Tableau 27. Flux nets et classement de chaque idée pour chacun des scénarios

	Jeu de poids 1		Jeu de poids 2		Jeu de poids 3	
	Flux net	Classement	Flux net	Classement	Flux net	Classement
G1	-0.383	5	-0.59	5	-0.42	5
G2	0.445	1	0.2675	2	0.3275	1

G3	0.225	2	0.235	3	0.145	3
G4	-0.316	4	-0.19	4	-0.38	4
G5	0.029	3	0.2775	1	0.3275	1

Le Tableau 27 résume les flux nets (équation 4) et le classement pour chaque idée pour les trois scénarios d'évaluation. Comme illustré dans le Tableau 27, chaque orientation stratégique mène à des classements d'idées différents. Avec le jeu de poids 1, l'idée du groupe 2 (G2) a été la mieux classée alors que pour le scénario 2, l'idée du groupe 5 est préférée. Concernant le scénario 3, il y a une situation d'incomparabilité où les idées G5 et G2 ont un flux net équivalent.



Figure 37. Classement des 5 idées pour la stratégie d'évaluation 1



Figure 38. Classement des 5 idées avec le détail de contributions de chaque critère pour la stratégie d'évaluation 1

La Figure 37 illustre le classement des idées pour la stratégie d'évaluation 1, le graphique a été produit avec le logiciel Smartpicker®, qui est un outil d'analyse multicritère basé sur PROMETHEE qui permet de classer les alternatives à partir des degrés de préférences (Ishizaka and Nemery, 2013). La Figure 37 montre le classement relatif des idées par rapport aux flux nets des idées de chaque groupe, tandis que la Figure 38 met en évidence la contribution de chacun des critères dans le flux net des idées.

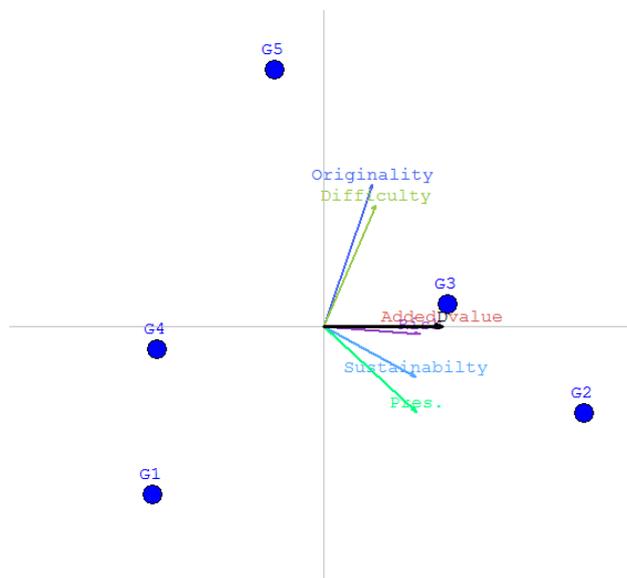


Figure 39. Représentation GAIA de l'ensemble des idées et des critères

Bien que la Figure 37 et la Figure 38 soient déjà graphiques, la représentation GAIA (Figure 39) permet d'avoir une autre interprétation des résultats de l'évaluation. La Figure 39 illustre bien le fait que l'idée G2 est fortement et positivement corrélée avec les critères de valeur ajoutée, de durabilité et de présentation, ce qui est cohérent avec son classement en tête de liste. À l'inverse, les idées G1 et G4 sont à l'opposé des critères ce qui est également cohérent avec leur classement défavorable. À la vue de ce schéma, le postulat de non-corrélation des critères d'évaluation est peut-être à revoir car l'originalité et la difficulté de mise en œuvre semblent être liées.

7.4. Discussion de l'approche

L'approche proposée a pour objectif de classer des idées générées durant un atelier de créativité. Par expérience, les retours des parties prenantes sur la mise en œuvre de l'approche proposée ont été favorables. Selon ces retours, cette méthode permet aux décideurs d'avoir une meilleure compréhension du processus de décision, clarifie l'objectif de la démarche d'atelier de créativité, clarifie les préférences en terme de résultat attendu et crée une vision uniforme de ce que peut être l'innovation.

La difficulté dans l'organisation de la démarche d'évaluation est d'atteindre un équilibre entre le temps alloué pour évaluer les idées et le résultat souhaité en termes d'évaluation (qualité d'évaluation, quantité d'idées évaluées). Suivre l'ensemble des étapes décrites plus haut peut sembler compliqué pour certains praticiens et inadapté au contexte d'atelier de créativité. Sachant que mettre en œuvre un atelier de créativité requiert un investissement non-négligeable de la part de l'organisation, structurer l'évaluation permet d'identifier au mieux la valeur créée et ainsi faciliter la valorisation. En effet, l'application d'un atelier de créativité au sein d'une organisation est une manière de motiver et de mobiliser des personnes sur un projet. Par contre, si les résultats de l'atelier de créativité ne sont pas valorisés de manière pertinente, cela crée un sentiment de frustration parmi les participants qui sera à la longue contreproductif (Getz and Robinson, 2003)

Un atelier de créativité de deux jours pour générer des idées créatives et des solutions innovantes représente un laps de temps court. Il est nécessaire de mettre en œuvre une démarche d'évaluation des idées sans pour autant dédier trop de temps aux activités d'évaluation. Finalement une fois que la pondération des critères a été déterminée selon les préférences du décideur, l'évaluation des idées peut être relayée à d'autres évaluateurs.

L'aspect collectif de la créativité a incité certaines entreprises à directement s'adresser à la foule pour réaliser des tâches (Howe, 2008) notamment de résolution de problèmes. Cette stratégie a fait ses preuves et son efficacité pour différents problèmes, et a ainsi attiré l'attention des universitaires et d'autres entreprises. Selon la tâche demandée et les idées générées, l'intérêt du crowdsourcing reste débattu. Une étude sur la contribution d'utilisateurs ordinaires lors d'un exercice d'idéation concernant les services technologiques (Magnusson, 2009) a montré que la pertinence technologique des idées est moindre que par rapport à des professionnels mais que cela permet à l'entreprise de mieux connaître l'utilisateur. Une autre expérience a comparé des idées provenant d'utilisateurs ordinaires avec celles des professionnels de l'entreprise (Poetz and Schreier, 2012). Les résultats de la comparaison des évaluations des idées par les cadres de l'entreprise ont montré qu'en moyenne, les idées des utilisateurs obtenaient un score supérieur concernant la nouveauté et le bénéfice client. Pour conclure, une autre étude a montré que les idées générées par des groupes

multidisciplinaires étaient en moyenne de moindre qualité que les experts mais que les réelles découvertes étaient plus susceptibles d'émerger dans ces équipes (Fleming, 2004). Ceci souligne le fait que des points de vue différents peuvent également être source d'innovation. Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur les tâches effectuées par ces équipes et le résultat final de l'activité collective réalisée durant l'atelier de créativité.

Lors de l'expérimentation de la méthodologie, aucun indicateur n'a été mis en place pour mesurer l'amélioration par rapport à un atelier sans méthodologie d'évaluation. Pour autant, les retours qualitatifs de la part des parties prenantes sont malgré tout favorables. Cette approche ne prétend pas remplacer la discussion entre les experts et le consensus entre les différentes parties prenantes qui vont développer l'idée mais apporte des données supplémentaires pour prendre une décision éclairée. Finalement, cette approche pour évaluer les idées issues d'un atelier de créativité est une manière de réduire la différence entre les décideurs visionnaires et les autres décideurs. Les décideurs fructueux possèdent des indicateurs implicites et une connaissance approfondie du contexte de l'entreprise, du secteur, de la concurrence et des tendances. Formaliser l'évaluation des idées permet la formalisation du contexte du problème et de l'entreprise, des connaissances associées et des critères. La création d'un contexte théorique permet de faciliter la mise en œuvre de l'analyse multicritère durant l'atelier de créativité. L'application de la méthode d'analyse multicritère seront effectuée par l'agent avec l'ensemble des données qu'il aura collectées. La formalisation sous le format du diagramme d'activités proposé plus haut (Figure 36) représente les heuristiques qui seront appliquées par l'agent assistant d'évaluation du système que nous voulons développer. A l'heure actuelle, le système support à la créativité n'étant pas encore développé, cette formalisation permet aux acteurs d'un atelier de créativité d'appliquer la méthodologie. L'unique moment où un outil informatique est nécessaire est la phase de traitement des évaluations comme ça été le cas lors de l'atelier en Colombie.

7.5. Conclusion et Perspectives

Les ateliers de créativité sont de plus en plus utilisés dans les entreprises ou les institutions pour explorer et chercher des solutions créatives à des problèmes et créer de nouveaux produits ou services. Ce chapitre expose une approche d'évaluations des idées issues d'ateliers de créativité pour aider le décideur dans sa démarche de sélection. Cette approche met en avant la nécessité d'explicitier le contexte, le problème et les attentes pour formaliser les critères d'évaluations et leur affectation aux évaluateurs. A l'issue de ce chapitre, deux contributions peuvent être mises en avant :

- Premièrement, l'approche met en évidence l'intérêt et l'importance de la formalisation d'informations concernant le problème pour orienter au mieux le processus d'évaluation et les critères évalués.
- Deuxièmement, l'approche structure et guide la mise en œuvre de méthode d'analyse multicritère que cela soit pour déterminer la pondération des critères pour évaluer les idées ou déterminer les idées les plus pertinentes à l'issue de l'évaluation.

A partir de ces deux aspects importants de ce chapitre, plusieurs perspectives émergent pour les travaux futurs. Une des premières perspectives est l'étude plus approfondie de la fonction de préférence parmi les différentes parties prenantes pour prendre en compte les besoins particuliers.

Par conséquent la méthode d'agrégation devra être révisée pour intégrer les techniques d'aide à la décision de groupe.

La seconde perspective est d'intégrer la méthodologie d'évaluation dans le processus de créativité et de supporter la démarche au travers du système support à la créativité.

La troisième perspective est un aspect critique de la méthodologie. Comme cela a déjà pu être mis en évidence, cette méthodologie n'est pas adaptée à l'évaluation d'une grande quantité d'idées qui peut être produite notamment dans un contexte de crowdsourcing. La perspective serait de faire une première sélection avant que des individus investissent leurs temps dans l'évaluation des idées. C'est cette perspective de traitement des idées pour les classer ou les ordonner que le chapitre suivant va tenter d'explorer.

8. Traitement des idées par analyse sémantique

Table des Matières du Chapitre 8

8.1.	Evaluation par traitement automatique du langage	139
8.2.	Prérequis en terme de formalisation des informations	141
8.2.1.	Formaliser le sujet	141
8.2.2.	Formaliser les idées	141
8.3.	Approche générale	142
8.4.	Expérimentation.....	145
8.4.1.	Protocole expérimental	145
8.4.2.	Approche de comparaison détaillé	146
8.4.3.	Comparaison lexicale.....	146
8.4.4.	Similarité sémantique.....	148
8.5.	Résultats de l'expérimentation	154
8.6.	Discussion	158
8.7.	Conclusions	160

Comme nous l'avons décrit dans le chapitre précédent (chapitre 7), la phase d'évaluation est chronophage. Par ailleurs, l'évaluation est importante pour le commanditaire afin de prendre une décision concernant une ou plusieurs idées à développer et à mettre en œuvre. La totalité des idées produites lors d'un atelier de créativité ne peut pas être évaluée quelles que soient les ressources disponibles. La difficulté pour les commanditaires réside dans l'identification des idées qui ont suffisamment de potentiel pour être évaluées. Le chapitre précédent explorait la démarche générale de l'agent d'aide à l'évaluation des idées. Ce chapitre aborde l'accompagnement de l'évaluation des idées avec des outils d'analyse sémantique. Cet accompagnement implique l'augmentation des compétences de l'agent d'aide à l'évaluation avec des compétences d'analyses. L'ajout de compétences d'analyse a un intérêt pour l'ensemble du système multi-agents. Pour l'agent d'aide à l'évaluation des idées, cela permet de suggérer les idées les plus pertinentes aux évaluateurs. En communiquant avec l'agent facilitateur ou l'agent idéateur, ces compétences permettent également d'intervenir sur le déroulement d'un atelier de créativité en permettant la visualisation des domaines explorés et suggérer d'éventuels domaines à approfondir. Pour réaliser ce traitement de l'information concernant les idées et le sujet, nous proposons d'utiliser une approche basée sur le traitement automatique du langage.

Que cela soit pour accompagner l'évaluation des idées ou accompagner le déroulement de l'atelier et la création des idées, il existe, selon nous, deux perspectives principales au traitement des idées :

- classer les idées selon leur pertinence par rapport au sujet
- regrouper les idées selon leurs points communs.

La première approche établit une liste des idées ayant le plus de potentiel quelles que soient les aspects du problème couvert. La seconde approche, quant à elle, possède l'avantage de laisser le choix aux évaluateurs d'analyser les dimensions du problème qui leurs semblent les plus pertinentes.

La section suivante présente les différentes méthodes d'évaluation des idées considérées dans ce chapitre. A la suite de la présentation succincte des méthodes considérées, il sera question de la structure des informations traitées. Ensuite, l'approche générale de comparaison mise en œuvre sera présentée, suivie d'une section sur les détails de l'expérimentation de l'évaluation automatique des idées. Enfin, les résultats de l'expérimentation seront présentés puis discutés. Finalement, les conclusions de cette expérimentation seront présentées et des pistes d'amélioration et de recherche seront suggérées.

8.1. Evaluation par traitement automatique du langage

Le classement est une méthode appliquée par les moteurs de recherche pour comparer des échantillons de documents ou de pages selon une requête. Dans le cas d'un atelier de créativité, il n'est pas question de document ou de page qui réponde à une requête mais d'un ensemble d'idées qui répondent à un sujet et une problématique. La comparaison se base sur la notion d'espace vectoriel. Chaque idée et le sujet de l'atelier sont représentés comme un vecteur de mots issus de leurs descriptions et du nombre d'occurrences respectif de chacun de ces mots. Un produit scalaire de la fréquence d'occurrences des mots communs de l'idée et du sujet génère un score de similarité. Appliquer cette approche à chacune des idées permet de classer les idées sur la base d'un score de similarité au sujet et mettre en évidence les idées à évaluer en priorité. Cette approche admet quelques limites notamment avec l'influence trop importante de mots non porteurs de sens tels que

les articles et le nombre de mots composant le texte à comparer qui influence le classement de l'idée. Les calculs du score les plus adaptés, selon la littérature, sont OKAPI aussi appelé BM25 (Hui et al., 2011) et sa variante qui prend en compte la structure des documents comparés : BM25F (Robertson, 2010). Cette approche de comparaison permet de classer les idées selon une base lexicale, c'est-à-dire sur les mots comme chaîne de caractères. Dans un contexte non formel tel qu'un atelier de créativité, le taux d'erreurs d'orthographe et de fautes de frappe peut être important. De plus, les termes utilisés pour définir une idée peuvent ne pas être les mêmes que ceux utilisés pour représenter le sujet alors que les propos sont proches.

Une manière d'éviter la limite induite par le classement des idées sur une base lexicale est d'explorer le domaine de l'analyse sémantique. L'exploitation de la sémantique des mots dans ce contexte de tri des idées peut être explorée selon deux pistes : regrouper les idées selon les domaines partagés avec le sujet, ou classer les idées selon une comparaison des idées avec le sujet. Un des concepts clés du classement des idées est la mesure de similarité (Zhang and Qin, 2011). La mesure de la similarité sémantique consiste à calculer la similarité entre des termes ou des textes, selon les significations communes malgré une différence de lexique, c'est-à-dire l'utilisation de mots différents (Martinez-Gil, 2014). Dans un premier temps, basée sur le plus petit diviseur commun (Least Common Subsumer : LCS), la similarité sémantique a été améliorée en considérant à la fois les caractéristiques communes et atypiques (Li et al., 2011). D'autres approches ont également tenté d'améliorer le calcul de la similarité sémantique. Ces approches peuvent être classées en cinq groupes : mesure basée sur le chemin, mesure basée sur l'information du contenu, mesure basée sur la définition, mesure basée sur les caractéristiques, et enfin, mesure hybride (Hadj Taieb et al., 2014). Ces mesures se basent sur des taxonomies ou des ontologies (Resnik, 1995 ; Li et al., 2011 ; Hadj Taieb et al., 2014) ou directement sur des données du web (Martinez-Gil, 2014). Une autre mesure est la pertinence sémantique qui utilise l'ensemble de réseaux sémantiques avec différents types de relations ("is a", "part of", "synonym"...) à l'inverse de la similarité sémantique qui exploite uniquement la relation « is a » (Martinez-Gil, 2014). Cette approche de comparaison des idées au sujet n'implique pas uniquement des mots issus de leur description mais aussi le thème ou le domaine auquel le contenu peut être associé. Ceci implique l'extraction d'informations (Viriyayudhakorn and Kunifuji, 2013), de thèmes (Tiun et al., 2001) ou de concepts (Gelfand et al., 1998). L'extraction de concepts peut être vue comme la création d'un graphe sémantique résumant le contenu d'un document (Gelfand et al., 1998).

Dans la perspective de classer les idées par rapport au sujet, les idées ne sont pas comparées directement mais par rapport à un référentiel qui est l'ensemble des informations concernant le problème à résoudre, le contexte, et les domaines d'expertise associés. Ces informations sont collectées lors de la formalisation du problème de la part du commanditaire. Les données associées aux idées à comparer sont quant à elles collectées durant la phase d'idéation. Que ce soit la formalisation du problème ou des idées, la structure de l'information à collecter doit être définie car elle conditionne la collecte mais également le traitement des données. La section suivante présente la structure de l'information concernant le sujet et les idées et comment ces informations sont traitées pour l'évaluation.

8.2. Prérequis en terme de formalisation des informations

8.2.1. Formaliser le sujet

La difficulté associée à la formalisation du sujet est l'identification et la collecte des informations utiles à la bonne compréhension du problème. Selon Sawyer (2012), il est important qu'un processus de créativité comporte une phase d'analyse du problème autant qu'une phase de résolution. De plus, selon la littérature, il y a différentes typologies de problèmes (Jonassen, 2000) pour lesquelles la résolution doit être adaptée. De la même manière qu'il y a différents processus d'innovation (Salerno et al., 2015), il existe différents processus de créativité en fonction du contexte, des attentes, et/ou du domaine. De fait, la collecte des informations concernant le problème et son contexte est importante pour constituer le référentiel pour l'évaluation mais également dans une perspective d'analyse de données. Le sujet est composé de différents éléments tels que le titre, une description, les domaines d'expertise de l'entreprise, le domaine ciblé, quelques problématiques, et des informations complémentaires. Il existe des méthodes issues du domaine de la conception pour formaliser ou reformuler un problème telles que l'inventaire de contenu, l'audit, la cartographie des comportements, l'enquête contextuelle (Martin et al., 2012) ou encore la méthode des 9 écrans issue de TRIZ (Choulier, 2011). Selon les méthodes de créativité appliquées par le facilitateur et les idéateurs, l'espace du problème peut également être questionné et faire évoluer la formulation du sujet. L'ensemble des informations collectées sont de la forme textuelle et nourrissent le corpus d'informations nécessaires pour traiter les idées.

8.2.2. Formaliser les idées

Durant la phase d'idéation, les idéateurs appliquent des méthodes de créativité avec l'aide du facilitateur. Ces méthodes produisent de l'information sous différents formats tels que des cartes ou des graphes (Mindmapping, brainstorm graphic organizer, KJ technic...), des mots-clés ou du texte (brainstorming, design charrette...), ou des images (storyboard, observations, design ethnography, photo studies...) (Martin et al., 2012). D'un point de vue général, toutes ces informations ont une importance dans la génération de représentations, et par extension des idées. De fait, l'ensemble de ces informations pourraient être collectées au travers d'interfaces adaptées à chacune des méthodes de créativité. Dans le cas présent, le traitement de données se focalisera sur les idées résultantes d'une interprétation/analyse plus ou moins consciente des connaissances générées par les méthodes de créativité. Les méthodes de créativité provoquent des représentations mentales, c'est-à-dire des idées, de la part des idéateurs. Nous avons choisi de collecter des concepts c'est-à-dire des idées qui sont formalisées et contextualisées avec des informations et des détails complémentaires. Par abus de langage, les termes idées et concepts seront utilisés de manière équivalente. Le concept est donc formalisé en une fiche idée. Celle-ci est constituée de différents éléments comme le titre, la description, le cas d'utilisation, les utilisateurs cibles, les avantages et les inconvénients, les connaissances nécessaires pour la mettre en œuvre, des mots-clés et enfin une image ou une illustration de l'idée. La structuration de l'information concernant une idée selon une fiche idée a été testée pendant plus d'une dizaine d'années durant des ateliers de créativité à l'ENSGSI. Selon le même principe mais de manière différente, Viriyayudhakorn and Kunifuji (2013) proposent un diagramme qui représente une idée selon un arbre de mots. Excepté l'image, toutes les autres informations sont textuelles et peuvent être utilisées pour traiter et analyser les idées par traitement automatique du langage.

8.3. Approche générale

A partir des informations associées au sujet et aux idées, nous souhaitons déterminer les idées les plus pertinentes par rapport au problème énoncé. Pour ce faire, il est nécessaire de comparer les idées au sujet. Les idées sont donc considérées selon trois aspects : le texte, les concepts issus du traitement du texte et les domaines associés aux concepts. A partir de ces différentes données, la comparaison peut être réalisée selon deux approches différentes : par traitement lexical et par traitement sémantique. Le principe de la comparaison lexicale de l'idée au sujet est de déterminer si un mot est présent à la fois dans l'idée et le sujet (Figure 40 A). Le traitement sémantique pour comparer les idées se décline en deux niveaux : la comparaison des concepts (Figure 40 B) et la comparaison des domaines (Figure 40 C). La difficulté est que l'idée trop proche du sujet risque d'être une idée non créative et à l'inverse une idée trop éloignée puisse être en rupture, c'est-à-dire qu'elle n'ait plus rien à voir avec le problème. Les idées qui finalement auraient le plus d'intérêt sont les idées intermédiaires, c'est-à-dire celles qui possèdent des concepts ou des domaines communs avec le sujet mais qui ont également d'autres concepts ou domaines.

La Figure 40 résume les différentes approches à la fois lexicale et sémantique que nous allons considérer pour déterminer la distance entre une idée et son sujet. Ces approches n'ont pas le même intérêt dans le processus de créativité. Il y a deux types de résultat attendus à l'issue du traitement des idées :

- Le traitement peut aboutir à la production d'un indicateur quantitatif représentant le taux de couverture du problème par l'idée. L'établissement d'un indicateur quantitatif est possible à travers le calcul de la similarité lexicale ou sémantique. Le calcul de cet indicateur pourrait également intégrer la dissimilarité (Hadj Taieb et al., 2014). La difficulté de cette approche est de déterminer l'équilibre entre similarité et différence qui caractérise une idée créative.
- Le traitement peut également permettre le regroupement des idées selon les concepts ou les domaines communs des idées avec ceux du sujet. Ce résultat est rendu possible par un traitement sémantique.

Les travaux présentés dans ce chapitre vont porter sur la détermination des concepts et des domaines des idées et du sujet. La comparaison des idées au sujet se fera par rapport à un indicateur quantitatif qui représentera la proximité d'une idée au sujet.

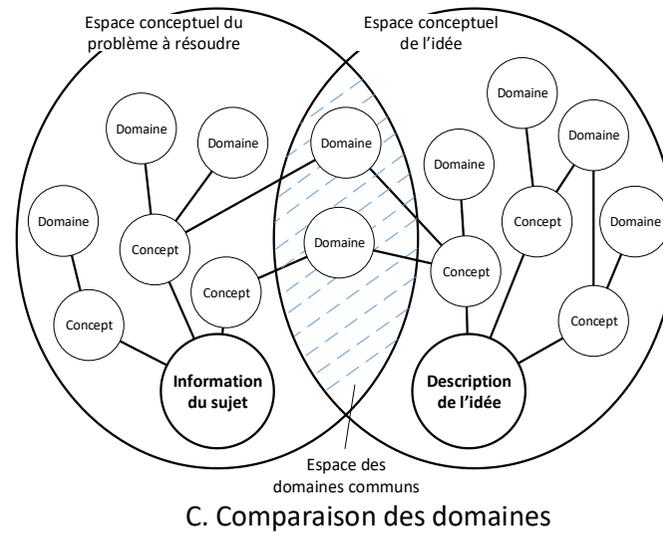
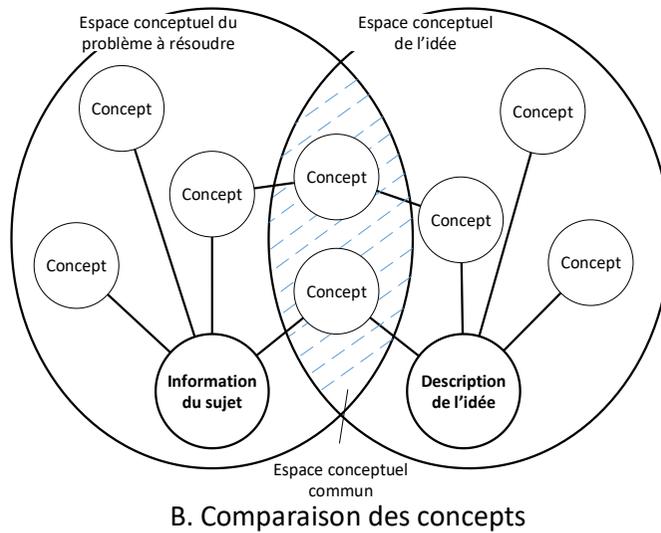
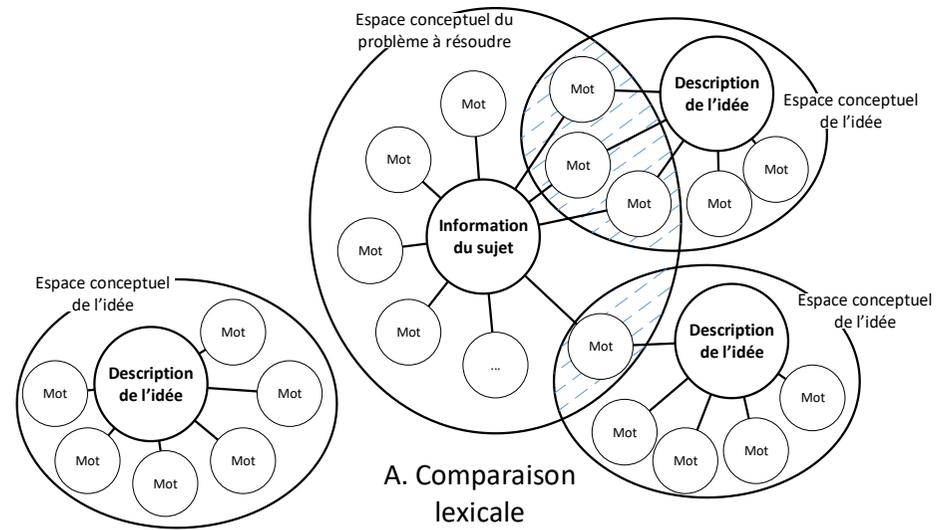


Figure 40. Différentes approches de comparaison des idées au sujet : A. comparaison lexicale, B. comparaison des concepts issus d'une extraction sémantique, et C. comparaison des domaines issus d'une extraction sémantique

Pour procéder au calcul de similarité, il y a trois phases différentes qui correspondent aux différentes approches de comparaisons (lexicale, comparaison de concepts, comparaison de domaines). La séquence de ces trois niveaux de comparaison est représentée graphiquement par la Figure 41.

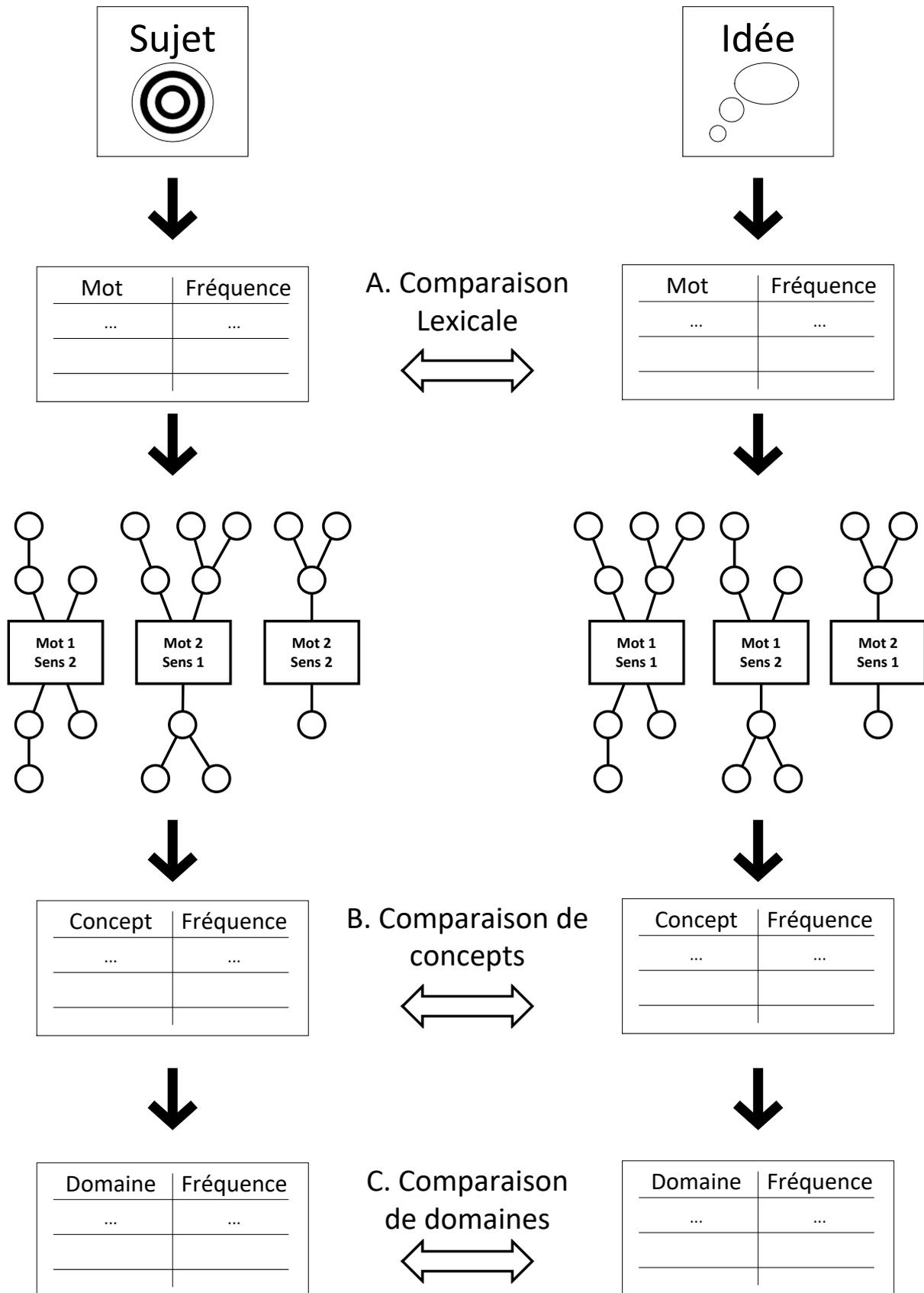


Figure 41. Approche générale pour atteindre les différents niveaux de comparaison

Le premier niveau de comparaison est lexical, cela signifie que les informations considérées sont les informations brutes issues du sujet ou des idées, c'est-à-dire le texte qui constitue le titre, la description et les autres éléments caractéristiques. La comparaison lexicale (Robertson, 2010) consiste à comparer mot à mot les deux corpus de texte et déterminer ceux qui sont partagés (Figure 40 A). Pour faciliter la compréhension, un exemple de sujet et d'idée issus d'un atelier de créativité sur la machinerie agricole sera utilisé. Étant donné que l'expérimentation des algorithmes de comparaison a été réalisée en anglais, le texte utilisé pour illustrer la démarche sera présenté en anglais. La description du sujet est :

« *Agricultural machinery is a very dynamic sector in terms of innovation. After all, the current wish is to consider real ruptures and anticipate the evolution of the customer. Who will be the 2024's farmer? What range of products and services?* ».

Pour compléter la présentation de l'approche proposée, une idée sera comparée à cette formulation du sujet. Une des idées proposées durant l'atelier de créativité a été "the anti-storm rocket" décrit comme "a web service connected with the local weather forecasting service which permits a precise evaluation of the risks of hail damage. In case of alert, rockets would be targeted to the risky cloud to trigger the rainfall". Selon la comparaison lexicale, seul le mot « service » est commun aux deux corpus.

Le second niveau de comparaison est celui des concepts (Figure 41 B). Les concepts ne sont pas directement accessibles à partir des informations du sujet et des idées, il est nécessaire de les générer à partir des relations de synonymie, de généralisation (hyperonymie) et de spécialisation (hyponymie) des mots en utilisant une ontologie lexicale (WordNet). Les sujets et les idées ont été comparés selon la synonymie, la généralisation et la spécialisation des différents mots issus de leur corpus de textes respectif. Selon le même exemple que précédemment, le sujet peut être décrit comme une liste de 41 concepts dont voici un extrait: *artefact, assemblage, quantity, conception, creation, chemical element, element, construct...* Concernant la liste des concepts de l'idée, un extrait est: *activity, stop, measure, act, human_action, human_activity*. La comparaison de ces deux listes aboutit à la détermination des concepts communs entre le sujet et l'idée.

Le troisième niveau concerne, quant à lui, la comparaison des domaines des concepts. Ces domaines sont issus d'une taxonomie de domaine. Par exemple, le sujet précédent est défini comme appartenant aux domaines suivants: *geography, mathematics, telecommunication, chemistry, commerce, politics, metrology...* Pour ce qui est de l'idée, les domaines sont notamment: *Law, economy, time_period, music, telecommunication, linguistics, anatomy...* Une première remarque à l'issue de cet exemple est l'importance de la qualité et de la quantité des informations qui constituent le sujet ou l'idée étant donné que cela a une incidence directe sur le résultat.

8.4. Expérimentation

8.4.1. Protocole expérimental

A partir d'un sujet et de 12 idées issues d'un atelier de créativité, les trois calculs de la similarité ont été expérimentés et comparés à un classement réalisé par des humains. La première partie de l'expérimentation compare les idées classées par des humains avec le classement généré par analyse lexicale. La seconde partie de l'expérimentation concerne cette fois les résultats de l'analyse sémantique. Il a été demandé à cinq personnes habituées à la gestion d'atelier de créativité qui sont soit des professeurs, soit des doctorants, de classer individuellement les idées selon leur pertinence décroissante par rapport au sujet. Ensuite, pour chacune des idées et le sujet, il leur a été demandé de définir des domaines et de justifier avec les mots présents dans les textes respectifs des idées et du sujet.

Après avoir présenté dans ces grandes lignes le protocole d'expérimentation, la section suivante approfondit les calculs et les résultats obtenus.

8.4.2. Approche de comparaison détaillée

Comme cela a été introduit précédemment, la similarité lexicale est le premier niveau de comparaison (Figure 40 A et Figure 41 A) qui est basé sur la formule BM25 (Hui et al., 2011). Les fondements de cette approche sont de considérer les idées et le sujet comme autant de vecteurs de mots et de fréquences ($\langle \text{mot1} ; \text{fréquence mot1} \rangle ; \langle \text{mot2} ; \text{fréquence mot2} \rangle \dots$) et de réaliser un produit scalaire entre le vecteur du sujet et le vecteur d'une idée. Ceci produit un score de similarité. L'avantage de la formule BM25 est de compenser la différence de taille entre les corpus de textes des idées mais aussi de réduire l'impact des mots les plus fréquents (*as, a, the, it...*) dans le calcul du score.

Ensuite, les deux autres niveaux d'analyse introduisent la dimension sémantique à partir de WordNet (Miller, 1995). L'objectif de l'utilisation de WordNet est de considérer les mots porteurs de sens. Selon l'approche générale décrite par la Figure 41, la valeur ajoutée de la sémantique réside dans l'extension du corpus de l'idée et du sujet en utilisant WordNet qui est une base de données lexicale où les mots sont reliés selon des relations de sens. La comparaison des concepts est sensiblement similaire à la comparaison lexicale à la différence que le vecteur est également constitué de mots issus de relations sémantiques (Figure 41 B) et que la formule de calcul BM25 est légèrement modifiée. La comparaison par domaine se base cette fois-ci sur un nombre limité de domaines associés à chacun des mots issus de WordNet. Ainsi pour chaque mot du vecteur élargi par relation sémantique, le domaine a été déterminé pour former un nouveau vecteur qui sera également comparé par un produit scalaire (Figure 41 C).

8.4.3. Comparaison lexicale

Pour réaliser la comparaison lexicale dans le but de classer les idées selon leur similarité avec le sujet, la démarche est structurée en quatre étapes :

1. Extraire le vecteur constitué de tous les mots et de leur fréquence d'apparition dans le corpus de textes décrivant le sujet.
2. Extraire le vecteur constitué de tous les mots et de leur fréquence d'apparition dans le corpus de textes décrivant l'idée.

3. Comparer chaque vecteur d'une idée avec le vecteur du sujet avec la formule BM25 qui génère un score à l'idée qui est relatif à l'ensemble du corpus d'idée considéré. Cela signifie que l'ajout ou la suppression d'une idée change le score de l'ensemble des idées.
4. Trier les idées selon leur score.

D'un point de vue de la programmation, les étapes 1 et 2 consistent en une analyse lexicale des textes pour en extraire les mots. Chaque mot d'une phrase est identifié, isolé et ajouté à un tableau. Ce tableau est ensuite parcouru pour compter le nombre de redondances et supprimer les doublons. En parallèle, un autre tableau est incrémenté avec la fréquence en ayant une attention particulière que les index des deux tableaux soient identiques pour que la fréquence d'apparition corresponde au bon mot. Ces deux tableaux constituent chacun un vecteur de mots d'une idée ou du sujet. L'étape 3 qui consiste à comparer les vecteurs d'une idée et du sujet est décrite par le pseudocode (Figure 42). Les objets *TermFreqInDocs* et *SimilarityScore* ne sont pas décrits dans l'extrait de code. Respectivement, l'objet *TermFreqInDocs* collecte l'ensemble des mots et leur fréquence sur l'ensemble du corpus des idées. C'est pour permettre de compenser l'impact de mots qui seraient trop fréquents et favoriser à l'inverse les mots peu fréquents comme élément distinctif. Quant à l'objet *SimilarityScore*, c'est un vecteur qui associe le score de similarité de l'idée au sujet avec le numéro d'identification de l'idée. De la même manière, les objets *SubjectVect* et *IdeaVect* sont des objets de type vecteur de mots qui intègrent des méthodes pour faciliter leur manipulation. Le résultat de l'algorithme est une instance de *SimilarityScore* qui intègre une méthode pour atteindre l'étape 4, c'est-à-dire le classement des idées selon leur score.

```

ALGORITHM lexical comparison
CONSTANTS
  k ← 1.0 // Constant for the BM25 formula
  b ← 0.5 // Constant for the BM25 formula
VARIABLES
  Integer: ideas_Number;
  Double: average_doc_length;
  TermFreqInDocs: terms_frequency_doc;
  SimilarityScore: scores

SUBPROCEDURE lexical comparison (Subject, Ideas[])
  Integer : i;
  Double : similarity_score[];
  Similarity_Scores;
BEGIN
  SubjectVect.words[] ← Parse(Subject);
  SubjectVect.frequencies[] ←
  average_doc_length ← 0;
  ideas_Number ← size(Ideas[]);
  FOR i ← 0 TO ideas_Number STEP 1
    IdeaVect.words[] ← parse(Ideas[i]);
    IdeaVect.frequencies[]
    average_doc_length ← average_doc_length + IdeaVect.size/ ideas_Number;
    Terms_Frequency_doc.add(Ideas[i]);
  ENDFOR
  FOR i ← 0 TO Ideas_Number STEPS 1
    Similarity_Scores[i].id ← Ideas[i].id;
    Similarity_Scores[i].score ← BM25(SubjectVect, Ideas[i]);
  ENDFOR
END
FUNCTION BM25(query, doc)
  Integer: queryWordIdx, docWordIdx;
  Double: score, query_term_frequency, doc_term_frequency;
BEGIN
  score ← 0.0;
  FOR queryWordIdx ← 0 TO query.size STEP 1
    FOR docWordIdx ← 0 TO doc.size STEP 1
      IF query.word(queryWordIdx) == doc.word(docWordIdx) THEN
        query_term_frequency ← query.frequency(queryWordIdx)
        doc_term_frequency ← doc.frequency(docWordIdx)
        
$$score \leftarrow \frac{query\_term\_frequency \times (k + 1) \times doc\_term\_frequency}{k \times (1 - b + b \times \frac{doc.size()}{averagedoclength}) + doc\_term\_frequency} \times \log \frac{ideas\_Number}{terms\_frequency\_doc.frequency(query.word(queryWordIdx))}$$

      ENDIF
    ENDFOR
  ENDFOR
  RETURN score
END
END

```

Figure 42. Extrait de l'algorithme de comparaison lexicale

8.4.4. Similarité sémantique

Comme cela a été présenté dans la Figure 41 et le calcul de la similarité par approche lexicale, les idées et le sujet sont traités séparément pour finalement être comparés. La différence entre la similarité sémantique basée sur les concepts et celle basée sur les domaines est une phase supplémentaire qui transforme les concepts en domaines. L'approche générale reste similaire à la précédente et peut être résumée selon un diagramme d'activité (Annexe E). Pour aboutir à la comparaison des idées au sujet, le traitement sémantique peut être structuré selon 5 étapes :

1. Extraire les noms communs du corpus de textes d'une idée ou du sujet.

Comme précédemment, cette extraction est réalisée par la création d'un vecteur avec les mots et leur fréquence. A la différence de la comparaison lexicale, les mots sont séparés selon leur nature (Part-Of-Speech), c'est-à-dire la fonction lexicale qu'il possède dans la phrase (noms communs, verbes, adjectifs...). Cette distinction a été faite en raison de la structure de WordNet qui sépare les noms communs et les verbes. Dans le cadre de cette expérimentation, seulement la base avec les noms a été considérée. A l'issue de l'extraction, le résultat est un vecteur de mots constitué uniquement de noms communs et de leur fréquence. Avec l'exemple de l'idée "the anti-storm rocket", le vecteur se présente sous cette forme : <<rocket; 2>;<system;1>;<local;1>;<forecasting;2>;<data;1>;<case;1>....> .

2. Enrichir chaque mot du vecteur avec des hyperonymes et des hyponymes.

A partir du vecteur de noms communs, une arborescence basée sur les relations d'hyperonymies et d'hyponymies de WordNet est réalisée pour chacun des noms du vecteur. A ce stade, toutes les significations d'un mot doivent être considérées car aucune ne peut être privilégiée (Figure 43). Malgré tout, étant donné qu'un nom commun possède une fréquence d'apparition, les noms les plus fréquents peuvent être pondérés.

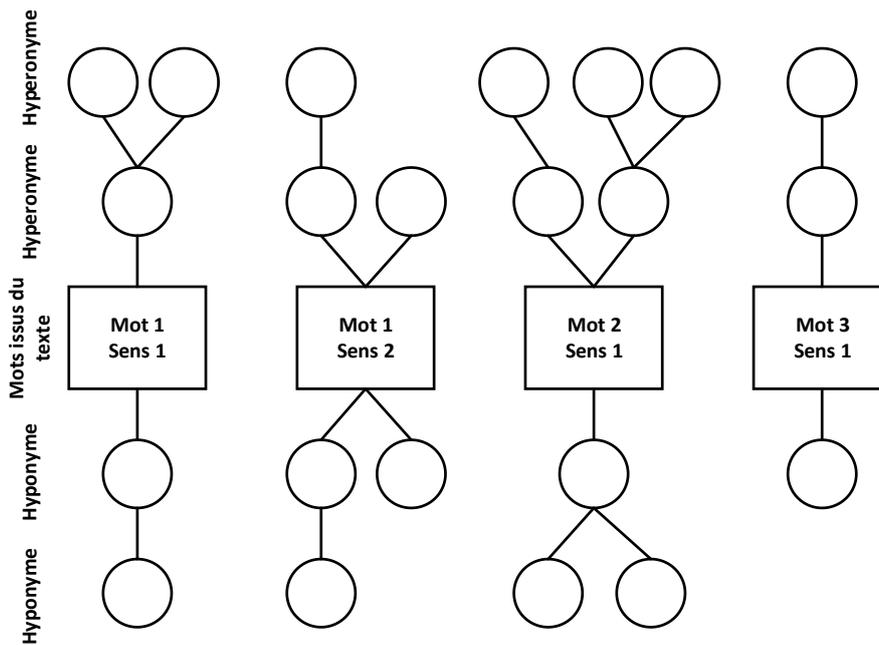


Figure 43. Exemple d'extension d'un vecteur de nom par hyperonymie et hyponymie

3. Extraire les concepts des arborescences.

Comme cela été énoncé dans l'étape précédente, un nom dispose de différentes significations et il n'est pas possible de savoir laquelle privilégier sans informations additionnelles. De fait, l'ensemble des significations d'un nom commun dans WordNet doivent être considérées. Dans le but de déterminer les concepts du texte, l'approche qui a été mise en œuvre est de considérer que le texte traite d'un concept si un nom apparaît deux fois ou plus dans l'arborescence. Pour déterminer quel concept apparaît plusieurs fois dans le vecteur de noms étendus par les arborescences, il est nécessaire de faire des comparaisons itératives de tous les noms, de ses hyperonymes et de ses hyponymes pour chacun des sens du mot. Ceci implique de définir une stratégie de comparaison pour optimiser le calcul. En effet, si une idée possède 25 noms communs avec 2 significations pour chacun, comparer ces différents noms communs et significations pour trouver des concepts revient à une matrice de comparaison de 50 x 50, soit un minimum de 2500 comparaisons sans compter le fait qu'il y a plusieurs hyperonymes ou hyponymes. Pour réduire de moitié le nombre d'opérations, la matrice de comparaison a été considérée comme bijective, c'est-à-dire que la comparaison de mot 1 et mot 2 est identique à la comparaison de mot 2 et mot 1. De plus, cela ne sert à rien de comparer un mot avec lui-même quelles que soient ses différentes significations. Avec l'exemple de la matrice de comparaison de 50 x 50, cette optimisation revient à passer de 2500 à 1300 comparaisons. Reprenons l'exemple de l'idée "the anti-storm rocket" et considérons les trois noms communs "hail", "weather" et "web" issus de sa description. La stratégie de comparaison de ces trois noms est représentée par les cases non-hachurées dans la Figure 44.

	Hail precipitation of ice pellets	Hail Enthusiastic greeting	Weather meteorologic al conditions	Web intricate network	Web intricate trap	Web ...
Hail precipitation of ice pellets						
Hail Enthusiastic greeting						
Weather meteorologic al conditions						
Web intricate network						
Web intricate trap						
Web ...						

Figure 44. Exemple de stratégie de comparaison des noms hail, weather et web issus de l'idée "the anti-storm rocket"

Ainsi, à chaque fois que deux noms avec une définition donnée sont comparés c'est-à-dire pour chaque case blanche de la stratégie de comparaison, la méthode de comparaison consiste à comparer chacun des termes de l'arborescence d'une définition d'un mot avec l'arborescence d'une définition d'un autre mot. Cette approche est illustrée par la Figure 45 avec l'exemple de "hail" et "weather" et correspond à la comparaison mise en évidence sur la stratégie de comparaison précédente (Figure 44). La comparaison consiste en une succession de tests de correspondance d'un mot et de ses synonymes avec un autre mot et

ses synonymes. S'il y a une correspondance (mot identique) ou une synonymie parmi l'ensemble des mots comparés, ce mot est défini comme étant un des concepts du texte. La comparaison itérative est représentée par les différentes flèches de la Figure 45 où la numérotation des flèches représente l'ordre de comparaison pour chacune des étapes (dépendamment du nombre de niveaux d'hyperonymes et hyponymes).

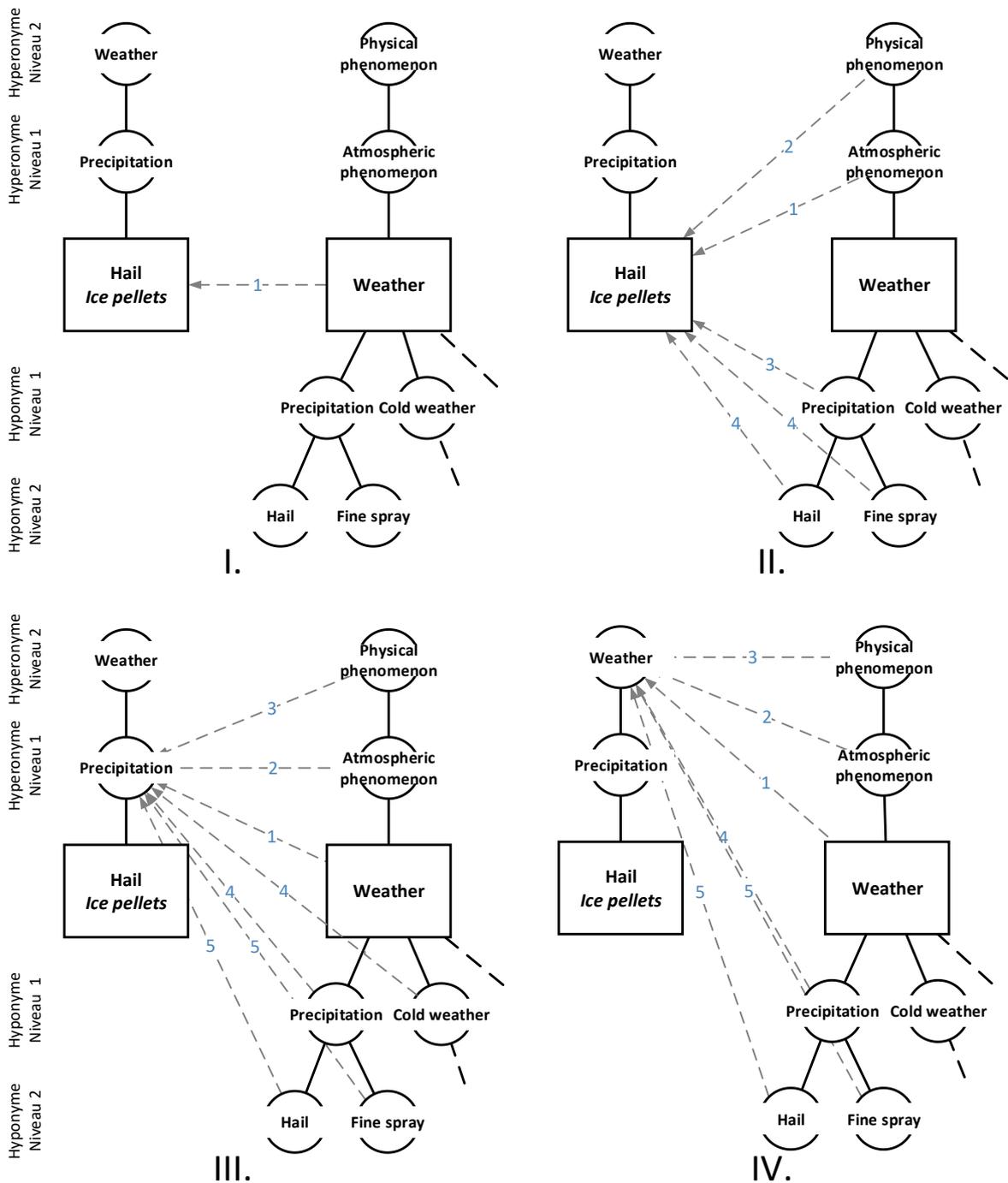


Figure 45. Exemple du processus de comparaison de hail et weather

La première étape de ce processus de comparaison est la vérification de la synonymie des deux noms issus du texte. Dans le cas où ces deux termes seraient synonymes, celui avec la plus grande fréquence est conservé comme concept et la fréquence de son synonyme lui est

ajoutée. WordNet étant structuré selon des synsets qui sont des ensembles de synonymes, la comparaison se fait soit par le numéro d'identification du synset, soit par correspondance lexicale des synonymes des deux mots. Dans le cas où la correspondance de la synonymie ne soit pas vérifiée, la comparaison s'effectue au niveau des hyperonymes ou des hyponymes. Si l'ensemble des hyperonymes ou des hyponymes du même niveau d'abstraction a été exploré, la comparaison s'effectue avec les hyperonymes des hyperonymes ainsi que les hyponymes des hyponymes. Dans cette expérimentation, le niveau d'abstraction par rapport au mot issu du texte a été limité à 2, ce qui semble être un bon équilibre entre la représentativité et la complexité du traitement. Dans le cas où une correspondance est vérifiée, le terme est inséré dans la liste des concepts avec un score calculé à partir de la distance du concept par rapport aux deux noms comparés. Cette manière de pondérer la similarité avec la distance conceptuelle est assez récurrente dans la littérature (Hadj Taieb et al., 2014).

Afin d'illustrer la démarche de manière détaillée, les noms communs "weather" et "hail" vont servir d'exemples (Figure 45). La première étape consiste donc à comparer directement les deux noms. Etant donné qu'il n'y a pas de correspondance, les hyperonymes de niveau 1 ensuite de niveau 2 puis les hyponymes de niveau 1 enfin de niveau 2 du nom commun "weather" vont être comparés au nom commun "hail". (Le nom "hail" est rencontré dans les hyponymes de "weather", "hail" est donc considéré comme un concept fort de l'idée). La même séquence de comparaison est réalisée avec les différents hyperonymes de niveau 1 puis de niveau 2 de "hail". Le nom commun "hail" ne possède pas d'hyponyme mais la suite logique du processus serait d'explorer les hyponymes de niveau 1 puis de niveau 2 avec l'ensemble de l'arborescence de "weather". Comme c'est illustré par la Figure 46, il y a trois correspondances différentes qui ont chacune d'elle une distance de 2 niveaux entre les noms initiaux. Ce processus de comparaison est réalisé sur l'ensemble des noms du vecteur de l'idée et du sujet selon la stratégie de comparaison énoncée précédemment. Une fois l'ensemble des comparaisons réalisées pour un vecteur de noms, le vecteur des concepts peut être ordonné selon les scores de chacun des concepts. A la suite de cette étape, le vecteur des concepts peut être utilisé pour extraire les domaines (étape 4) ou réaliser le classement des idées par rapport au sujet (étape 5).

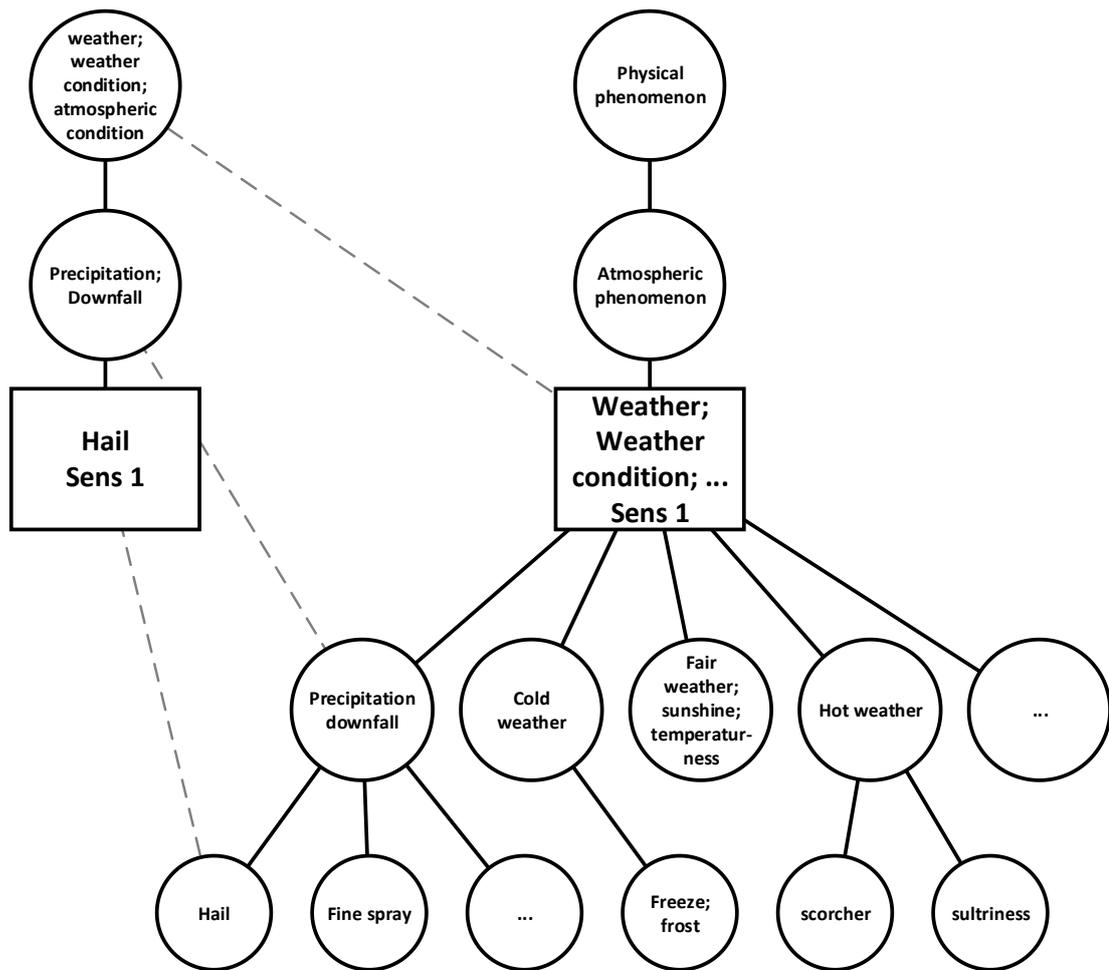


Figure 46. Extrait des arborescences de hail et weather, et les correspondances vérifiées

4. Extraire les domaines du vecteur des concepts.

Bien que la détermination des concepts nécessite au moins deux références de celui-ci dans le texte, le nombre de concepts associés au texte peut être grand. L'intérêt n'est donc pas de raisonner avec les concepts mais avec les domaines abordés par ces concepts. Pour déterminer les domaines abordés par une idée ou le sujet, la ressource lexicale WordNet Domains³⁰ (Bentivogli et al., 2004) a été utilisée pour associer des domaines aux synsets issus de WordNet. Le domaine de chaque concept a été répertorié dans un nouveau vecteur avec encore une fois le nombre de fois où le domaine est associé à un concept de l'idée.

5. Mesure de la similarité.

La similarité peut être calculée avec différentes données d'entrées comme le décrivent les Figure 40 et Figure 41. Dans le cadre de cette expérimentation, la similarité peut être calculée à partir du vecteur des concepts ou à partir du vecteur des domaines. Selon ce qui est calculé, la formule diffère. Concernant la comparaison de l'idée avec le sujet à partir des vecteurs de concepts, la nature des données permet l'application de la formule BM25. Celle-ci permet de comparer des vecteurs en limitant les effets dus à la longueur des vecteurs,

³⁰ WordNet Domains: <http://wndomains.fbk.eu/>

limiter la dominance d'un concept avec une haute fréquence d'apparition mais aussi réduire l'influence de concepts fréquents sur la totalité des vecteurs de concepts des idées. Le vecteur des concepts du sujet est considéré comme la référence dans le calcul. Un score élevé d'une idée ne signifie pas qu'elle est la plus pertinente mais simplement qu'elle répond le mieux au sujet selon l'évaluation de leur similarité. Pour qu'une idée soit pertinente, il faut non seulement qu'elle réponde au sujet mais aussi intègre de nouveaux concepts.

Concernant la comparaison des vecteurs de domaine, le vecteur du sujet reste la référence et les vecteurs des idées sont toujours comparés avec celui du sujet. En termes de calcul, la comparaison des vecteurs de domaines diffère de celui des vecteurs de concepts. Le nombre de domaines est limité, ce qui signifie qu'un domaine est plus fréquent qu'un concept. Ceci implique que la formule de calcul doit encore compenser l'éventuelle différence de longueur du vecteur mais ne doit plus considérer la fréquence des domaines sur l'ensemble des vecteurs des idées. C'est donc avec une version modifiée de la formule du BM25 qui est utilisée. En terme d'interprétation du score, une idée avec un score important induit que l'idée possède quasiment les mêmes domaines que le sujet et en possède éventuellement d'autres. Une idée possédant un score intermédiaire est également intéressante du fait qu'elle réponde partiellement au sujet et couvre certainement d'autres domaines.

La mise en œuvre de ces différentes méthodes de comparaison des idées par rapport au sujet a nécessité l'utilisation de la version 2.0 de WordNet. Ce choix de ne pas prendre la dernière version est dû à WordNet Domain qui est exclusivement développé pour cette version de WordNet mais aussi en raison de certaines API dédiées à WordNet. En effet, parmi les API disponibles en Java telles que JWI (Finlayson, 2014), JAWS (Mouton and de Chalendar, 2010), JWML³¹, une majorité est compatible avec la version 2.0. Finalement, le choix s'est porté sur JWI (Finlayson, 2014) qui est compatible avec le plus grand nombre de versions de WordNet.

8.5. Résultats de l'expérimentation

La section précédente présentait la manière de comparer un sujet à une idée. L'objectif est de comparer plusieurs centaines d'idées et de classer les idées en fonction du score généré. Jusqu'à maintenant, nous avons donc suggéré des approches pour traiter automatiquement les idées à partir du langage naturel, l'intérêt de ces approches doit être mesuré. Les différents algorithmes correspondant à chacune des approches présentées dans la section précédente ont été testés sur un échantillon de 12 idées dont les classements sont présentés par le Tableau 28. Lors d'un atelier de créativité, les idées sont identifiées par un code unique, pour des raisons de simplicité de représentation, ce sont ces codes qui sont utilisés dans les différents tableaux à venir.

³¹ Java WordNet Library: <http://sourceforge.net/projects/jwordnet/>

Tableau 28. Classement des idées, identifiées par leur code, selon les algorithmes de comparaisons lexicale ou sémantique (concepts ou domaines)

Position	Classement par comparaison lexicale	Classement par comparaison des concepts	Classement par comparaison des domaines
1	1142	1490	33
2	1416	1142	1362
3	1291	1362	1142
4	1362	33	434
5	1490	546	1416
6	531	1416	546
7	546	1291	1283
8	434	531	1490
9	1296	434	531
10	1346	1283	1291
11	33	1346	1296
12	1283	1296	1346

Afin de déterminer si le résultat est pertinent du point de vue d'un classement réalisé par un évaluateur, nous avons demandé à cinq personnes habituées à participer à des ateliers de créativité (chercheurs et étudiants en doctorat) de remplir une enquête et de classer les idées selon leurs capacités à répondre au sujet. Les classements suggérés par ces personnes sont résumés dans le Tableau 29.

Tableau 29. Classement des idées réalisées par cinq universitaires

Position	Classement 1	Classement 2	Classement 3	Classement 4	Classement 5
1	546	1490	434	1291	1490
2	33	33	1296	1490	1283
3	434	434	1416	33	1346
4	1283	1416	1346	1283	434
5	1346	1283	1490	1346	546
6	531	531	546	1142	1142
7	1490	1296	1142	546	531
8	1291	1142	1362	434	1296
9	1416	1346	1283	531	1362
10	1142	546	531	1416	33
11	1296	1362	1291	1362	1291
12	1362	1291	33	1296	1416

Dans le but de comparer ces deux tableaux, les 5 classements ont été transformés en un classement « idéal ». Pour ce faire, le classement des idées a été divisé en quatre parties constituées de trois idées (Tableau 29). A partir de la position d'une idée dans un de ce groupe (Tableau 29), nous en avons déduit une probabilité de positionnement. La probabilité maximale de positionnement d'une idée dans un groupe a permis de déterminer le classement « idéal » à la condition qu'elle soit supérieure à 50%. Le classement résultant est disponible dans le Tableau 31. Le troisième groupe d'idées est vide en raison de l'absence d'idées dont la probabilité excède 50%.

Tableau 30. Distribution des idées en quartiles

Numéro de l'idée	1 ^{er} quartile	2 ^{ème} quartile	3 ^{ème} quartile	4 ^{ème} quartile	Total
33	0,6	0	0	0,4	1
434	0,6	0,2	0,2	0	1
531	0	0,4	0,4	0,2	1
546	0,2	0,4	0,2	0,2	1
1142	0	0,4	0,4	0,2	1
1283	0,2	0,6	0,2	0	1
1291	0,2	0	0,2	0,6	1
1296	0,2	0	0,4	0,4	1
1346	0,2	0,6	0,2	0	1
1362	0	0	0,4	0,6	1
1416	0,2	0,2	0,2	0,4	1
1490	0,6	0,2	0,2	0	1

En termes de résultats, le Tableau 31 confronte le classement généré par les algorithmes avec la tendance de classement par les évaluateurs. En observant le classement généré selon une approche lexicale, aucune des idées ne se situe dans un quartile similaire à celui des évaluateurs. Ce résultat justifie le fait d'avoir exploré l'analyse sémantique et d'augmenter l'analyse avec les hyperonymes et les hyponymes. Ainsi le classement basé sur les concepts réussit à classer dans le bon quartile une idée, tandis que le classement basé sur les concepts a réussi à classer correctement deux idées. Il y a donc une progression observable au niveau des classements mais pour autant il est difficile de conclure sur le succès de l'approche. Une autre observation est que les deux derniers classements positionnent 7 idées dans les mêmes quartiles tandis que les deux premiers ne partagent que 3 idées dans les mêmes quartiles.

Tableau 31. Comparaison des classements générés par les algorithmes avec le classement "idéal"

	Idées les plus probables	Classement par algorithme lexical	Classement basé sur les concepts	Classement basé sur les domaines
1 ^{er} quartile	33	1142	1490	33
	434	1416	1142	1362
	1490	1291	1362	1142
2 ^{ème} quartile	1283	1362	33	434
	1346	1490	546	1416
		531	1416	546
3 ^{ème} quartile		546	1291	1283
		434	531	1490
		1296	434	531
Dernier quartile	1362	1346	1283	1291
	1291	33	1346	1296
		1283	1296	1346

Pour approfondir la compréhension du niveau de similarité entre les classements humains et les classements automatisés, l'expérimentation intégrait une deuxième partie où il a été demandé aux évaluateurs de donner les domaines associés à chacune des idées dans le but de les comparer avec ceux de l'algorithme. Le protocole demandait à chaque évaluateur, de manière individuelle, de lire le sujet et les idées, de déterminer le domaine de chacune des idées et de justifier le choix des domaines avec des termes issus de l'idée. Les domaines de WordNet Domain ont été fournis à chaque évaluateur. Cette expérimentation a été réalisée avec les domaines et non pas avec les concepts parce que les domaines sont formalisés par WordNet Domain et constitue un vocabulaire commun avec l'algorithme. Si les concepts avaient été utilisés, la comparaison des résultats aurait été difficile car la diversité du vocabulaire humain est plus importante que celui de l'algorithme et surtout il est différent pour chaque individu. Ainsi, pour chacune des idées, des dizaines de domaines ont été suggérés par l'algorithme. Etant donné leur très grand nombre, seulement les domaines avec le plus haut taux de fréquence dans l'idée ont été conservés. Les domaines ont donc été classés selon leur fréquence d'occurrences dans l'idée puis la moitié des domaines ayant une fréquence d'apparition moindre a été supprimée. Malgré cette manipulation, l'algorithme génère en moyenne 49 domaines par idées alors que les évaluateurs humains suggèrent seulement 16 domaines en moyenne. Comme tous les domaines ne correspondent pas, une matrice de confusion a été réalisée pour chacune des idées (Fawcett, 2004). A partir de cette matrice, les indicateurs couramment utilisés en extraction de l'information de précision, de rappel et de f-mesure ont été calculées. La précision est le nombre de domaines pertinents, c'est-à-dire le ratio de domaines suggérés par les humains par rapport au nombre de domaines total proposé par l'algorithme. De manière similaire, le rappel mesure le ratio du nombre de domaines pertinents trouvés par l'algorithme par rapport au nombre de domaines pertinents. Pour faciliter l'interprétation de ces deux indicateurs, l'indicateur F-mesure combine la précision et le rappel selon une moyenne harmonique, c'est-à-dire : $F = 2 \times ((Précision \times rappel)/(Précision + rappel))$. L'algorithme sera considéré comme performant plus F sera proche de 1. En plus de ces indicateurs, les nombres de faux positifs et de faux négatifs ont été déterminés pour déterminer la caractéristique de performance de l'algorithme et la représenter selon un graphe (Fawcett, 2004) pour visualiser la performance d'extraction des domaines par rapport aux évaluateurs humains. La valeur de ces indicateurs pour chacune des idées et du sujet sont résumés dans le Tableau 32.

Une des premières remarques est le faible taux de précision (entre 0.11 et 0.2) tandis que le rappel est moyen (entre 0.35 et 0.65). Cela signifie qu'environ la moitié des domaines générés par l'algorithme ont aussi été suggérés par les évaluateurs mais sont noyés par le grand nombre de domaines générés par l'algorithme, ce qui explique également le faible score du F-mesure. L'exploitation des faux et vrais positifs ont permis de représenter sur un graphe la caractéristique de performance de l'algorithme (Figure 47). La classification idéale d'une idée est à un taux de faux positifs de 0 et un taux de vrais-positifs de 1, cela signifie que chaque domaine déterminé par un évaluateur l'est aussi par l'algorithme. La performance de l'algorithme devrait donc se situer plus ou moins dans le triangle rouge sur la Figure 47. Quelles que soient les idées, le taux de faux positifs est plutôt bas par rapport au nombre de domaines possibles avec WordNet Domain, ce qui est positif bien que le résultat soit biaisé par le fait que 50% des domaines ont déjà été supprimés. Malgré tout, le nombre de domaines déterminés par l'algorithme est trop important et génère du bruit par rapport aux domaines pertinents car le taux de vrais-positifs est très bas. De plus, bien que les points sur le graphe soient au-dessus de la diagonale, ils restent relativement proches, nous ne sommes

donc pas dans une situation de génération de domaines totalement au hasard mais la part de hasard n'est pas négligeable dans la détermination de domaines. Il faut donc explorer des moyens pour réduire le nombre de domaines faux positifs déterminés par l'algorithme et de conserver voire augmenter le nombre de domaines communs entre l'algorithme et les évaluateurs.

Tableau 32. Précision, rappel, f-mesure, taux de faux et de vrais positifs de l'extraction de domaines par l'algorithme

Texte analysé	Précision	Rappel	F-mesure	Taux faux positifs	Taux vrais positifs
Sujet	0.2	0.22	0.21	0.12	0.2
Idée 33	0.13	0.41	0.2	0.07	0.13
Idée 434	0.23	0.52	0.32	0.07	0.23
Idée 531	0.20	0.53	0.29	0.05	0.2
Idée 546	0.13	0.35	0.18	0.09	0.13
Idée 1142	0.15	0.53	0.24	0.05	0.15
Idée 1283	0.11	0.54	0.18	0.04	0.11
Idée 1291	0.12	0.38	0.18	0.05	0.12
Idée 1296	0.13	0.36	0.19	0.06	0.13
Idée 1346	0.16	0.43	0.24	0.05	0.16
Idée 1362	0.14	0.47	0.22	0.06	0.14
Idée 1416	0.15	0.47	0.23	0.06	0.15
Idée 1490	0.2	0.64	0.31	0.03	0.2

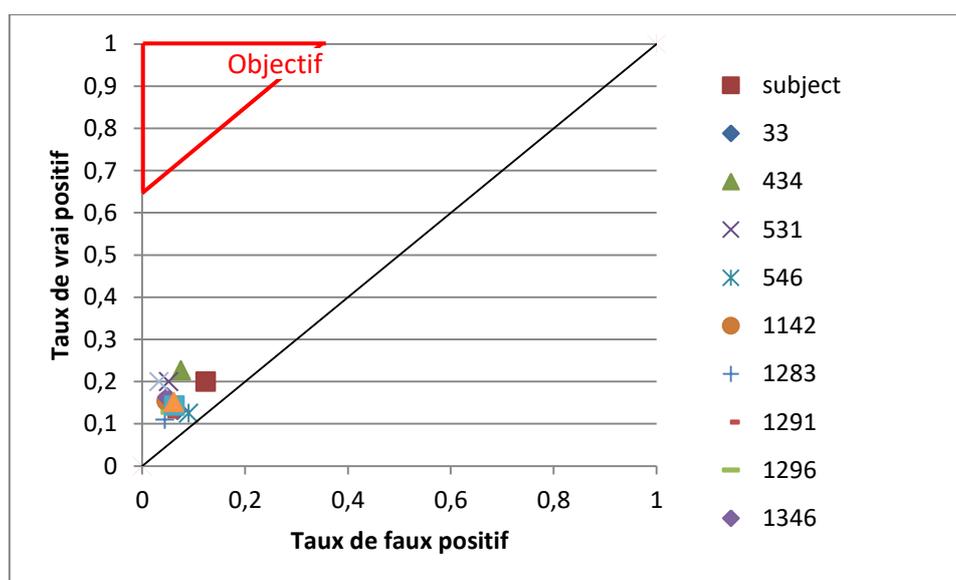


Figure 47. Les idées et le sujet positionnés sur un schéma ROC

8.6. Discussion

Ce chapitre a présenté une tentative d'application de traitement automatique du langage au contexte de traitement des idées issues d'un atelier de créativité. Cette expérimentation a mis en œuvre deux approches distinctes, l'une basée sur une comparaison lexicale tandis que l'autre se base sur une comparaison sémantique. Quelle que soit l'approche, le postulat était de comparer les idées au sujet qui était considéré comme référence.

La première approche (lexicale) permet de déterminer un classement qui a été obtenu sans considérer les multiples significations des mots. Ce classement a été comparé à celui des évaluateurs et aucune des idées n'a eu un classement similaire. La plupart des mesures de similarité de documents, qui considèrent ceux-ci comme des vecteurs, traitent uniquement la correspondance exacte des mots (Miralaeei and Ghorbani, 2005), ce qui explique une telle différence entre le classement des évaluateurs et notre algorithme.

La seconde approche (sémantique) utilise la base lexicale WordNet. À défaut d'être totalement satisfaisante, cette approche est plus encourageante que la précédente. En effet, plusieurs idées partagent le même ordre de classement que celui suggéré par les évaluateurs. Ce succès partiel peut être dû à différents facteurs :

- Le corpus de textes, c'est-à-dire le sujet et les idées n'ont pas été écrits par des anglophones natifs.
- La version de WordNet qui a été utilisée n'est pas la dernière mais la version 2.0.
- La démarche de traitement des idées et sa programmation sont potentiellement à optimiser.
- Le protocole d'évaluation est inadapté.

Le fait que les idées ne soient pas rédigées par des anglophones natifs est un biais important mais le fait que ce soit un contexte de créativité dans des domaines spécifiques introduit d'autres complications. Les idées peuvent contenir des néologismes ou des mots de jargon qui sont compris par les humains qui lisent l'idée mais qui n'existent dans aucun dictionnaire et qui sont de fait écartés par l'algorithme. Par exemple, « smartphone » ou « app » ne sont pas présents dans WordNet. Cette limitation peut également être due à la version de WordNet utilisée. Ce n'est pas la plus récente, elle n'intègre pas les nouveaux mots, les nouveaux sens associés à certains mots, et de fait les nouvelles relations. Cette problématique de mise à jour est également vraie pour WordNet Domain. L'exhaustivité et la granularité de ces deux outils conditionnent les résultats. Par exemple, un grand nombre de noms communs issus de WordNet sont associés à la catégorie « factotum » de WordNet Domain, qui est un domaine non défini. Une des limites peut également être l'approche elle-même et sa programmation. En effet, l'algorithme et sa programmation peuvent ne pas être optimisés et notamment le fait qu'ils ne considèrent que les noms individuellement alors que les évaluateurs considèrent les groupes de mots. La dernière limite concerne l'évaluation des résultats, le fait que certains évaluateurs considèrent le groupe de mots alors que l'algorithme ne raisonne que sur les mots individuellement aboutit à des domaines inattendus et augmente ainsi le bruit. Il en va de même pour les verbes qui ne sont pas considérés par l'algorithme mais qui sont utilisés par les évaluateurs.

Bien que les résultats ne soient pas aussi favorables que ceux qui pouvaient être attendus, ils sont encourageants pour explorer plus en profondeur le traitement des idées par l'amélioration de l'algorithme et la mise en œuvre de nouveaux outils. Une des premières pistes à explorer est notamment le Web sémantique qui permet d'accéder à un très grand nombre d'informations à jour et évolutive tel que WikiData³². Sans pour autant changer l'ensemble de l'algorithme, une alternative plus récente à WordNet pourrait être utilisée.

³² WikiData : https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:Main_Page

8.7. Conclusions

Ce chapitre présente une application du traitement des idées que l'agent d'aide à l'évaluation est susceptible de réaliser pour accompagner l'évaluation des idées. Cet accompagnement est basé sur le traitement automatique du langage. Le traitement automatique du langage appliqué aux idées issues d'un atelier possède de multiples intérêts. Dans une perspective d'évaluation des idées, cela permet de fournir à l'agent évaluateur une sélection d'idées à évaluer en priorité selon la méthodologie présentée dans le chapitre 7. Dans une perspective d'organisation d'un atelier de créativité, ce traitement représente un intérêt pour les agents facilitateur et idéateur pour orienter le déroulement de l'atelier. Les deux approches de traitement des idées associées aux perspectives précédemment présentées sont le classement des idées par rapport au sujet au travers d'un score ou le regroupement des idées selon différents domaines. Dans le cadre de ce chapitre, nous avons abordé l'approche de comparaison de l'idée avec un sujet selon un score. Pour ce faire, nous avons exploré l'analyse lexicale et l'analyse sémantique afin d'extraire les concepts et les domaines des idées et les comparer aux concepts et aux domaines du sujet et des informations associées. Les concepts et les domaines déterminés pour chacune des idées par les algorithmes ont été comparés à des concepts et des domaines suggérés par des humains habitués à l'animation et la participation de séance de créativité. Les résultats de ces expérimentations peuvent être améliorés. En effet, les concepts et les domaines pertinents sont, à ce jour, noyés dans une masse d'informations non pertinentes. Notre approche doit être améliorée mais elle reste prometteuse pour l'accompagnement de l'évaluation des idées au travers de l'agent assistant d'évaluation.

A l'issue de l'expérimentation de notre approche pour le traitement des idées, de multiples perspectives émergent des limites rencontrées. Une des premières serait d'expérimenter cette approche avec des corpus de textes plus importants que des textes courts rédigés en anglais par des non-anglophones natifs. D'autre part, la formalisation des informations concernant le problème et le sujet de l'atelier doit être améliorée. Au cours de ce chapitre, nous avons considéré que l'idée la plus proche du sujet était la plus pertinente dans le but d'explorer la question de l'extraction des concepts et des connaissances. Etant donné que la définition de la créativité est la production originale et adaptée, la question de la distance créative optimale entre l'idée et le sujet doit être approfondie. De plus, l'approche de traitement des informations doit être optimisée car, à ce jour, la comparaison de 12 idées avec un sujet nécessite environ 1h30, ce qui limite l'application de notre méthode à grande échelle. De nouvelles approches et de nouveaux outils doivent être expérimentés. Des outils tels que YAGO³³, appliqué pour de l'identification de thématique (Viriyayudhakorn and Kunifujji, 2013), Wikipédia (Martinez-Gil, 2014), ou encore BabelNet³⁴ pourraient être expérimentés dans un contexte de traitement automatique des idées. Une dernière piste également en lien avec le chapitre 6 serait la création d'ontologies en fonction du sujet spécifiant la sémantique permettant d'analyser chacune des idées (Zomahoun, 2015).

³³ YAGO knowledge base : <http://www.mpi-inf.mpg.de/departments/databases-and-information-systems/research/yago-naga/yago/>

³⁴ BabelNet : <http://babelnet.org/>

9. Conclusion générale

Table des Matières du Chapitre 9

9.1. Contribution	163
9.2. Perspectives de recherche	165
9.2.1. Vers un traitement automatique des idées	165
9.2.2. Vers un accompagnement individualisé grâce aux agents	166
9.2.3. Interface entre le système-multi-agents et les acteurs	166

9.1. Contribution

Ce travail de recherche concernant la conception d'un système multi-agents pour supporter les ateliers de créativité peut être décomposé en plusieurs contributions. Ces contributions suivent la structure des chapitres de ce document.

Suite à l'introduction des différents aspects abordés dans ce document par le chapitre 1, les chapitres 2 et 3 présentent l'état de l'art dans lequel s'inscrivent ces travaux de recherche. Le chapitre 2 introduit les différentes notions abordées par ces travaux tandis que le chapitre 3 présente une revue/cartographie des systèmes supports à la créativité. Ce travail de revue systématique de ce genre d'outils jusqu'à présent inexistant dans la littérature constitue notre première contribution. Cette cartographie rassemble des systèmes supports à la créativité issus de la littérature grâce à une démarche de recherche structurée et formalisée. L'intention est dans un premier temps de répertorier les systèmes qui sont issus ou qui ont fait l'objet de recherche. Puis, dans un second temps, grâce à ce corpus de systèmes, l'intention est de voir les caractéristiques récurrentes de ces systèmes concernant le processus de créativité, le mode de collaboration, les rôles impliqués et les technologies utilisées. A l'issue de cette revue, il a été observé que beaucoup de systèmes ne considéraient que la phase de génération des idées. Ils ne diversifiaient pas les modes de collaboration possibles, ni même les technologies utilisées. La conclusion de cette cartographie des systèmes supports à la créativité présents dans la littérature est qu'il n'y a pas de système qui accompagne l'ensemble du processus de créativité selon les différents modes de collaboration et les différents modes de travail. En d'autres termes, les systèmes recensés manquent d'une certaine flexibilité et modularité pour faire face à la diversité des activités et interactions durant le processus de créativité et les ateliers de créativité.

Pour prétendre concevoir un système censé supporter la créativité, faut-il encore savoir comment la créativité s'organise. Le concept de créativité est connoté de diverses manières en fonction du domaine et du contexte d'application. Le chapitre 4 se positionne dans un contexte d'atelier de créativité organisé dans un cadre pédagogique et commandité par des industriels. Ce contexte implique des attentes de la part des commanditaires, une limitation dans le temps, et des ressources matérielles et humaines limitées. Au préalable de concevoir un système support à la créativité, ce chapitre propose de formaliser ce qu'est la créativité dans ce contexte particulier en utilisant des outils de modélisation issus de l'ingénierie de logiciels et des connaissances. Ce travail peut être considéré comme une contribution car aucune méthodologie connue ne considère ce point de vue. Cette modélisation de l'atelier de créativité aboutit à la décomposition des quatre phases de la créativité en activités avec différents rôles utilisant leurs compétences et leurs connaissances pour achever le processus de créativité. La connaissance des interactions des individus selon leurs rôles, ainsi que la connaissance de leurs compétences et leurs connaissances requises pour la réalisation du processus permet de déterminer le degré de flexibilité et de modularité nécessaire pour la conception du système support à la créativité. Etant donné le caractère complexe, hétérogène et distribué des connaissances dû à la diversité des individus, de leurs rôles, des interactions et des modes de communication, la conception doit être adaptée.

Le chapitre 5 aborde cette question de la conception du système support à la créativité. Etant donné les spécificités du contexte à supporter, le postulat de ce chapitre est de considérer le paradigme agents pour concevoir le système support à la créativité. La capacité des systèmes multi-agents à

supporter des situations complexes, hétérogènes et distribuées semble tout à fait adaptée au contexte d'atelier de créativité ayant des caractéristiques similaires. Suite à la revue des systèmes supports à la créativité, nous savons que cette approche de conception n'a pas été appliquée dans ce contexte. La spécificité de la méthodologie de conception de système multi-agents (DOCK) est de se baser sur une modélisation de l'organisation. Dans le cas présent, cela signifie que la modélisation de l'atelier de créativité du chapitre 4 sert de base pour la conception des agents qui vont constituer le SMA. La finalité de ce chapitre est de proposer les caractéristiques des agents du système support à la créativité, c'est à dire les rôles, leurs compétences, leurs connaissances, leurs interlocuteurs, et leurs responsabilités ainsi que la modélisation des interactions de l'ensemble des agents. Cette modélisation est le fondement pour la conception du système multi-agents. Bien que cette modélisation soit fondamentale pour le développement du SMA, l'interaction des agents nécessite l'explicitation d'un vocabulaire pour structurer leur communication.

Ainsi, si les agents interagissent et échangent des informations, il est nécessaire de définir le vocabulaire pour structurer ces échanges et les connaissances qui constituent ces échanges. Le chapitre 6 utilise la modélisation organisationnelle du système multi-agents pour identifier les connaissances échangées et définir les concepts clés d'une ontologie décrivant le domaine de connaissances d'un atelier de créativité. Ce chapitre applique une démarche de conception d'ontologie combinant des méthodologies issues de la littérature. Le vocabulaire utilisé par le SMA sera développé sous la forme d'une ontologie constituée des concepts et leurs relations. L'étendue décrite par ce vocabulaire est l'ensemble des concepts décrivant un atelier de créativité. L'utilisation d'une ontologie pour décrire ce vocabulaire est justifiée par l'interopérabilité et la capacité de raisonnement de cette technologie. La capacité de raisonnement et de déduction de connaissances dites implicites est possible par la capitalisation des connaissances d'un atelier de création et des relations des concepts de l'ontologie. La finalité de ce chapitre est donc la conception et le développement de l'ontologie décrivant les concepts relatifs à l'ensemble du processus d'un atelier de créativité nécessaire à l'ensemble de rôles. C'est encore une fois l'intention de couvrir l'ensemble du processus et les différents rôles des individus qui justifie la réutilisation des informations de la modélisation organisationnelle pour la détermination des concepts du vocabulaire. A l'issue de ce chapitre, l'ensemble des modèles nécessaires à la réalisation d'un SMA, c'est-à-dire le modèle du SMA et l'ontologie, ont été explicités. Les perspectives pourraient être le développement du SMA pour valider le concept mais certaines fonctionnalités spécifiques restent encore à concevoir.

Le chapitre 7 approfondit le processus d'évaluation des idées réalisé par le SMA. Le postulat de ce chapitre est d'utiliser des méthodes d'analyse multicritère pour structurer le processus d'évaluation pour formaliser une heuristique à l'agent dédié à l'évaluation des idées et ainsi apporter une aide à la décision au commanditaire concernant le choix des idées à développer. Ce chapitre présente le processus lié à cette phase et l'importance de collecter les informations dès la phase d'analyse du problème. L'intérêt d'une aide à la décision lors de l'évaluation a été validé par les retours de différents partis prenants lors de la mise en œuvre de la méthodologie proposée dans le cadre d'un atelier de créativité avec la ville de Leticia en Colombie. Cette méthodologie peut être appliquée sans système support à la créativité mais est conçue pour s'intégrer dans un système support par l'automatisation de certaines tâches. Cette automatisation concerne notamment l'aide à la définition et la structuration de la démarche d'évaluation en fonction des informations fournies lors de l'analyse du problème pour ensuite traiter les informations de l'évaluation de manière adéquate. Bien qu'intéressante, l'évaluation des idées par analyse multicritère admet des limites induites

notamment par la capacité limitée des évaluateurs en termes de nombre d'idées traitées. L'évaluation des idées requiert l'exploration d'autres pistes afin de compléter les compétences de l'agent assistant l'évaluation des idées et renforcer l'aide apportée aux individus impliqués dans l'évaluation.

Le chapitre 8 explore donc une piste complémentaire à celle du chapitre 7. Il développe l'utilisation du traitement automatique du langage dans le contexte d'un atelier de créativité pour comparer et déterminer la pertinence d'idées par rapport à un sujet, c'est à dire un problème posé. La contribution de ce chapitre n'est pas dans la proposition d'une nouvelle approche de traitement automatique du langage mais dans l'application de ce traitement dans le contexte spécifique d'un atelier de créativité. Etant donnée la limite de traitement de l'approche d'évaluation du chapitre précédent, l'objectif de l'utilisation du traitement automatique du langage est de prétraiter des idées avant une évaluation humaine sachant que l'analyse multicritère du chapitre précédent ne peut pas tout traiter. L'intérêt du traitement est double selon comment celui-ci est réalisé, il permet de cartographier les connaissances décrites par l'ensemble des idées générées ou de classer les idées en fonction des domaines de connaissances attendus par le sujet.

A l'issue de l'ensemble de ces chapitres, la contribution générale peut être résumée par la conception d'un système multi-agents support à la créativité afin de supporter la totalité du processus d'un atelier de créativité et les multiples configurations de collaboration possibles entre les différents rôles assumés par les individus. La finalité de ce travail est de réaliser un système support original qui aide les différents individus au-delà de la simple gestion des idées tel que c'est déjà proposé notamment par Westerski (2013) ou Riedl et ses collègues (2009) avec respectivement le système de gestion des idées GI2MO et l'ontologie des idées (IdeaOntology). C'est pour aller au-delà de ces précédents travaux que nous avons adopté une approche organisationnelle pour concevoir les agents qui constitueront le système support à la créativité. D'une certaine manière, cette approche originale de conception d'un système support à la créativité peut être considéré comme une contribution et constituer les bases d'une méthodologie de conception.

9.2. Perspectives de recherche

Les travaux de cette thèse ont abordé l'accompagnement et la gestion des connaissances dans le cadre d'un atelier de créativité. Pour ce faire, nous proposons une architecture de système multi-agents dédié au support à la créativité combiné à une ontologie décrivant le domaine des connaissances élaborés à partir d'un modèle organisationnel. Dans le cadre de ces travaux, nous avons identifié plusieurs perspectives dont l'approfondissement du traitement automatique des idées, l'individualisation de l'accompagnement par le système multi-agents, et l'exploration des interfaces entre le système multi-agents et les acteurs.

9.2.1. Vers un traitement automatique des idées

Les expérimentations effectuées dans le cadre de ces travaux concernant le traitement automatique du langage (TAL) utilisés pour décrire des idées ont abouti à des résultats perfectibles.

Etant donné le potentiel que représente le TAL pour le traitement des idées, de nouveaux outils et approches doivent être considérés. Dans un premier temps, la base de données lexicale WordNet utilisée peut être combinée avec d'autres bases telles que YAGO ou BabelNet pour avoir un corpus

d'information plus riche et à jour. Au-delà de la question de la base lexicale utilisée comme support, l'approche appliquée pour traiter les idées doit évoluer pour prendre en compte non seulement les données textuelles mais également les images associées. Pour ce faire, une des perspectives pertinentes semble la représentation de la sémantique d'une idée par la création d'une ontologie pour chacune d'elles. Le traitement des idées et du sujet impliquerait non plus la comparaison de vecteurs de mots mais la comparaison d'ontologies. Cette perspective est associée à l'utilisation et à l'amélioration de l'ontologie proposée pour décrire l'atelier de créativité mais également à l'éventuelle réutilisation d'ontologies spécifiques pour décrire certains aspects d'un problème ou d'une idée. Une autre perspective, potentiellement complémentaire à celle des ontologies, est l'exploration des éléments de langage qui caractérise le contexte, c'est-à-dire la pragmatique, pour mieux identifier les connaissances et les significations liées à une idée. En effet, la pragmatique participerait à la réduction des sens possibles des mots et des phrases qui décrivent une idée en considérant le contexte dans lequel l'idée a émergé ou a été rédigé.

9.2.2. Vers un accompagnement individualisé grâce aux agents

Durant les présents travaux, nous avons proposé une démarche de conception d'un système multi-agents pour supporter un processus de créativité à partir de la modélisation organisationnelle d'un atelier de créativité. Cette approche a permis de spécifier les caractéristiques du SMA. Cette démarche permet d'adapter les informations collectées et fournies par les individus en fonction de leurs rôles.

Bien que cela permette déjà d'adapter l'accompagnement d'individus dans leurs activités, la créativité implique des aspects individuels non-négligeables. A partir des modèles de créativité individuelle, tels que la théorie de l'investissement (Sternberg, 2006) ou le modèle de structure de l'intellect dédié à la résolution de problèmes de Guilford (Michael, 1999), d'autres caractéristiques des individus pourraient être spécifiées et ainsi adapter le comportement des agents. Pour réaliser cette adaptation, la perspective est de compléter la démarche de modélisation du SMA pour intégrer en détail l'aspect individuel dans la modélisation organisationnelle en introduisant de nouveaux concepts, notamment les concepts de motivation, d'expérience, de réputation, ou de confiance dans le groupe.

9.2.3. Interface entre le système multi-agents et les acteurs

Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse ont exploré la question de l'accompagnement d'un atelier de créativité au travers d'un système support prenant en compte les connaissances créées et utilisées. Ceci implique la compréhension des interactions entre le système et les individus qui peuvent se faire au travers de multiples dispositifs. Bien que le traitement des données concernant les idées ait été expérimenté avec du TAL, aucune interface n'a été conçue pour faciliter l'utilisation des algorithmes créés. Plus globalement, les modalités de communication et de représentation des informations des agents aux individus n'ont pas été abordées.

L'état de l'art des systèmes supports à la créativité permet de décrire les différents dispositifs numériques utilisés. L'introduction d'un système informatique supportant la réalisation d'activité impacte l'organisation dans laquelle il s'intègre. Afin d'évaluer au mieux l'impact d'un tel système sur l'organisation d'un atelier de créativité, la perspective est d'étudier et de concevoir les interfaces entre les individus et le système. En effet, le système que nous suggérons et dont nous avons

expérimenté certaines de ces futures fonctionnalités va nécessiter de multiples interfaces en fonction des rôles, des activités, des interactions et des dispositifs utilisés. Les besoins d'interfaces pour les activités de créativité collective ne sont pas les mêmes que ceux pour les activités de créativité individuelle. Il en va de même pour savoir comment assister les individus dans leurs décisions et notamment la représentation des suggestions d'idées.

Références

Abecker, A., Bernardi, A., van Elst, L., 2003. Agent technology for distributed organizational memories, in: *Proceedings of the 5th International Conference On Enterprise Information Systems*. pp. 3–10.

Acar, S., Runco, M.A., 2012. Chapter 6 - Creative Abilities: Divergent Thinking, in: Michael D. Mumford (Ed.), *Handbook of Organizational Creativity*. Academic Press, San Diego, pp. 115–139.

Adamczyk, S., Bullinger, A.C., Möslin, K.M., 2012. Innovation Contests: A Review, Classification and Outlook. *Creat. Innov. Manag.* 21, 335–360. doi:10.1111/caim.12003

Albadvi, A., Chaharsooghi, S.K., Esfahanipour, A., 2007. Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE. *Eur. J. Oper. Res.* 177, 673–683. doi:10.1016/j.ejor.2005.11.022

Alistair, M., Bechhofer, S., 2009. SKOS Reference [WWW Document]. SKOS Simple Knowl. Organ. Syst. Ref. URL (accessed 9.2.16).

Alvarez, J.C., Su, H.-J., 2012. VRMDS: an intuitive virtual environment for supporting the conceptual design of mechanisms. *Virtual Real.* 16, 57–68. doi:10.1007/s10055-009-0144-z

Amblard, F., Phan, D., 2006. *Modélisation et simulation multi-agents*, Lavoisier. ed, Hermes science. Paris.

Anderson, N., Potocnik, K., Zhou, J., 2014. Innovation and Creativity in Organizations: A State-of-the-Science Review, Prospective Commentary, and Guiding Framework. *J. Manag.* 40, 1297–1333. doi:10.1177/0149206314527128

Ardaiz-Villanueva, O., Nicuesa-Chacón, X., Brene-Artazcoz, O., Sanz de Acedo Lizarraga, M.L., Sanz de Acedo Baquedano, M.T., 2011. Evaluation of computer tools for idea generation and team formation in project-based learning. *Comput. Educ.* 56, 700–711. doi:10.1016/j.compedu.2010.10.012

Aznar, G., 2005. *Idées 100 techniques pour les produire et les gerer*, Editions d'Organisations. ed.

Bachimont, B., 2007. *Ingénierie des connaissances et des contenus: le numérique entre ontologies et documents*, Hermes Science publications. ed, Science informatique et SHS. Lavoisier, Paris.

Bakar, M., Ghouli, S., 2011. A methodology for AUML role modeling, in: *Innovation in Information & Communication Technology (ISIICT), 2011 Fourth International Symposium on*. IEEE, pp. 74–81.

Bana E Costa, C.A., Vansnick, J.-C., 1997. Applications of the MACBETH Approach in the Framework of an Additive Aggregation Model. *J. Multi-Criteria Decis. Anal.* 6, 107–114.

Bao, P., Gerber, E., Gergle, D., Hoffman, D., 2010. Momentum: getting and staying on topic during a brainstorm, in: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Atlanta, Georgia, USA, pp. 1233–1236.

Basadur, M., Graen, G.B., Green, S.G., 1982. Training in creative problem solving: Effects on ideation and problem finding and solving in an industrial research organization. *Organ. Behav. Hum. Perform.* 30, 41–70. doi:10.1016/0030-5073(82)90233-1

Bellandi, V., Ceravolo, P., Damiani, E., Frati, F., Maggesi, J., 2012. Towards a Collaborative Innovation Catalyst, in: *2012 Eighth International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based*

Systems (SITIS 2012), 25-29 Nov. 2012, 2012 Eighth International Conference on Signal-Image Technology Internet-Based Systems (SITIS 2012). IEEE, pp. 637–43. doi:10.1109/SITIS.2012.96

Ben Ticha, S., Roussanaly, A., Boyer, A., 2014. User Semantic Model for Dependent Attributes to Enhance Collaborative Filtering:, in: Proceedings of the 10th International Conference on Web Information Systems and Technologies. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, pp. 205–212. doi:10.5220/0004951102050212

Bentivogli, L., Forner, P., Magnini, B., Pianta, E., 2004. Revising the wordnet domains hierarchy: semantics, coverage and balancing, in: Proceedings of the Workshop on Multilingual Linguistic Ressources. Association for Computational Linguistics, pp. 101–108.

Berio, G., Vernadat, F.B., 1999. New developments in enterprise modelling using CIMOSA. *Comput. Ind.* 40, 99–114.

Bernon, C., Camps, V., Gleizes, M.-P., Picard, G., 2003. Designing agents' behaviors and interactions within the framework of ADELFE methodology, in: International Workshop on Engineering Societies in the Agents World. Springer, pp. 311–327.

Bhagwatwar, A., Massey, A., Dennis, A.R., 2013. Creative Virtual Environments: Effect of Supraliminal Priming on Team Brainstorming. IEEE, pp. 215–224. doi:10.1109/HICSS.2013.152

Boden, M.A., 1994. Agent and creativity. *Commun. ACM* 37, 117–121.

Boly, V., 2008. Ingénierie de l'innovation: organisation et méthodologies des entreprises innovantes, Lavoisier. ed. Hermes Science Publications.

Bonifacio, M., Bouquet, P., Traverso, P., 2002. Enabling distributed knowledge management: Managerial and technological implications.

Bonnardel, N., 2006. Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques, Solal. ed, Psychologie. Solal, Marseille, France.

Boughzala, I., 2007. Ingénierie de la collaboration, Hermes. ed, technique et scientifique des télécommunications. Lavoisier, Paris, France.

Brade, M., Heseler, J., Groh, R., 2011. An Interface for Visual Information-Gathering during Web Browsing Sessions: BrainDump-A Versatile Visual Workspace for Memorizing and Organizing Information, in: ACHI 2011, The Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions. pp. 112–119.

Brans, J.-P., Mareschal, B., 1994. The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid. *Decis. Support Syst.* 12, 297–310.

Brans, J.P., Vincke, P., 1985. Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Manag. Sci.* 31, 647–656. doi:10.1287/mnsc.31.6.647

Bresciani, P., Perini, A., Giorgini, P., Giunchiglia, F., Mylopoulos, J., 2004. Tropos: An agent-oriented software development methodology. *Auton. Agents Multi-Agent Syst.* 8, 203–236.

- Brickley, D., Miller, L., 2012. FOAF vocabulary specification 0.98 [WWW Document]. Foaf Vocab. Specif. URL <http://ontogenealogy.com/documents/2012/08/foaf-vocabulary-specification-0-98-20100809.pdf> (accessed 1.22.16).
- Briggs, R.O., De Vreede, G.-J., Nunamaker Jr, J., 2003. Collaboration engineering with ThinkLets to pursue sustained success with group support systems. *J Manag. Inf. Syst.* 19, 31–64.
- Brocco, M., Forster, F., Frieß, M.R., 2011. 360° Open Creativity Support. *J UCS* 17, 1673–1689.
- Brown, T., 2008. Design thinking. *Harv. Bus. Rev.* 86, 84.
- Buisine, S., Besacier, G., Aoussat, A., Vernier, F., 2012. How do interactive tabletop systems influence collaboration? *Comput. Hum. Behav.* 28, 49–59. doi:10.1016/j.chb.2011.08.010
- Bullinger, A.C., 2009. Innovation and Ontologies: Structuring the Early Stages of Innovation Management. Gabler.
- Carbone, F., Contreras, J., Hernandez, J.Z., Gomez-Perez, J.M., 2012. Open Innovation in an Enterprise 3.0 framework: three case studies. *Expert Syst. Appl.* 39, 8929–39. doi:10.1016/j.eswa.2012.02.015
- Carson, S.H., Peterson, J.B., Higgins, D.M., 2003. Decreased Latent Inhibition Is Associated With Increased Creative Achievement in High-Functioning Individuals. *J. Pers. Soc. Psychol.* 85, 499–506. doi:10.1037/0022-3514.85.3.499
- Cervenka, R., Trencansky, I., 2007. The Agent Modeling Language--AML: a comprehensive approach to modeling multi-agent systems, Whitestein series in software agent technologies and autonomic computing. Birkhäuser, Basel ; Boston.
- Chakrabarti, A., Sarkar, P., Leelavathamma, B., Nataraju, B.S., 2005. A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas. *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.* 19, 113–132.
- Chan, N.N., Roussanaly, A., Boyer, A., 2014. Learning resource recommendation: An orchestration of Content-based filtering, word semantic similarity and page ranking, in: *European Conference on Technology Enhanced Learning*. Springer, pp. 302–316.
- Charlet, J., Zacklad, M., Kassel, G., Bourigault, D., 2000. *Ingénierie des connaissances: recherches et perspectives*, Eyrolles. ed.
- Cheng-Leong, A., Li Pheng, K., Keng Leng, G.R., 1999. IDEF*: A comprehensive modelling methodology for the development of manufacturing enterprise systems. *Int. J. Prod. Res.* 37, 3839–3858. doi:10.1080/002075499189790
- Chesbrough, H., 2004. Managing Open Innovation. *Res. Technol. Manag.* 47, 23–26.
- Choulier, D., 2011. *Découvrir et appliquer les outils de TRIZ*, Chantiers. Université de Technologies de Belfort-Monbéliard, Belfort.

- Chu, M.-T., KrishnaKumar, P., Khosla, R., 2014. Mapping knowledge sharing traits to business strategy in knowledge based organisation. *J. Intell. Manuf.* 25, 55–65. doi:10.1007/s10845-012-0674-1
- Clayphan, A., Collins, A., Ackad, C., Kummerfeld, B., Kay, J., 2011. Firestorm: a brainstorming application for collaborative group work at tabletops. *ACM*, pp. 162–171.
- Clément, É., 2006. Approche de la flexibilité cognitive dans la problématique de la résolution de problème. *Année Psychol.* 106, 415–434.
- Cluzel, F., Yannou, B., Millet, D., Leroy, Y., 2016. Eco-ideation and eco-selection of R&D projects portfolio in complex systems industries. *J. Clean. Prod.* 112, 4329–4343.
- CogniStreamer [WWW Document], n.d. URL <http://www.cognistreamer.com/> (accessed 5.21.14).
- Correa, C.H., Danilevicz, Â.D.M.F., 2015. Method for Decision Making in the Management of Innovation: Criteria for the Evaluations of Ideas. Presented at the International Association for Management of Technology, pp. 2151–2169.
- Courvisanos, J., 2007. the ontology of innovation: human agency in the pursuit of novelty. *Hist. Econ. Rev.* 45, 41.
- Craven, C.E., 2015. Refusing to be Toured: Work, Tourism, and the Productivity of “Life” in the Colombian Amazon. *Antipode* n/a-n/a. doi:10.1111/anti.12208
- Csikszentmihalyi, M., 1999. Implication of a system perspective for the study of the creativity, in: *Handbook of Creativity*. Robert J. Sternberg, pp. 313–335.
- Damanpour, F., Aravind, D., 2012. Chapter 19 - Organizational Structure and Innovation Revisited: From Organic To Ambidextrous Structure, in: Michael D. Mumford (Ed.), *Handbook of Organizational Creativity*. Academic Press, San Diego, pp. 483–513.
- de Bono, E., 1999. *Six Thinking Hats*. Penguin.
- De Dreu, C.K.W., Baas, M., Nijstad, B.A., 2012. The Emotive Roots of Creativity: Basic and Applied Issues on Affect and Motivation, in: Mumford, M.D. (Ed.), *Handbook of Organizational Creativity*. Elsevier, pp. 217–240.
- de Moraes, L., Garcia, R., Ensslin, L., da Conceição, M.J., de Carvalho, S.M., 2010. The multicriteria analysis for construction of benchmarkers to support the Clinical Engineering in the Healthcare Technology Management. *Eur. J. Oper. Res.* 200, 607–615. doi:10.1016/j.ejor.2009.01.018
- Dean, D.L., Hender, J.M., Rodgers, T.L., Santanen, E.L., 2006. Identifying quality, novel, and creative Ideas: Constructs and scales for idea evaluation. *J. Assoc. Inf. Syst.* 7, 646–698.
- Demazeau, Y., Müller, J.P., 1990. *Decentralized A.I., Proceeding of the first modelling autonomous agents and multi-agents worlds*. Elsevier, Cambridge, England.
- Dignum, V., 2007. Knowledge sharing and organizational performance: an agent-mediated approach. Presented at the ICEIS, Funchal, Portugal.

- Doumeingts, G., Vallespir, B., Zanettin, M., Chen, D., 1992. GIM, GRAI integrated methodology, a methodology for designing CIM systems (LAP/GRAI-Version).
- El Bassiti, L., Ajhoun, R., 2014. Semantic Representation of Innovation, Generic Ontology for Idea Management. *J. Adv. Manag. Sci.* 2, 128–134. doi:10.12720/joams.2.2.128-134
- Elerud-Tryde, A., Hooge, S., 2014a. Beyond the Generation of Ideas: Virtual Idea Campaigns to Spur Creativity and Innovation: Beyond the Generation of Ideas. *Creat. Innov. Manag.* 23, 290–302. doi:10.1111/caim.12066
- Elerud-Tryde, A., Hooge, S., 2014b. Beyond the Generation of Ideas: Virtual Idea Campaigns to Spur Creativity and Innovation: Beyond the Generation of Ideas. *Creat. Innov. Manag.* 23, 290–302. doi:10.1111/caim.12066
- Erceau, J., Chaudron, L., Ferber, J., Bouron, T., 1994. Systèmes personne (s)–machine (s): patrimoines cognitifs distribués et monde multi-agents, coopération et prises de décision collectives, in: *Systèmes coopératifs : de la modélisation à la conception*. Bernard Pavard, Toulouse.
- Esparcia, S., Argente, E., Botti, V., 2011. An agent-oriented software engineering methodology to develop adaptive virtual organizations, in: *IJCAI Proceedings-International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Citeseer, p. 2796.
- Fawcett, T., 2004. ROC graphs: Notes and practical considerations for researchers. *ReCALL* 31, 1–38.
- Ferber, J., 1999. *Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley Longman Publishing, Boston, MA, USA.
- Ferber, J., 1995. *Les systemes multi-agents. Vers une intelligence collective*.
- Ferber, J., Gutknecht, O., Michel, F., 2004. From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems, in: *Agent-Oriented Software Engineering IV*. Springer, pp. 214–230.
- Finlayson, M.A., 2014. Java libraries for accessing the Princeton WordNet: Comparison and evaluation, in: *Proceedings of the 7th Global Wordnet Conference*. pp. 78–85.
- Fleming, L., 2004. Perfecting cross-pollination. *Harv. Bus. Rev.* 82, 22–24.
- Forster, F., 2008. Distributed Creative Problem Solving over the Web. *IEEE*, pp. 283–288. doi:10.1109/ICIW.2008.11
- Forster, F., Frieß, M.R., Brocco, M., Groh, G., 2010. On the impact of chat communication on computer-supported idea generation processes. Citeseer.
- Friess, M.R., Kleinhans, M., Klügel, F., Groh, G., 2012. A Tabletop Application Environment for Generic Creativity Techniques. *Int. J. Comput. Inf. Syst. Ind. Manag. Appl.* 4, 55–65.
- Friginal, J., Martínez, M., de Andrés, D., Ruiz, J.-C., 2016. Multi-criteria analysis of measures in benchmarking: Dependability benchmarking as a case study. *J. Syst. Softw.* 111, 105–118. doi:10.1016/j.jss.2015.08.052

- Gandon, F., 2002a. Ontology engineering: a survey and a return on experience (research report No. 4396). INRIA.
- Gandon, F., 2002b. Distributed Artificial Intelligence and Knowledge Management: ontologies and multi-agent systems for a corporate semantic web. Université Nice Sophia Antipolis.
- Garcia, R., Calantone, R., 2002. A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. *J. Prod. Innov. Manag.* 110–132.
- Gardoni, M., Blanco, E., Rüger, S., 2005. MICA-Graph: a tool for managing text and sketches during design processes. *J. Intell. Manuf.* 16, 395–405.
- Gasser, L., 1992. An overview of DAI, in: *DAI: Theory and Praxis*. N. M. Avouris et L. Gasser, Amsterdam, NL.
- Gelfand, B., Wulfekuler, M., Punch, W.F., 1998. Automated concept extraction from plain text, in: *AAAI 1998 Workshop on Text Categorization*. pp. 13–17.
- Gero, J.S., Kannengiesser, U., 2004. The situated function–behaviour–structure framework. *Des. Stud.* 25, 373–391. doi:10.1016/j.destud.2003.10.010
- Getz, I., Robinson, A.G., 2003. *Vos idées changent tout*, Editions d’Organisations. ed.
- Geyer, F., Budzinski, J., Reiterer, H., 2012. IdeaVis: a hybrid workspace and interactive visualization for paper-based collaborative sketching sessions, in: *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design*. Presented at the NordiCHI’12, ACM, Copenhagen, Denmark, pp. 331–340.
- Geyer, F., Pfeil, U., Höchtl, A., Budzinski, J., Reiterer, H., 2011. Designing reality-based interfaces for creative group work, in: *Proceedings of the 8th ACM Conference on Creativity and Cognition*. ACM, pp. 165–174.
- Girodon, J., 2015. Proposition d’une approche d’amélioration des performances des organisations par le management opérationnel de leurs connaissances et compétences. Université de Lorraine, Nancy, France.
- Girodon, J., Monticolo, D., Bonjour, E., Perrier, M., 2015. How to design a Multi-Agent System dedicated to knowledge management; the DOCK approach. Presented at the International Conference on Artificial Intelligence, Electrical & Electronics Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Goel, A.K., Vattam, S., Wiltgen, B., Helms, M., 2012. Cognitive, collaborative, conceptual and creative — Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design. *Comput.-Aided Des.* 44, 879–900. doi:10.1016/j.cad.2011.03.010
- Gray, D., Brown, S., Macanuso, J., 2010. *Gamestorming: A playbook for innovators, rulebreakers, and changemakers*. O’Reilly Media, Inc.
- Gruber, T.R., 1993. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowl. Acquis.* 5, 199–220. doi:10.1006/knac.1993.1008

- Gruninger, M., Fox, M.S., 1995. Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies.
- Guitouni, A., Martel, J.-M., 1998. Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method. *Eur. J. Oper. Res.* 109, 501–521.
- Guizzardi, R.S., 2006. Agent-oriented constructivist knowledge management. Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, Enschede.
- Gurteen, D., 1998. Knowledge, Creativity and Innovation. *J. Knowl. Manag.* 2, 5–13. doi:10.1108/13673279810800744
- Gutwein, S., 2013. Computer support for collaborative creativity (Technical report). University of Munich, Munich.
- Hadj Taieb, M.A., Ben Aouicha, M., Ben Hamadou, A., 2014. Ontology-based approach for measuring semantic similarity. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 36, 238–261. doi:10.1016/j.engappai.2014.07.015
- Hadzic, M., Chang, E., 2008. Onto-agent methodology for design of ontology-based multi-agent systems. *Comput. Syst. Sci. Eng.* 23, 19.
- Hailpern, J., Hinterbichler, E., Leppert, C., Cook, D., Bailey, B.P., 2007. TEAM STORM: demonstrating an interaction model for working with multiple ideas during creative group work, in: *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI Conference on Creativity & Cognition*. ACM, pp. 193–202.
- Hao Wang, Ohsawa, Y., 2013. Idea discovery: A scenario-based systematic approach for decision making in market innovation. *Expert Syst. Appl.* 40, 429–38. doi:10.1016/j.eswa.2012.07.044
- Hartmann, B., Morris, M.R., Benko, H., Wilson, A.D., 2010. Pictionary: supporting collaborative design work by integrating physical and digital artifacts. *ACM*, pp. 421–424.
- Harvey, J.-F., Raouf, N., Cohendet, P., Simon, L., 2013. Gérer les idées pour mieux innover. *Gestion* 38, 25–35.
- Hemlin, S., Allwood, C.M., Martin, B.R., 2008. Creative Knowledge Environments. *Creat. Res. J.* 20, 196–210. doi:10.1080/10400410802060018
- Hennessey, B.A., Amabile, T.M., 1999. Consensual assessment, in: *Encyclopedia of Creativity*. Elsevier, pp. 347–359.
- Héon, M., 2014. Web sémantique et modélisation ontologique (avec G-OWL), ENI. ed, Epsilon. St Herblain, France.
- Herrmann, T., Nolte, A., 2010. The Integration of Collaborative Process Modeling and Electronic Brainstorming in Co-located Meetings, in: *Collaboration and Technology*. Presented at the CRIWG, Springer, Maastricht, Netherlands, pp. 145–160.
- Hesmer, A., Hribernik, K.A., Hauge, J.M.B., Thoben, K.-D., 2011. Supporting the ideation processes by a collaborative online based toolset. *Int. J. Technol. Manag.* 55, 218–225. doi:10.1504/IJTM.2011.041948

- Higuchi, T., Miyata, K., Yuizono, T., 2012. Creativity Improvement by Idea-Marathon Training, Measured by Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT) and Its Applications to Laboratories, in: 2012 7th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (KICSS). IEEE Computer Society, pp. 66–72. doi:10.1109/KICSS.2012.22
- Hilliges, O., Terrenghi, L., Boring, S., Kim, D., Richter, H., Butz, A., 2007. Designing for collaborative creative problem solving, in: Proceedings of the 6th ACM SIGCHI Conference on Creativity & Cognition. ACM, pp. 137–146.
- Holt, J., Perry, S., 2008. SysML for systems engineering, Professional applications of computing series. Institution of Engineering and Technology, Stevenage.
- Howard, T.J., Culley, S.J., Dekoninck, E., 2008. Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Des. Stud.* 29, 160–180. doi:10.1016/j.destud.2008.01.001
- Howe, J., 2008. *Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd Is Driving the Future of Business*, Crown Publishing Group. ed. New York, NY, USA.
- Huang, C.-C., Li, T.-Y., Wang, H.-C., Chang, C.-Y., 2007. A collaborative support tool for creativity learning: Idea storming cube. Presented at the Seventh IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007), IEEE, Niigata, Japan, pp. 31–35. doi:10.1109/ICALT.2007.6
- Hui, F., Tao, T., ChangXiang, Z., 2011. Diagnostic evaluation of information retrieval models. *ACM Trans. Inf. Syst.* 29. doi:10.1145/1961209.1961210
- InnovationCast [WWW Document], n.d. . What It - Innov. URL http://innovationcast.com/en/what_it_is (accessed 5.21.14).
- Iqbal, R., Murad, M.A.A., Mustapha, A., Sharef, N.M. (Eds.), 2013. An Analysis of Ontology Engineering Methodologies: A Literature Review. *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, International handbooks on information systems 6, 2993–3000.
- Isern, D., Sánchez, D., Moreno, A., 2011. Organizational structures supported by agent-oriented methodologies. *J. Syst. Softw.* 84, 169–184. doi:10.1016/j.jss.2010.09.005
- Ishizaka, A., Nemery, P., 2013. *Multi-Criteria Decision Analysis. methods and software*. Wiley, Chichester, UK.
- Jagtap, S., Larsson, A., Hiort, V., Olander, E., Warell, A., 2015. Interdependency between average novelty, individual average novelty, and variety. *Int. J. Des. Creat. Innov.* 3, 43–60. doi:10.1080/21650349.2014.887987
- James, K., Drown, D., 2012. Organizations and Creativity: Trends in Research, Status of Education and Practice, Agenda for the Future, in: Mumford, M.D. (Ed.), *Handbook of Organizational Creativity*. Elsevier, pp. 17–38.
- Jennings, N.R., Wooldridge, M., 1998. Applications of Intelligent Agents, in: *Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets*. Springer, pp. 3–28.

- Jonassen, D.H., 2000. Toward a design theory of problem solving. *Educ. Technol. Res. Dev.* 48, 63–85.
- Jones, A., Kendira, A., Lenne, D., Gidel, T., Moulin, C., 2011. The TATIN-PIC project: A multi-modal collaborative work environment for preliminary design, in: 2011 15th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2011, June 8, 2011 - June 10, 2011, Proceedings of the 2011 15th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2011. IEEE Computer Society, pp. 154–161. doi:10.1109/CSCWD.2011.5960069
- Jones, S., Poulsen, A., Maiden, N., Zachos, K., 2011. User roles in asynchronous distributed collaborative idea generation. *ACM*, pp. 349–350.
- Kabachi, N., 1999. Modélisation et apprentissage de la prise de décision dans les organisations productives: approche multi-agents. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Jean Monnet-Saint-Etienne.
- Kamsu Foguem, B., Coudert, T., Béler, C., Geneste, L., 2008. Knowledge formalization in experience feedback processes: An ontology-based approach. *Comput. Ind.* 59, 694–710. doi:10.1016/j.compind.2007.12.014
- Klusch, M., 1999. *Intelligent Information Agents: Agent-based Information Discovery and Management in the Internet*, Springer. ed.
- Kudrowitz, B.M., Wallace, D., 2013. Assessing the quality of ideas from prolific, early-stage product ideation. *J. Eng. Des.* 24, 120–139. doi:10.1080/09544828.2012.676633
- Laboranova [WWW Document], n.d. . Laboranova.com. URL <http://www.laboranova.com/> (accessed 5.22.14).
- Levan, S.K., Vickoff, J.-P., 2004. *Travail collaboratif sur Internet : concepts, méthodes et pratiques des plateaux projet*. Vuilbert, Paris, France.
- Li, H., Tian, Y., Cai, Q., 2011. Improvement of semantic similarity algorithm based on WordNet, in: *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011 6th IEEE Conference on*. IEEE, pp. 564–567.
- Li, Y., Wang, J., Li, X., Zhao, W., 2007. Design creativity in product innovation. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 33, 213–222. doi:10.1007/s00170-006-0457-y
- Liikkanen, L.A., Hämmäläinen, M.M., Häggman, A., Björklund, T., Koskinen, M.P., 2011. Quantitative Evaluation of the Effectiveness of Idea Generation in the Wild., in: *HCI (16)*. Springer, pp. 120–129.
- Lin, C.F., Yeh, Y., Hung, Y.H., Chang, R.I., 2013. Data mining for providing a personalized learning path in creativity: An application of decision trees. *Comput. Educ.* 68, 199–210. doi:10.1016/j.compedu.2013.05.009
- Ling, L., Hu, Y., Wang, X., Li, C., 2007. An ontology-based method for knowledge integration in a collaborative design environment. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 34, 843–856. doi:10.1007/s00170-006-0670-8
- Liu, X., Li, Y., Pan, P., Li, W., 2011. Research on computer-aided creative design platform based on creativity model. *Expert Syst. Appl.* 38, 9973–9990. doi:10.1016/j.eswa.2011.02.032

- Long, H., 2014. More than appropriateness and novelty: Judges' criteria of assessing creative products in science tasks. *Think. Ski. Creat.* 13, 183–194. doi:10.1016/j.tsc.2014.05.002
- Lopes, J.S., Alvarez-Napagao, S., Vazquez-Salceda, J., 2009. USE: A concept-based recommendation system to support creative search, in: *Proceedings - 2009 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology - Workshops, WI-IAT Workshops 2009*. IEEE Computer Society, pp. 17–21. doi:10.1109/WI-IAT.2009.220
- Lorenzo, L., Lizarralde, O., Santos, I., Passant, A., 2011. Structuring e-brainstorming to better support innovation processes, in: *Fifth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
- Lorino, P., 2003. *Méthodes et pratiques de la performance: le pilotage par les processus et les compétences*, Editions d'Organisation. ed.
- Lu, C., Laublet, P., Stankovic, M., 2014. Ricochet: Context and Complementarity-Aware, Ontology-based POIs Recommender System., in: *SALAD@ ESWC*. pp. 10–17.
- Lubart, T., 2005. How can computers be partners in the creative process: Classification and commentary on the Special Issue. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 63, 365–369. doi:10.1016/j.ijhcs.2005.04.002
- Lubart, T., 2003. *Psychologie de la créativité*. Armand Colin.
- Lubart, T.I., 2001. Models of the Creative Process: Past, Present and Future. *Creat. Res. J.* 13, 295–308. doi:10.1207/S15326934CRJ1334_07
- Magnusson, P.R., 2009. Exploring the Contributions of Involving Ordinary Users in Ideation of Technology-Based Services. *J. Prod. Innov. Manag.* 26, 578–593. doi:10.1111/j.1540-5885.2009.00684.x
- Magyari-Beck, I., 1999. Creatology, in: *Encyclopedia of Creativity*. pp. 433–441.
- Mangano, N., Hoek, A. van der, 2012. The design and evaluation of a tool to support software designers at the whiteboard. *Autom. Softw. Eng.* 19, 381–421. doi:10.1007/s10515-012-0104-9
- Marion, R., 2012. Leadership of Creativity: Entity-Based, Relational, and Complexity Perspectives, in: Mumford, M.D. (Ed.), *Handbook of Organizational Creativity*. Elsevier, pp. 457–479.
- Martin, B., Hanington, B., Hanington, B.M., 2012. *Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions*. Rockport Publishers.
- Martinez-Gil, J., 2014. An overview of textual semantic similarity measures based on web intelligence. *Artif. Intell. Rev.* 42, 935–943. doi:10.1007/s10462-012-9349-8
- Masson, D., Demeure, A., Calvary, G., 2011. Inspirer, explorer: Magellan, un environnement interactif évolutionnaire pour la génération d'exemples, in: *Proceedings of the 23rd Conference on l'Interaction Homme-Machine*. ACM, p. 22.

- Masson, D., Demeure, A., Calvary, G., 2010. Magellan, an evolutionary system to foster user interface design creativity, in: Proceedings of the 2nd ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems. ACM, pp. 87–92.
- Mayer, R., 1999. Problem Solving, in: Encyclopedia of Creativity. Elsevier, pp. 437–447.
- McCaffrey, T., Spector, L., 2011. Innovation is built on the obscure: innovation-enhancing software for uncovering the obscure, in: Proceedings of the 8th ACM Conference on Creativity and Cognition. ACM, pp. 371–372.
- Micaëlli, J.-P., Fougères, A.-J., 2007. L'évaluation créative, Sciences humaines et technologie. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
- Michael, W.B., 1999. Guilford's View, in: Encyclopedia of Creativity. pp. 785–797.
- Michalko, M., 2006. Thinkertoys, 2nd Edition. ed. Berkeley, California.
- Miller, G.A., 1995. WordNet: A Lexical Database for English. Commun. ACM 38, 39–41.
- Mingshun, L., 2010. Study on students' creative thinking cultivated by open classroom teaching method. Presented at the 2010 International Conference on Education and Management Technology (ICEMT), pp. 376–379. doi:10.1109/ICEMT.2010.5657635
- Miralaei, S., Ghorbani, A.A., 2005. Category-based Similarity Algorithm for Semantic Similarity in Multi-agent Information Sharing Systems. Presented at the International Conference on Intelligent Agent Technology, IEEE, pp. 242–245. doi:10.1109/IAT.2005.50
- Monticolo, D., Gomes, S., Hilaire, V., Serrafiero, P., 2007. Knowledge capitalization process linked to the design process, in: International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). Workshop on Knowledge Management and Organisational Memories, Hyderabad-India, p13.
- Monticolo, D., Mihaita, S., Darwich, H., Hilaire, V., 2014. An Agent-Based System to Build project Memories During Engineering Projects. Knowl.-Based Syst. 88–102.
- Mostert, N.M., 2007. Diversity of the Mind as the Key to Successful Creativity at Unilever. Creat. Innov. Manag. 16, 93–100. doi:10.1111/j.1467-8691.2007.00422.x
- Mouton, C., de Chalendar, G., 2010. JAWS: Just another WordNet subset. Proc TALN'10.
- Mumford, M.D., 2012. Handbook of Organizational Creativity. Elsevier.
- Mumford, M.D., Norris, D.G., 1999. Heuristics, in: Encyclopedia of Creativity. pp. 807–8013.
- Murah, M.Z., Abdullah, Z., Hassan, R., Abu Bakar, M., Mohamed, I., Mohd Amin, H., 2013. Kacang Cerdik: A Conceptual Design of an Idea Management System. Int. Educ. Stud. 6. doi:10.5539/ies.v6n6p178
- Musen, M.A., 2015. The Protégé Project: A Look Back and a Look Forward. AI Matters 1, 4–12. doi:10.1145/2757001.2757003

- Nemery, P., Ishizaka, A., Camargo, M., Morel, L., 2012. Enriching descriptive information in ranking and sorting problems with visualizations techniques. *J. Model. Manag.* 7, 130–147.
- Nemiro, J., 2004. Creativity in virtual teams: Key components for success. Pfeiffer.
- Nemiro, J., Beyerlein, M., Bradley, L., Beyerlein, S., 2008. *The Handbook of high-performance virtual teams : a toolkit for collaborating across boundaries.* Jossey-Bass, San Francisco, CA.
- Nguyen, V.V., Hartmann, D., König, M., 2012. A distributed agent-based approach for simulation-based optimization. *Adv. Eng. Inform.* 26, 814–832. doi:10.1016/j.aei.2012.06.001
- Nonaka, I., Takeuchi, H., 1995. *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation.* Oxford University Press, New York, USA.
- Noy, N.F., McGuinness, D.L., 2001. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology.* Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880.
- Obando Lugo, J., Ochoa, F., Fredy, A., De Duque, R., Isabel, R., Rozo, E., Villada, I., 2010. Enfoque Metodológico Para La Formulación De Un Sistema De Gestión Para La Sostenibilidad En Destinos Turísticos (Methodological Approach for Developing a System of Management for Sustainability in Tourist Destinations)(in Spanish). *Anu. Tur. Soc.* 11, 175–200.
- Ochoa, G., 2008. El turismo: ¿Una nueva bonanza en la Amazonía? *Front. Glob. Localidad Biodivers. Comer.* En *Amaz. Obs. Andino Bogotá* 43–70.
- Ogot, M., Okudan, G.E., 2007. Systematic creativity methods in engineering education: a learning styles perspective. *Int. J. Eng. Educ.* 22, 566–576.
- Oman, S.K., Tumer, I.Y., Wood, K., Seepersad, C., 2013. A comparison of creativity and innovation metrics and sample validation through in-class design projects. *Res. Eng. Des.* 24, 65–92. doi:10.1007/s00163-012-0138-9
- Orono, P.O., Ekwaro-Osire, S., 2006. Impact of Selection of Projects on Pan-Mentoring in Creative Engineering Design. Presented at the *Frontiers in Education Conference, 36th Annual*, pp. 27–34. doi:10.1109/FIE.2006.322623
- Osborn, A.F., 1963. *Applied Imagination; Principles and Procedures of Creative Problem-solving: Principles and Procedures of Creative Problem-solving.* Scribner.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., 2010. *Business Model Generation*, John Wiley & Sons. ed. Hoboken, New Jersey, USA.
- Perkins, D.N., 1994. Creativity: beyond the darwinian paradigm, in: *Dimensions of Creativity.* Margaret A. Boden, Cambridge, p. 249.
- Perkins, D.N., 1988. The possibility of invention, in: *The Nature of Creativity: Contemporary Psychological Perspectives.* Robert J. Sternberg, Cambridge, p. 455.

- Pham, C.C., Durupt, A., Matta, N., Eynard, B., 2016. Knowledge Sharing Using Ontology Graph-Based: Application in PLM and Bio-Imaging Contexts, in: Bouras, A., Eynard, B., Foufou, S., Thoben, K.-D. (Eds.), *Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things*. Springer International Publishing, Cham, pp. 238–247.
- Piffer, D., 2012. Can creativity be measured? An attempt to clarify the notion of creativity and general directions for future research. *Think. Ski. Creat.* 7, 258–264. doi:10.1016/j.tsc.2012.04.009
- Piller, F.T., Walcher, D., 2006. Toolkits for idea competitions: a novel method to integrate users in new product development. *RD Manag.* 36, 307–318. doi:10.1111/j.1467-9310.2006.00432.x
- Pisano, G.P., Verganti, R., 2008. Which king of collaboration is good for you? *Harv. Bus. Rev.* December, 78–86.
- Platt, M., 2007. Web 2.0 in the Enterprise. *Architecture J.* 12, 2–6.
- Poetz, M.K., Schreier, M., 2012. The Value of Crowdsourcing: Can Users Really Compete with Professionals in Generating New Product Ideas?: The Value of Crowdsourcing. *J. Prod. Innov. Manag.* 29, 245–256. doi:10.1111/j.1540-5885.2011.00893.x
- Preece, A., Hui, K., Gray, A., Marti, P., Bench-Capon, T., Jones, D., Cui, Z., 2000. The KRAFT architecture for knowledge fusion and transformation. *Knowl.-Based Syst.* 13, 113–120.
- Puccio, G.J., Cabra, J.F., 2012. Chapter 9 - Idea Generation and Idea Evaluation: Cognitive Skills and Deliberate Practices, in: Michael D. Mumford (Ed.), *Handbook of Organizational Creativity*. Academic Press, San Diego, pp. 189–215.
- Ray, D.K., Romano Jr, N.C., 2013. Creative Problem Solving in GSS Groups: Do Creative Styles Matter? *Group Decis. Negot.* 22, 1129–1157. doi:10.1007/s10726-012-9309-3
- RDF Working Group, 2014. RDF 1.1 Primer [WWW Document]. W3C Work. Group Note. URL <https://www.w3.org/TR/rdf11-primer/>
- Reinhardt, M., Wiener, M., Friess, M.R., Groh, G., Amberg, M., 2012. Social Software Support for Collaborative Innovation Development within Organizations. *Int. J. Knowl.-Based Organ.* 2, 56–76. doi:10.4018/ijkbo.2012010104
- Reinig, B.A., Briggs, R.O., 2006. Measuring the quality of ideation technology and techniques, in: *System Sciences, 2006. HICSS'06. Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on. IEEE*, pp. 20–20.
- Rejeb, H.B., Morel-Guimarães, L., Boly, V., Assiélou, N.G., 2008. Measuring innovation best practices: Improvement of an innovation index integrating threshold and synergy effects. *Technovation* 28, 838–854. doi:10.1016/j.technovation.2008.08.005
- Renaud, J., Levrat, E., Fonteix, C., 2008. Weights determination of OWA operators by parametric identification. *Math. Comput. Simul.* 77, 499–511. doi:10.1016/j.matcom.2007.11.024
- Resnik, P., 1995. Using information content to evaluate semantic similarity in a taxonomy. *ArXiv Prepr. Cmp-Lg9511007*.

- Riedl, C., Blohm, I., Leimeister, J.M., Krcmar, H., 2010. Rating scales for collective intelligence in innovation communities: Why quick and easy decision making does not get it right.
- Riedl, C., May, N., Finzen, J., Stathel, S., Kaufman, V., Krcmar, H., 2009. An Idea Ontology for Innovation Management. *Int. J. Semantic Web Inf. Syst.* 5, 1–18.
- Robertson, S., 2010. The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond. *Found. Trends® Inf. Retr.* 3, 333–389. doi:10.1561/1500000019
- Rodriguez, S., Gaud, N., Hilaire, V., Galland, S., Koukam, A., 2006. An analysis and design concept for self-organization in holonic multi-agent systems, in: *Engineering Self-Organising Systems*. Springer, pp. 15–27.
- Roy, B., Słowiński, R., 2013. Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. *EURO J. Decis. Process.* 1, 69–97. doi:10.1007/s40070-013-0004-7
- Rumbaugh, J., Jacobson, I., Booch, G., 2004. *The Unified Modeling Language Reference Manual, 2nd Edition*. ed. Pearson Higher Education.
- Saadoun, M., 1996. *Le projet groupware*. Eyrolles.
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* 1, 83–98.
- Salerno, M.S., Gomes, L.A. de V., Silva, D.O. da, Bagno, R.B., Freitas, S.L.T.U., 2015. Innovation processes: Which process for which project? *Technovation* 35, 59–70. doi:10.1016/j.technovation.2014.07.012
- Sawyer, K., 2012. *Explaining Creativity: the Science of the Human Innovation.*, second edition. ed. Oxford University Press, New York, USA.
- Schmidt, K., 1991. Cooperative Work: A Conceptual Framework., in: *Distributer Decision Making: Cognitive Models for Cooperative WORks.* . Rasmussen, B. Brehmer and J. Leplat, pp. 75–110.
- Schmitt, L., Buisine, S., Chaboissier, J., Aoussat, A., Vernier, F., 2012. Dynamic tabletop interfaces for increasing creativity. *Comput. Hum. Behav.* 28, 1892–1901. doi:10.1016/j.chb.2012.05.007
- Seidel, S., 2011. Toward a theory of managing creativity-intensive processes: a creative industries study. *Inf. Syst. E-Bus. Manag.* 9, 407–446. doi:10.1007/s10257-009-0123-7
- Setchi, R., Bouchard, C., 2010. In search of design inspiration: A semantic-based approach. *J. Comput. Inf. Sci. Eng.* 10. doi:10.1115/1.3482061
- Sichman, J.S., 1995. *Du Raisonnement Social Chez les Agents: Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance*. Institut national polytechnique de Grenoble, Grenoble, FRANCE.
- Sielis, G.A., Tzanavari, A., Kakousis, C., Paspallis, N., Papadopoulos, G., 2009a. idSpace D3. 2–Definition and Implementation of the Concep-tual Model for Context Awareness in idSpace v1 (No. 3.2).

Sielis, G.A., Tzanavari, A., Papadopoulos, G.A., 2009b. Enhancing the creativity process by adding context awareness in creativity support tools, in: *Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services*. Springer, pp. 424–433.

Sirin, E., Parsia, B., Grau, B.C., Kalyanpur, A., Katz, Y., 2007. Pellet: A practical owl-dl reasoner. *Web Semant. Sci. Serv. Agents World Wide Web* 5, 51–53.

Sorli, M., Stokic, D., 2009. *Innovating in Product/Process Development*. Springer, London.

Stankovic, M., 2010. Open innovation and semantic web: Problem solver search on linked data, in: *Proceedings of International Semantic Web Conference (ISWC) 7th-11th November, Shanghai, China*. Citeseer.

Sternberg, R.J., 2006. The nature of creativity. *Creat. Res. J.* 18, 87–98.

Sternberg, R.J., 2005. Creativity or creativities? *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 63, 370–382. doi:10.1016/j.ijhcs.2005.04.003

Streitz, N.A., Geissler, J., Holmer, T., Konomi, S. 'ichi, Müller-Tomfelde, C., Reischl, W., Rexroth, P., Seitz, P., Steinmetz, R., 1999. i-LAND: an interactive landscape for creativity and innovation, in: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, pp. 120–127.

Strzalecki, A., 2000. Creativity in Design: General Model and Its Verification. *Technol. Forecast. Soc. Change* 64, 241–260. doi:10.1016/S0040-1625(00)00077-9

Sugimoto, M., Hosoi, K., Hashizume, H., 2004. Caretta: a system for supporting face-to-face collaboration by integrating personal and shared spaces, in: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, pp. 41–48.

Sun, G., Yao, S., 2012. Investigating the Relation between Cognitive Load and Creativity in the Conceptual Design Process. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 56, 308–312. doi:10.1177/1071181312561072

Sundholm, H., Artman, H., Ramberg, R., 2004. Backdoor Creativity: Collaborative Creativity in Technology Supported Teams., in: *Cooperative Systems Design*. pp. 99–114.

Taggar, S., 2002. Individual Creativity and Group Ability to Utilize Individual Creative Resources: A Multilevel Model. *Acad. Manage. J.* 45, 315–330.

Taggar, S., 2001. Group Composition, Creative Synergy, and Group Performance. *J. Creat. Behav.* 35, 261–286.

Tan, M., Tripathi, N., Zuiker, S.J., Soon, S.H., 2010. Building an online collaborative platform to advance creativity. pp. 421–426.

ThinkTank [WWW Document], n.d. . ThinkTank Collab. Process Softw. URL <http://www.groupsystems.com/>

Tidd, J., Bessant, J., 2009. *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change*, 4th ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

- Tidd, J., Bessant, J., Pavitt, K., 2005. *Managing innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*, Third Edition. ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Tisseyre, R.-C., 1999. *Knowledge management: théorie et pratique de la gestion des connaissances*. Hermès science publications.
- Tiun, S., Abdullah, R., Kong, T.E., 2001. Automatic Topic Identification Using Ontology Hierarchy. *Comput. Linguist. Intell. Text Process.* pp 444-453. doi:10.1007/3-540-44686-9_43
- Tweedale, J., Ichalkaranje, N., Sioutis, C., Jarvis, B., Consoli, A., Phillips-Wren, G., 2007. Innovations in multi-agent systems. *J. Netw. Comput. Appl.* 30, 1089–1115. doi:10.1016/j.jnca.2006.04.005
- Ulmer, J.-S., 2011. *Approche générique pour la modélisation et l'implémentation des processus*.
- Uschold, M., Gruninger, M., 1996. Ontologies: Principles, methods and applications. *Knowl. Eng. Rev.* 11, 93–136.
- Vailly, A., Simon, M.A., 1987. Des systèmes experts coopérants, pourquoi, Comment? *Cognitiva* 183–188.
- van Dam, K.H., Nikolic, I., Likso, Z., 2013. *Agent-based modelling of socio-technical systems*. Springer.
- van Dijk, J., Vos, G.W., 2011. Traces in creative spaces. *ACM*, pp. 91–94.
- Van Elst, L., Dignum, V., Abecker, A., 2004. Towards agent-mediated knowledge management, in: *Agent-Mediated Knowledge Management*. Springer, pp. 1–30.
- VanGundy, A.B., 2008. *101 Activities for Teaching Creativity and Problem Solving*. John Wiley & Sons.
- Vattam, S., Wiltgen, B., Helms, M., Goel, A.K., Yen, J., 2011. DANE: fostering creativity in and through biologically inspired design, in: *Design Creativity 2010*. Springer, pp. 115–122.
- Verhaegen, P.-A., Vandevenne, D., Peeters, J., Duflou, J.R., 2013. Refinements to the variety metric for idea evaluation. *Des. Stud.* 34, 243–263. doi:10.1016/j.destud.2012.08.003
- Vernadat, F., 2002. UEML: Towards a unified enterprise modelling language. *Int. J. Prod. Res.* 40, 4309–4321. doi:10.1080/00207540210159626
- Victorri, B., 1989. Modélisation et intelligence artificielle, in: *La modélisation : aspects pratiques et méthodologie*. Presented at the Séminfor, Perrier Edith (ed.), Couty Philippe (ed.), Iris Jean-Marc (ed.), Renaud Pascal (ed.), Pichon Gaston (ed.), Mullon Christian (ed.), Montpellier, France, pp. 335–341.
- Viriyayudhakorn, K., Kunifuji, S., 2013. Automatic topic identification for idea summarization in idea visualization programs. *IEICE Trans. Inf. Syst.* E96–D, 64–72. doi:10.1587/transinf.E96.D.64
- W3C OWL Working Group, 2012. *OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition) [WWW Document]*. URL (accessed 9.13.16).
- W3C SPARQL Working Group, 2013. *SPARQL 1.1 Overview [WWW Document]*. URL (accessed 9.13.16).

- Wagner, G., 2003. The Agent–Object-Relationship metamodel: towards a unified view of state and behavior. *Inf. Syst.* 28, 475–504.
- Wang, E., 2001. Teaching freshmen design, creativity and programming with LEGOs and Labview. Presented at the Frontiers in Education Conference, 2001. 31st Annual, p. F3G–11–15 vol.3. doi:10.1109/FIE.2001.963943
- Wang, H.-C., Cosley, D., Fussell, S.R., 2010. Idea Expander: Supporting group brainstorming with conversationally triggered visual thinking stimuli. *ACM*, pp. 103–106.
- Ward, T.B., 2012. Chapter 8 - Problem Solving, in: Michael D. Mumford (Ed.), *Handbook of Organizational Creativity*. Academic Press, San Diego, pp. 169–187.
- Warr, A., O’Neill, E., 2007. Tool support for creativity using externalizations, in: *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI Conference on Creativity & Cognition*. ACM, pp. 127–136.
- Warr, A., O’Neill, E., 2005. Understanding design as a social creative process, in: *Proceedings of the 5th Conference on Creativity & Cognition*. ACM, pp. 118–127.
- Weiß, G., 1999. *Mutiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press.
- West, M.A., Rickards, T., 1999. Innovation, in: *Encyclopedia of Creativity*. Academic Press, pp. 45–55.
- West, M.A., Sacramento, C.A., 2012. Creativity and Innovation: The Role of Team and Organizational Climate, in: *Handbook of Organizational Creativity*. Michael D. Mumford, pp. 359–385.
- Westerski, A., 2013. *Semantic Technologies in Idea Management Systems: A Model for Interoperability, Linking and Filtering*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicacion.
- Wierzbicki, A.P., Nakamori, Y., 2005. Knowledge Creation and Integration: Creative Space and Creative Environments, in: *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2005. HICSS '05*. Presented at the Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2005. HICSS '05, pp. 1–10. doi:10.1109/HICSS.2005.370
- Wooldridge, M., Jennings, N.R., 1995. Intelligent agents: theory and practice. *Knowl. Eng. Rev.* 10, 115. doi:10.1017/S0269888900008122
- Wooldridge, M., Jennings, N.R., Kinny, D., 2000. The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design. *Auton. Agents Multi-Agent Syst.* 3, 285–312.
- Yuan, M., 2008. An Automatic Classification Approach to Idea Organization in Group Support Systems.
- Yuan, S.-T., Chen, Y.-C., 2008. Semantic Ideation Learning for Agent-Based E-Brainstorming. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* 20, 261–275. doi:10.1109/TKDE.2007.190687
- Zacklad, M., Grundstein, M., 2001. *Ingénierie et capitalisation des connaissances*, Hermes science publications. ed. Paris.

Zanni-Merk, C., Cavallucci, D., Rousselot, F., 2009. An ontological basis for computer aided innovation. *Comput. Ind.* 60.

Zeng, L., Proctor, R.W., Salvendy, G., 2011. Can Traditional Divergent Thinking Tests Be Trusted in Measuring and Predicting Real-World Creativity? *Creat. Res. J.* 23, 24–37. doi:10.1080/10400419.2011.545713

Zhang, W., Qin, Z., 2011. Clustering data and imprecise concepts, in: *Fuzzy Systems (FUZZ), 2011 IEEE International Conference on.* IEEE, pp. 603–608.

Zomahoun, D.E., 2015. *Emergsem : une approche d’annotation collaborative et de recherche d’images basée sur les sémantiques émergentes.* Université de Bourgogne.

Annexes

Annexe A

Etat de l'art des systèmes supports à la créativité

Références	Nom d'application	Equipement	Collectif/ Individuel	Collaboratif	Collaboration dispersée	Phase couverte	Nature of the assistance
(Brocco et al., 2011)	360°	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation	IT systems to support open creativity
(ERPI, n.d.)	48h Innovation Maker	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation	Collect the ideas of different teams that are working on the same subject.
(McCaffrey and Spector, 2011)	Innovation assistant	Computer software	Individuel	Non	Non	Analyse du problème, idéation, évaluation	Define the subject by redefining techniques, analyse the unexplored features of a solution
(Brade et al., 2011)	BrainDump	Computer software	Individuel	Non	Non	Analyse du problème, idéation, évaluation	Information gathering and organizing (cluster)
(Gutwein, 2013; Hilliges et al., 2007)	BrainStorm	Interactive table, wall display	Collectif	Oui	Non	Idéation, évaluation	Support co-located collaborative creativity
(Liu et al., 2011)	CACDP	Computer software	Individuel	Non	Non	Analyse du problème, évaluation	Requirements analysis, design problem analysis, design problem solving, solutions management
(Mangano and Hoek, 2012)	Calico	Interactive whiteboard	Collectif	Oui	Non	Analyse du problème, idéation	Support designers sketching on the interactive whiteboard
(Warr and O'Neill, 2005; Sugimoto et al., 2004)	Caretta	Sensing board (interacts with physical objects), projector, and PDA	Collectif	Oui	Non	Idéation	Integrate personal and shared spaces to support face-to-face collaboration
(Bellandi et al., 2012)	Catalyst for Collaborative Innovation (C4CI)	Web service	Collectif	Oui	Oui	Idéation	Pervasive, intelligent environment that can proactively stimulate collaboration between innovation team members
(CogniStreamer, n.d.)	CogniStreamer	Web service, computer software	Individuel	Oui	Oui	Analyse du problème, idéation, évaluation	Support the idea management process, stimulate collective creative minds
(Bhagwatwar et al., 2013)	Creative virtual environment	Computer software	Individuel	Oui	Oui	Idéation	Immersive environment to interact with remotely located persons and brainstorm
(Vattam et al., 2011)	Dane	Web service	Individuel	Non	Non	Analyse du problème, idéation	Interactive knowledge-based design environment, provides access to a design case library containing Structure-Behaviour-Function (SBF) models of biological and engineering systems
(Schmitt et al., 2012; Buisine et al., 2012)	DiamonSpin	Tabletop	Collectif	Oui	Non	Idéation	Graphical interface to support brainwriting and mindmapping
(Warr and O'Neill, 2005)	Envisionment and Discovery Collaboratory	Interactive tabletop, physical object, ultrasonic sketching tools	Collectif	Oui	Non	Analyse du problème, idéation	Support social creativity by creating shared understanding among various stakeholders, contextualizing information to the task at hand, and creating objects-to-think-with in collaborative design activities
(Clayphan et al., 2011; Gutwein, 2013)	Firestorm	Tabletop	Collectif	Oui	Non	Idéation, évaluation	Tabletop computer interface has the potential to support idea generation by a group using the brainstorming technique

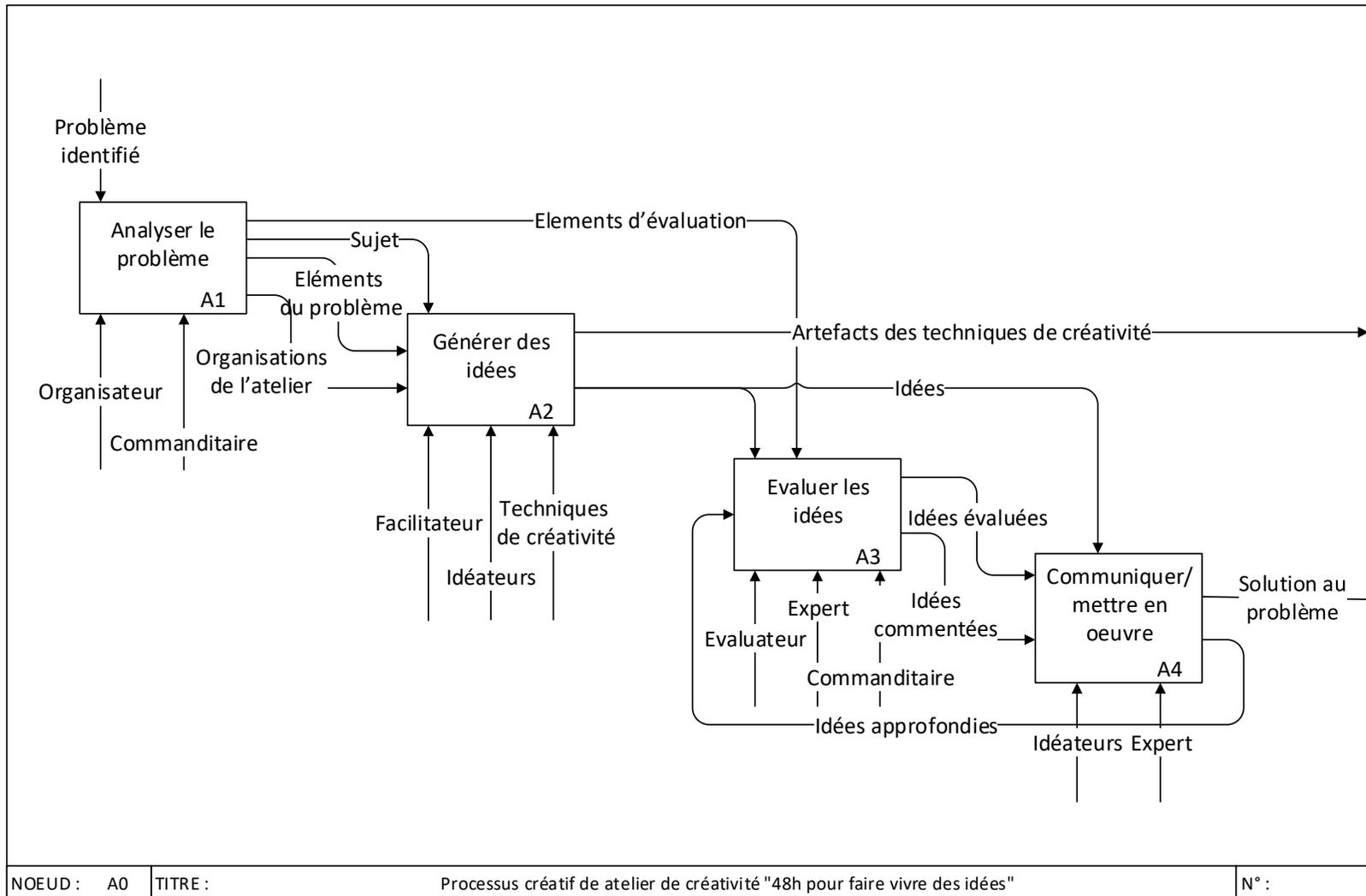
Références	Nom d'application	Equipement	Collectif/ Individuel	Collaboratif	Collaboration dispersée	Phase couverte	Nature of the assistance
(Gutwein, 2013)	GADjet	Tabletop	Collectif	Oui	Non	Idéation	Interactive meeting table based on a multitouch surface which should transfer the technological advantages of a normal working place to the working area of a whole group
(Hao Wang and Ohsawa, 2013)	Galaxy + ideaGraph	Computer software	Individuel	Non	Non	Idéation	Support the dynamic process of idea discovery
(Westerski, 2013)	Gi2MO	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation, évaluation	Set up Semantic Web technologies in the environment of Idea Management Systems
(ThinkTank, n.d.; Yuan, 2008)	ThinkTank	Web service, complete digital environment	Collectif	Oui	Oui	Idéation, évaluation	Collaborative structure for the way people work together; transform process performance and create culture of innovation and engagement
(S. Jones et al., 2011)	Ide Rummet (the idea room)	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation	Asynchronous distributed collaborative idea generation platform
(Wang et al., 2010)	Idea Expander	Computer software	Individuel	Oui	Oui	Idéation	Tool to support group brainstorming by intelligently selecting pictorial stimuli based on the group's conversation
(Huang et al., 2007)	Idea Storming Cube	Web service	Collectif	Oui	Oui	Idéation	Game-based collaborative creativity support system to support creative thinking and help a user form a perspective-shift thinking habit
(Chakrabarti et al., 2005)	Idea-Inspire	Computer software	Individuel	Non	Non	Analyse du problème, idéation	Software for automated analogical search of relevant ideas from the databases to solve a given problem
(Forster et al., 2010)	IdeaStream	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation	Chat communication on computer-supported idea generation processes
(Geyer et al., 2011 ; Geyer et al., 2012)	IdeaVis	Custom tabletop, wall display, Anoto digital pen	Collectif	Oui	Non	Idéation	Novel approach for supporting co-located sketching sessions
(Streitz et al., 1999; Warr and O'Neill, 2005 ; Warr and O'Neill, 2007)	i-Land	Augmented object, interactive wall, interactive tabletop, computer chair	Collectif	Oui	Oui	Analyse du problème, idéation, évaluation	An interactive landscape for creativity and innovation
(Gutwein, 2013; Sundholm et al., 2004)	iLounge	Interactive whiteboard, tabletop, computer software	Collectif	Oui	Oui	Analyse du problème, idéation	Support co-located collaborative work
(Bellandi et al., 2012)	PIT Idea Management Software	Computer software, web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation	Built-in social intelligence ensures that all relevant knowledge within the organization is captured to create great ideas
(Welisten Business Solutions, n.d.; Bellandi et al., 2012)	InnovationCast	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation, évaluation, implémentation	Pose challenges, capture and evolve ideas and work collaboratively on opportunities and projects, to translate investments in innovation into value
(Gutwein, 2013; A. Jones et al., 2011)	iRoom	Interactive whiteboard, tabletop, computer software	Collectif	Oui	Non	Idéation	Create a collaborative environment for complete civil engineering teams

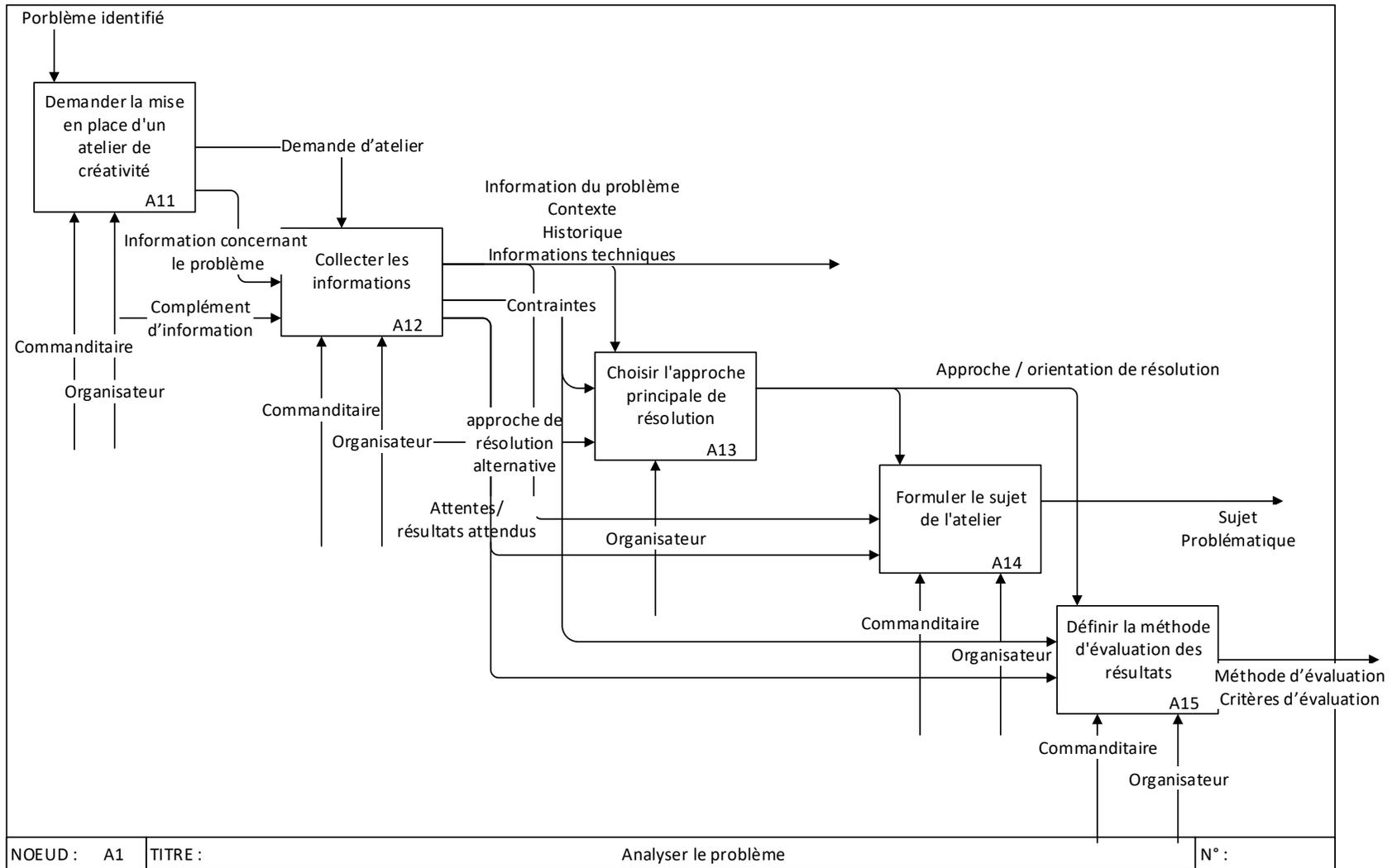
Références	Nom d'application	Equipement	Collectif/ Individuel	Collaboratif	Collaboration dispersée	Phase couverte	Nature of the assistance
(BIBA, n.d.)	Laboranova	Web service	Individuel	Oui	Oui	Analyse du problème, idéation, évaluation	Team building, information gathering, idea formalization, evaluation
(Masson et al., 2010 ; Masson et al., 2011)	Magellan	Computer software	Individuel	Non	Non	Idéation	Stimulating creativity by suggesting solution to a problem of user interface designing with Interactive genetic algorithm
(Gardoni et al., 2005)	MICA-graph	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation	Graphical formalization of the idea (prototype)
(Herrmann and Nolte, 2010)	ModLab + SeeMe	Interactive tabletop, web service, smartphone	Individuel & Collectif	Oui	Non	Idéation, évaluation	Special facilitation collaboratory (ModLab) where laptops and a large interactive screen can be linked to produce collaborative modelling
(Gutwein, 2013; Bao et al., 2010)	Momentum	Web service	Individuel	Oui	Oui	Analyse du problème	Tool that elicits topic-oriented responses prior to a group brainstorming session
(Friess et al., 2012)	N/A	Tabletop, web service, smart phone	Individuel & Collectif	Oui	Non	Idéation, évaluation	Generic model for creativity-technique-based problem-solving processes and discussions (group), collaboration and interaction on multi-touch tabletop displays
(PatentInspiration, n.d.)	PatentInspiration	Web service	Individuel	Non	Non	Analyse du problème, idéation	Intelligent data mining tool to leverage the creative performance of engineers and innovation managers
(Hartmann et al., 2010)	Pictionaire	Interactive tabletop	Collectif	Oui	Non	Idéation	An interactive tabletop system that enhances creative collaboration across physical and digital artefacts. It offers capture, retrieval, annotation and collection of visual material
(Yuan and Chen, 2008)	SILA + CBDS	Computer software	Individuel	Oui	Oui	Idéation, évaluation	Environment where an inference mechanism of a Semantic Ideation Learning Agent (SILA) that performs idea associations and generation can learn and share knowledge
(A. Jones et al., 2011)	TATIN	Interactive whiteboard, tabletop	Collectif	Oui	Non	Idéation	Increase the creativity of brainstorming meetings, and help make the group's output more effective
(A. Jones et al., 2011)	Tatin-Pic	Interactive whiteboard, tabletop, smartphone, web service	Individuel & Collectif	Oui	Oui	Idéation	A multi-modal collaborative work environment for teams performing preliminary design
(Hailpern et al., 2007)	TeamStorm	Tablet PC, wall display	Individuel & Collectif	Oui	Non	Idéation	Collaborate by providing mechanisms to integrate tablet- or PC-based input on a large display in front of a group of designers
(van Dijk and Vos, 2011)	Traces	Interactive floor	Collectif	Oui	Non	Idéation	Save the 'traces' (intermediate artefacts) of creativity, build a consensus/common imaginary between participants
(Setchi and Bouchard, 2010)	TRENDS	Computer software	Individuel	Non	Non	Idéation	Software tool that supports the inspirational stage of design by providing various sources of inspiration

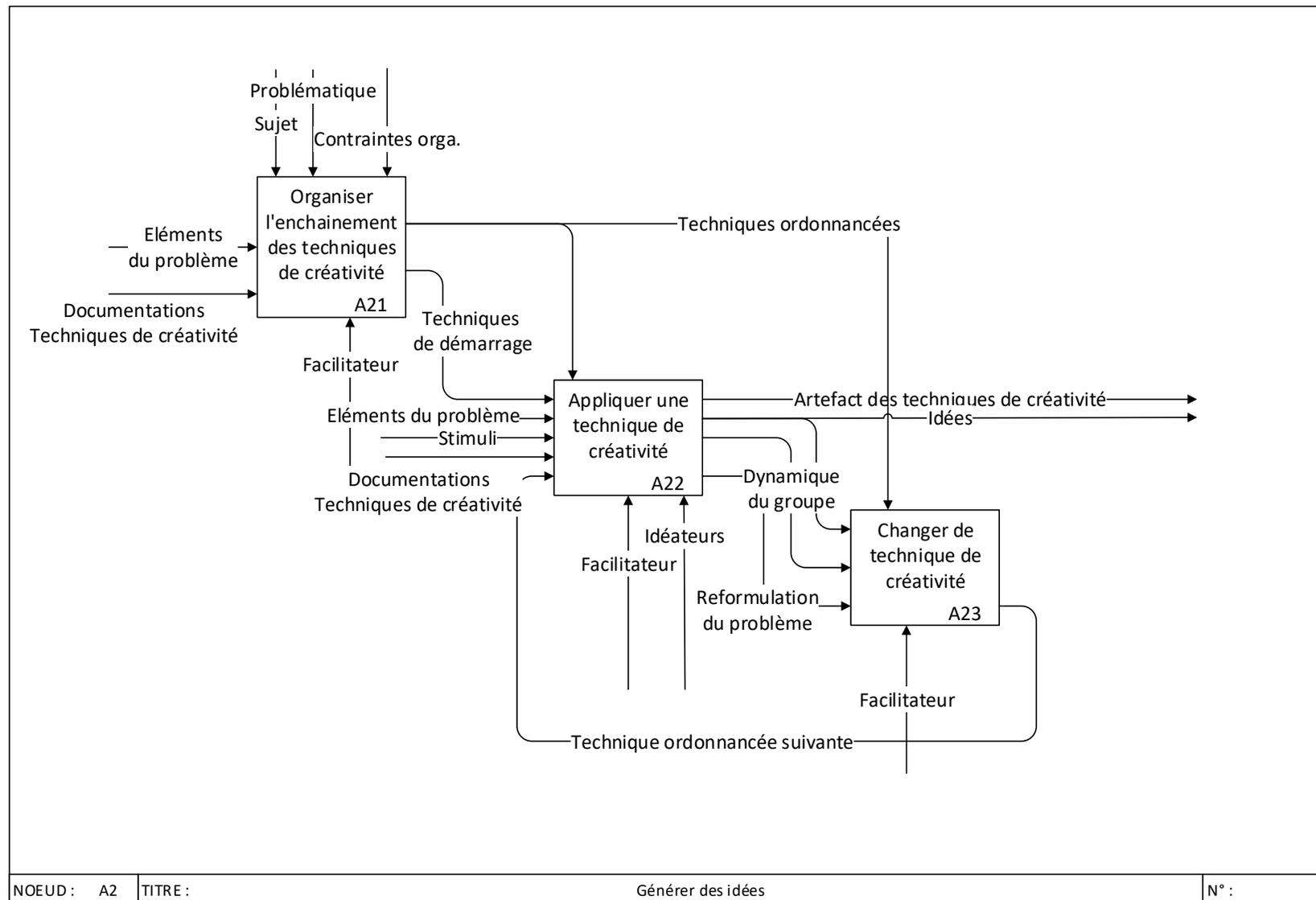
Références	Nom d'application	Equipement	Collectif/ Individuel	Collaboratif	Collaboration dispersée	Phase couverte	Nature of the assistance
(Zanni-Merk et al., 2009)	TRIZAcquisition	Computer software	Individuel	Non	Non	Analyse du problème	Assistance with elementary knowledge acquisition, problem formulation, knowledge structuring or problem reformulation
(Lopes et al., 2009)	USE (Uplift Seek Engine)	Web service	Individuel	Non	Non	Idéation	System that can lead creative professionals on an individual brainstorm by using images to relate semantic concepts
(Alvarez and Su, 2012)	Virtual Reality Mechanism Design Studio (VRMDS)	Virtual reality and computer software	Individuel	Non	Non	Idéation	Rapid 3D modelling and prototyping
(Tan et al., 2010)	VisuaPedia	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation	Generate and collect data on creativity, knowledge contribution and sharing as well as the context in which people network to build their social capital
(Ardaiz-Villanueva et al., 2011)	Wikideas + creativity connector	Web service	Individuel	Oui	Oui	Idéation, évaluation	Enhance creative skills, especially the generation of ideas and originality in university students
(Gutwein, 2013)	WordPLay	Tabletop	Collectif	Oui	Non	Idéation	Interactive tabletop platform for finding and organizing ideas in a group.

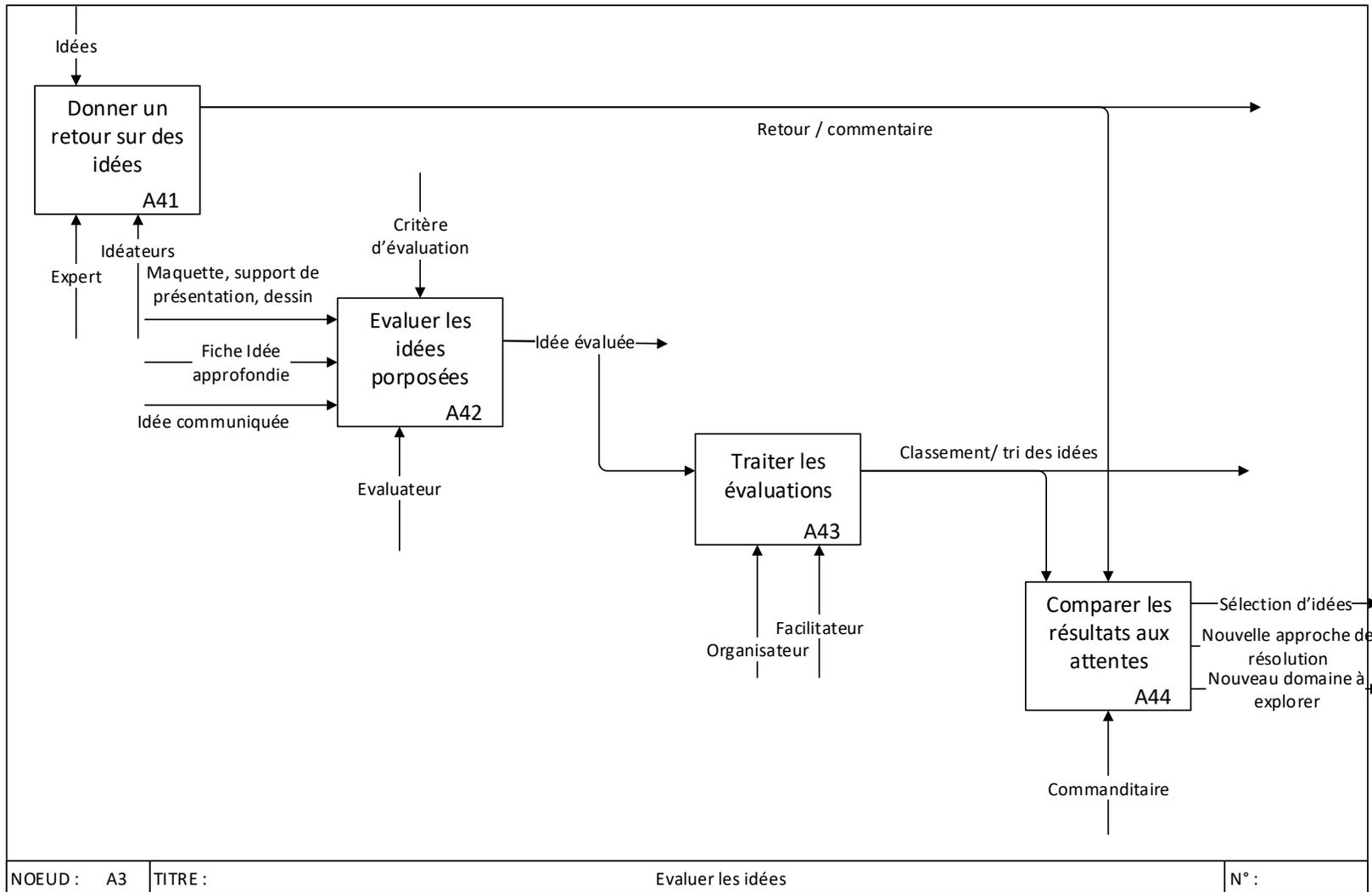
Annexe B

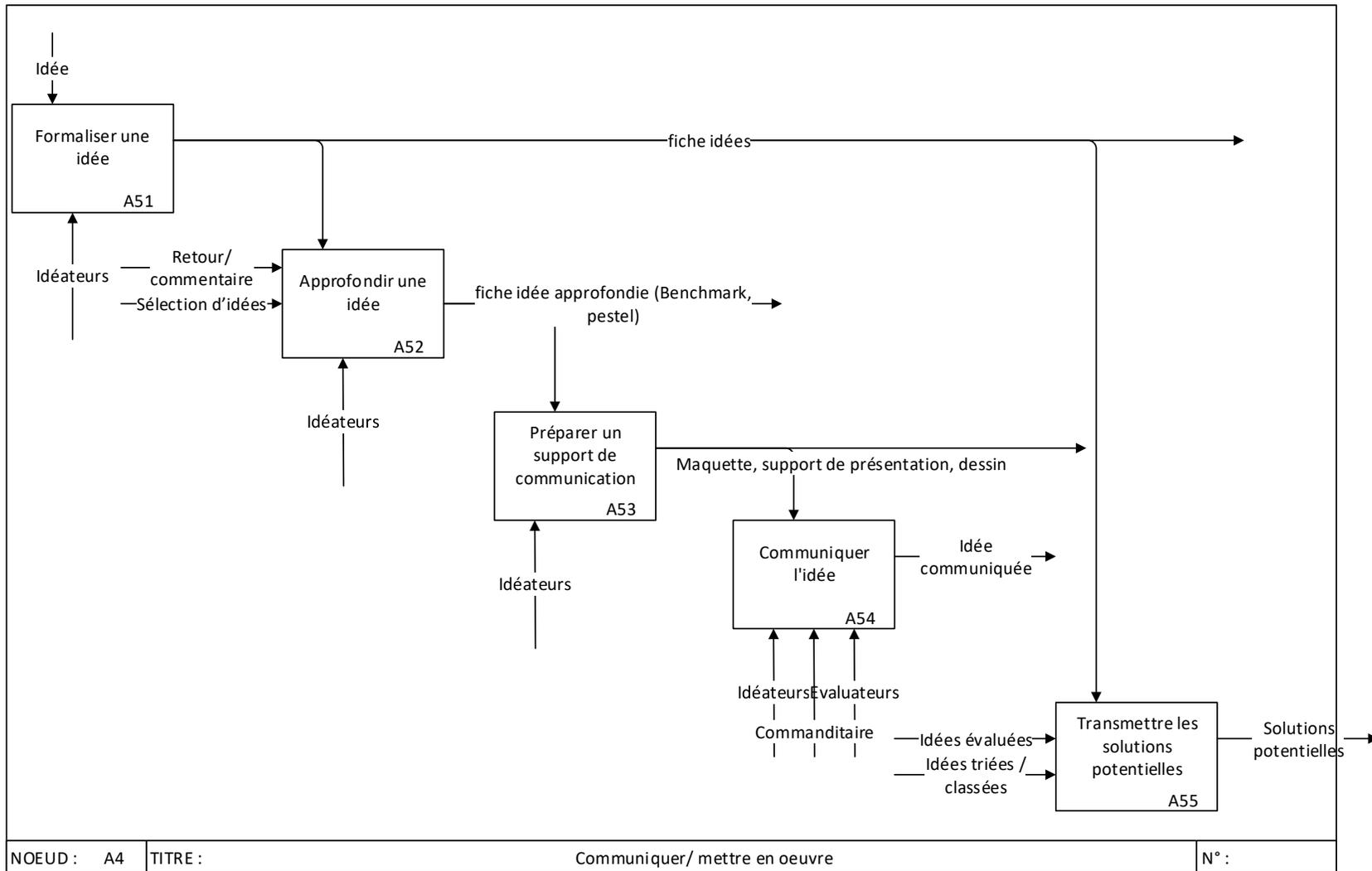
Modélisation du processus de créativité







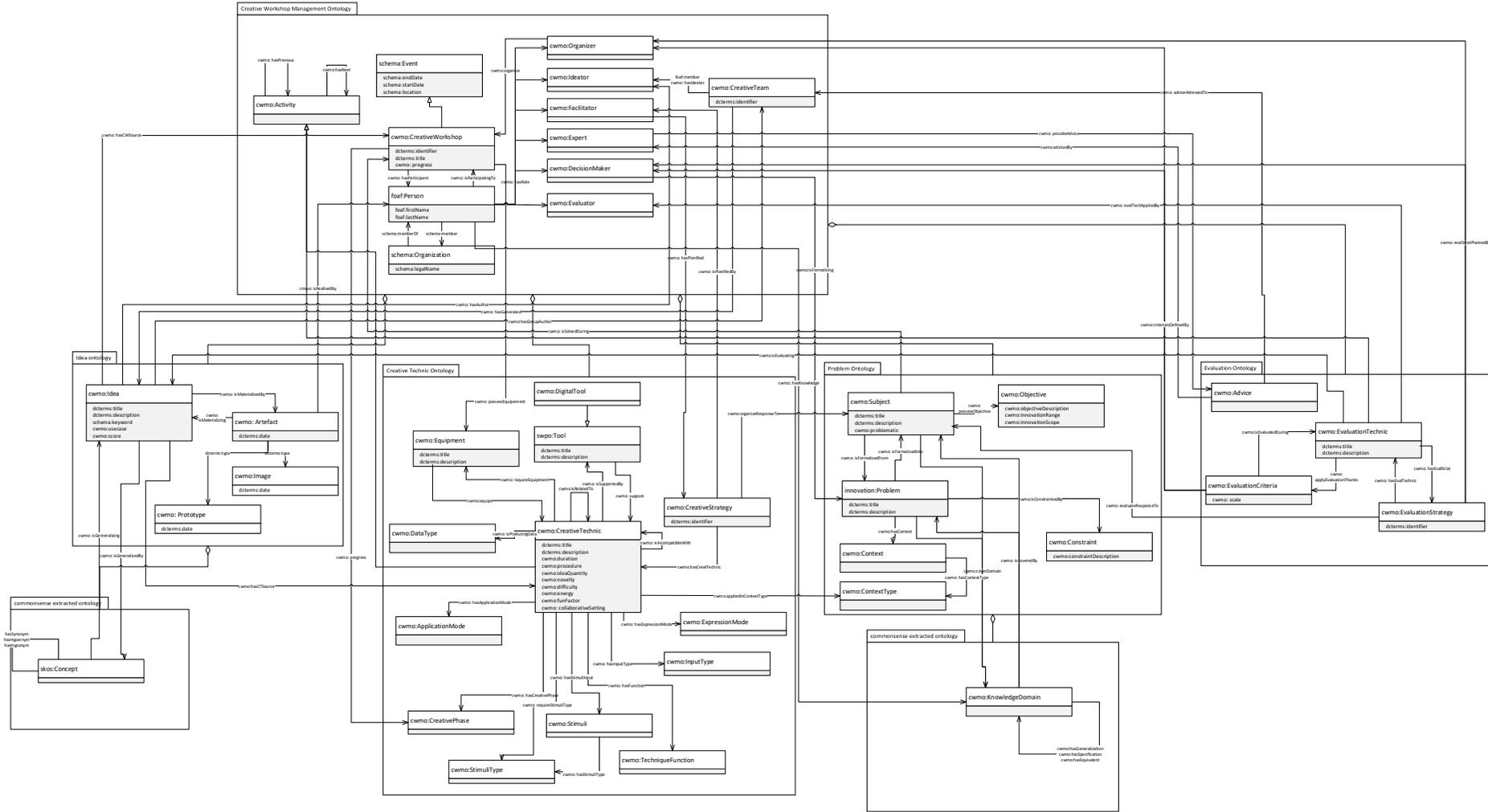




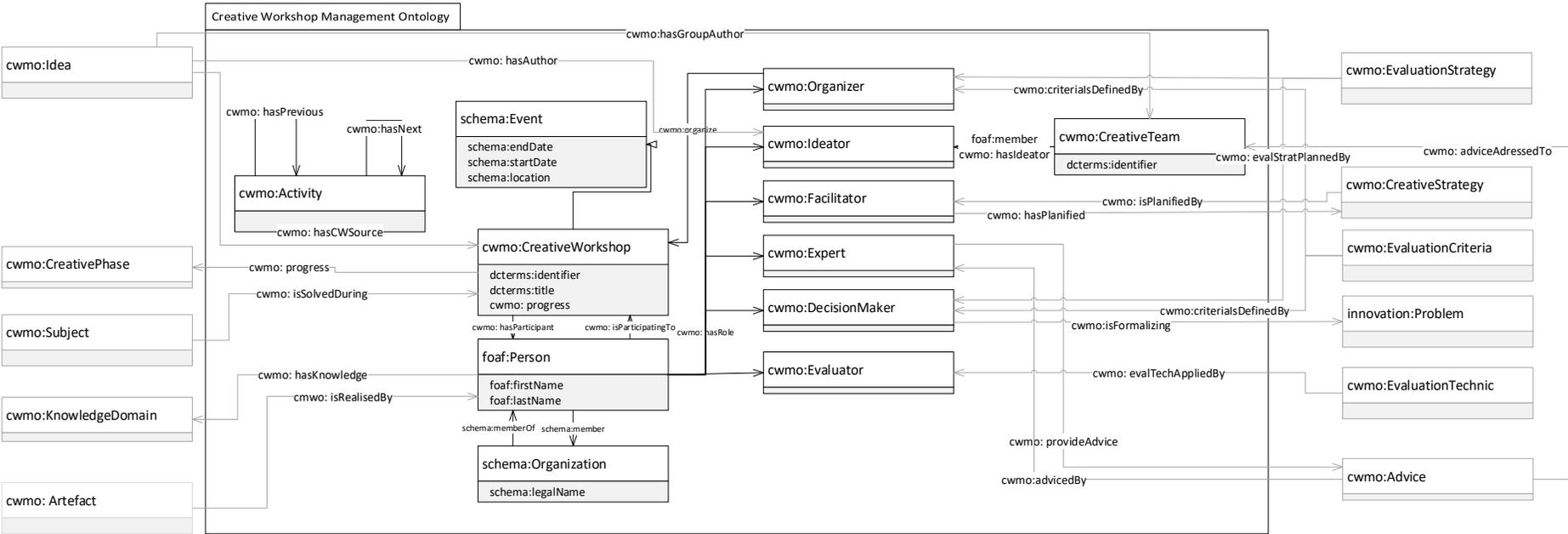
Annexe C

Représentation de l'ontologie CWMO

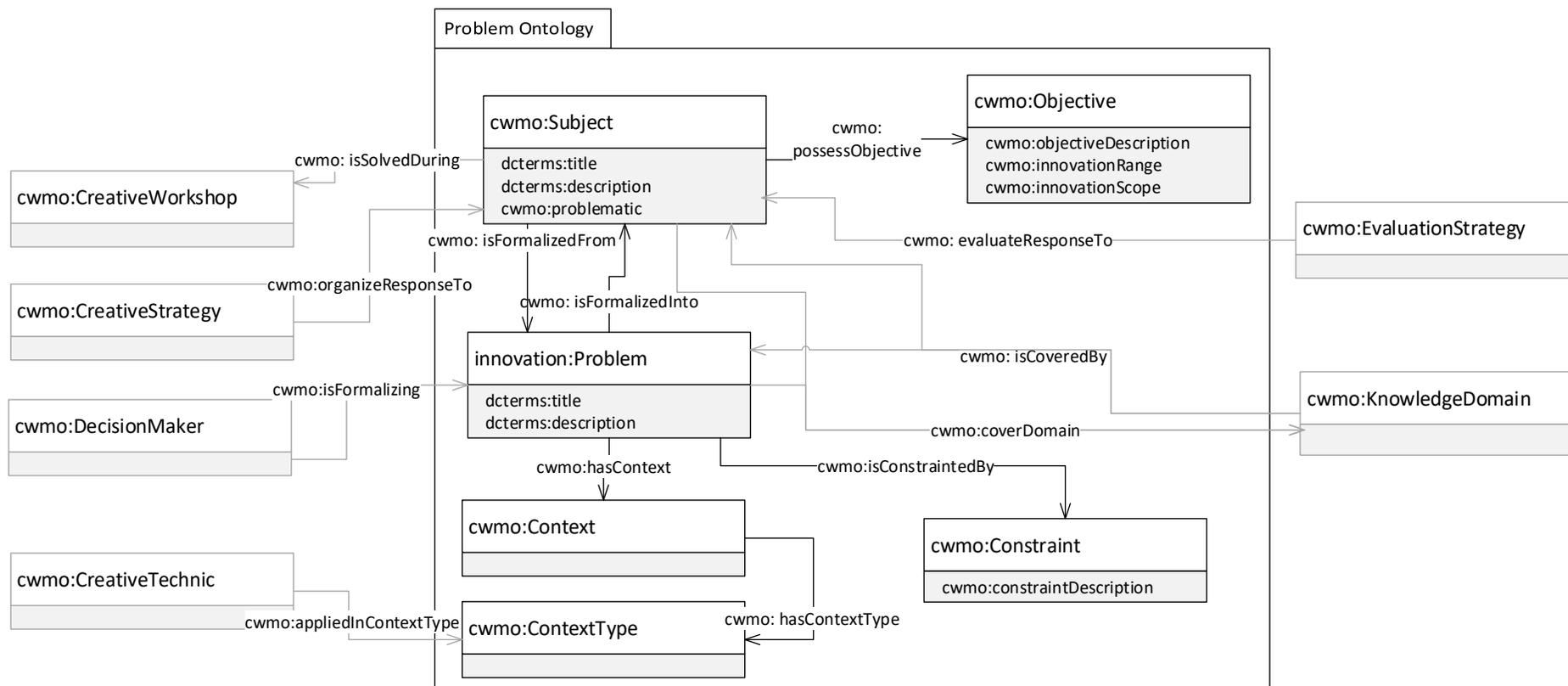
Représentation globale de l'ontologie



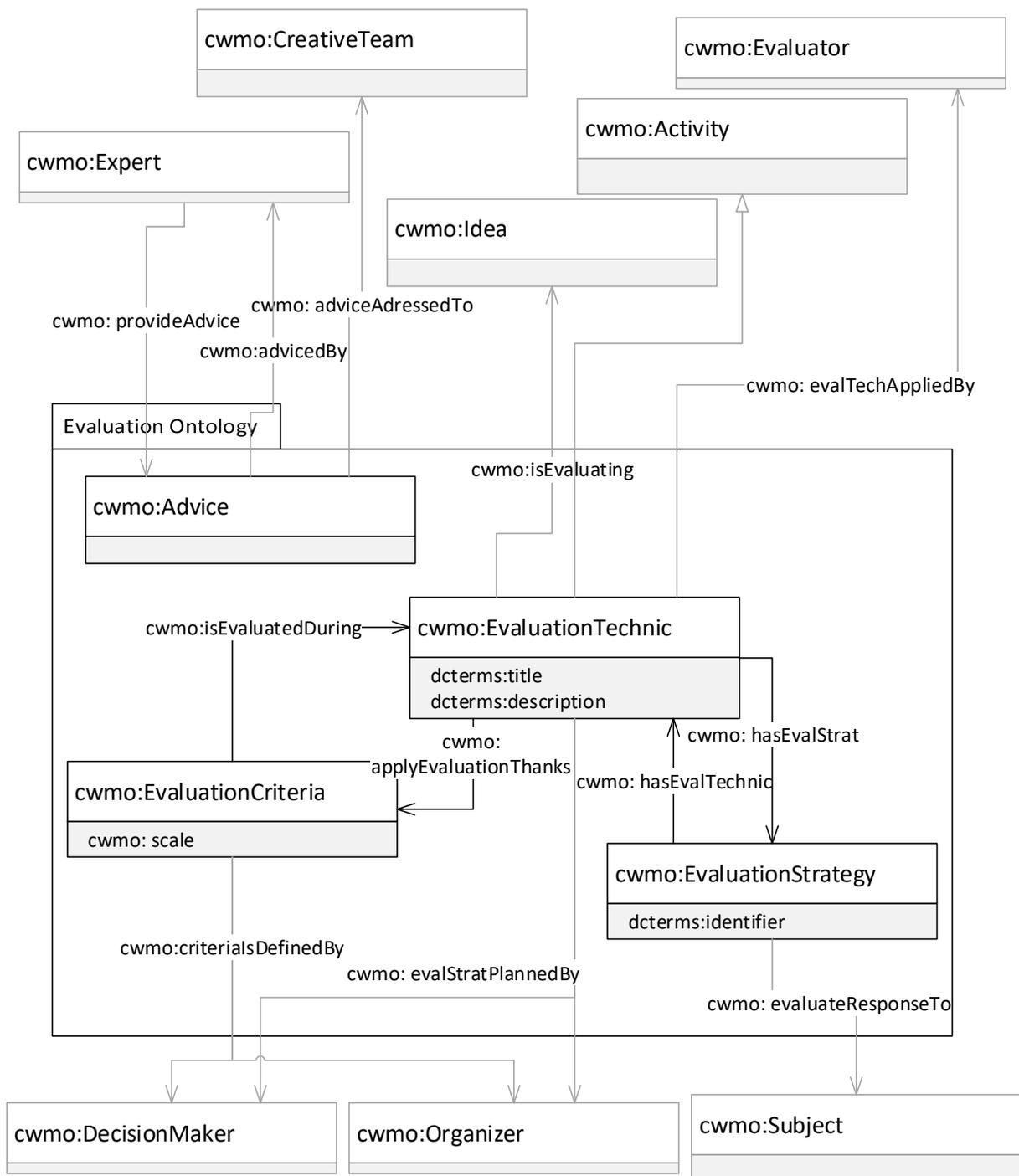
Représentation des concepts généraux de l'ontologie



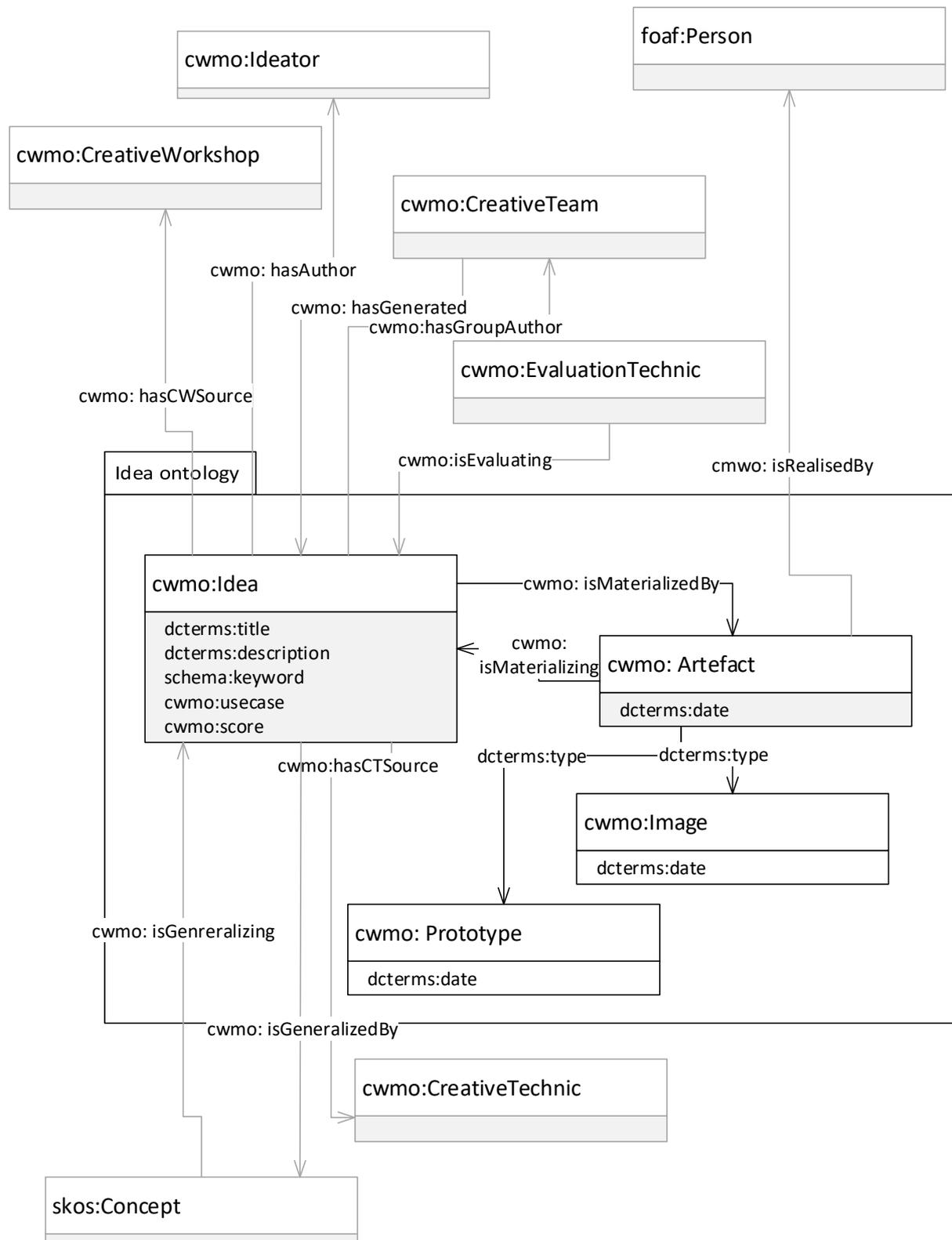
Représentation des concepts liés à la description du problème



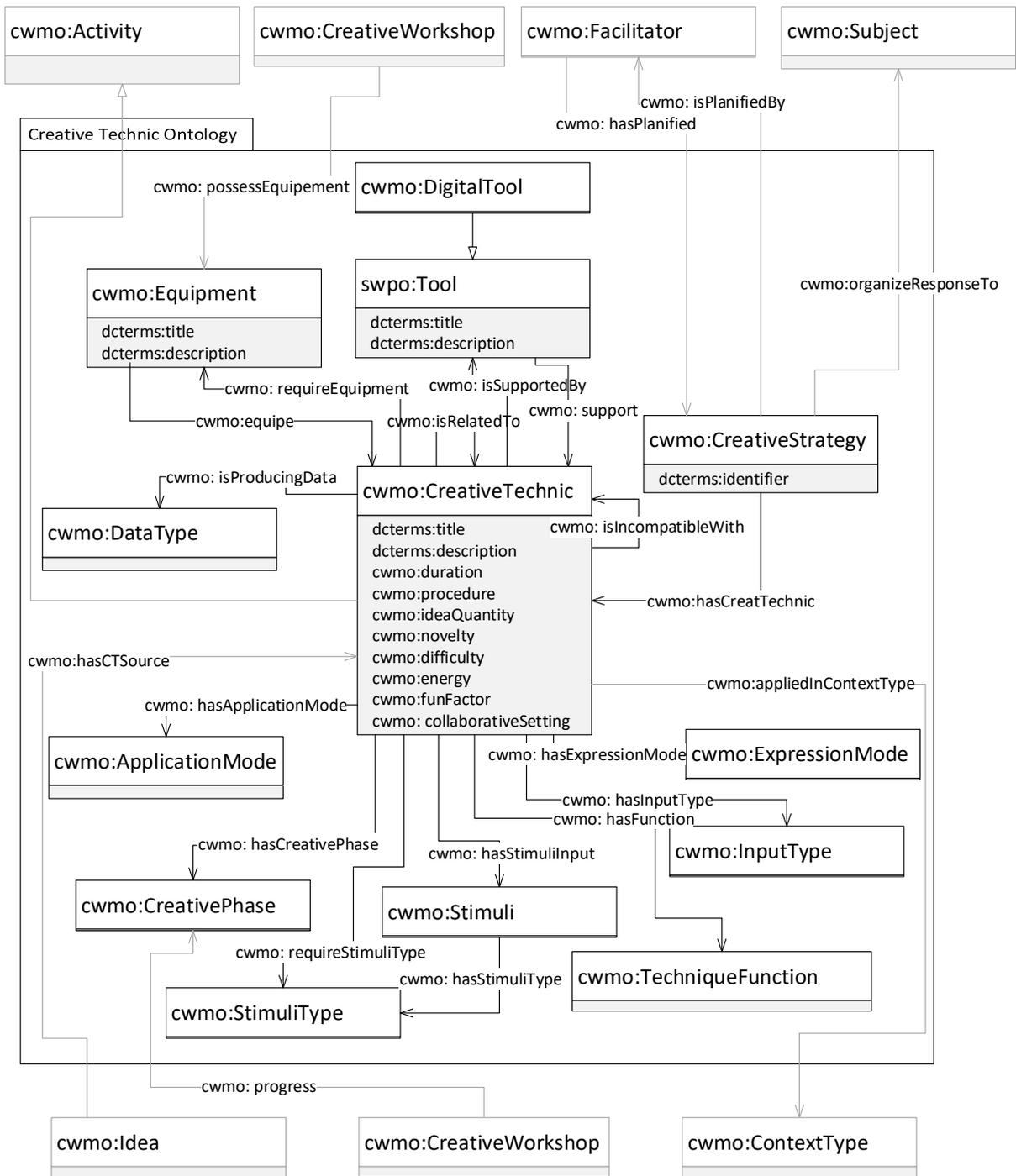
Représentation des concepts liés à la description de l'évaluation des idées



Représentation des concepts liés à la description des idées



Représentation des concepts liés à la description des techniques de créativité



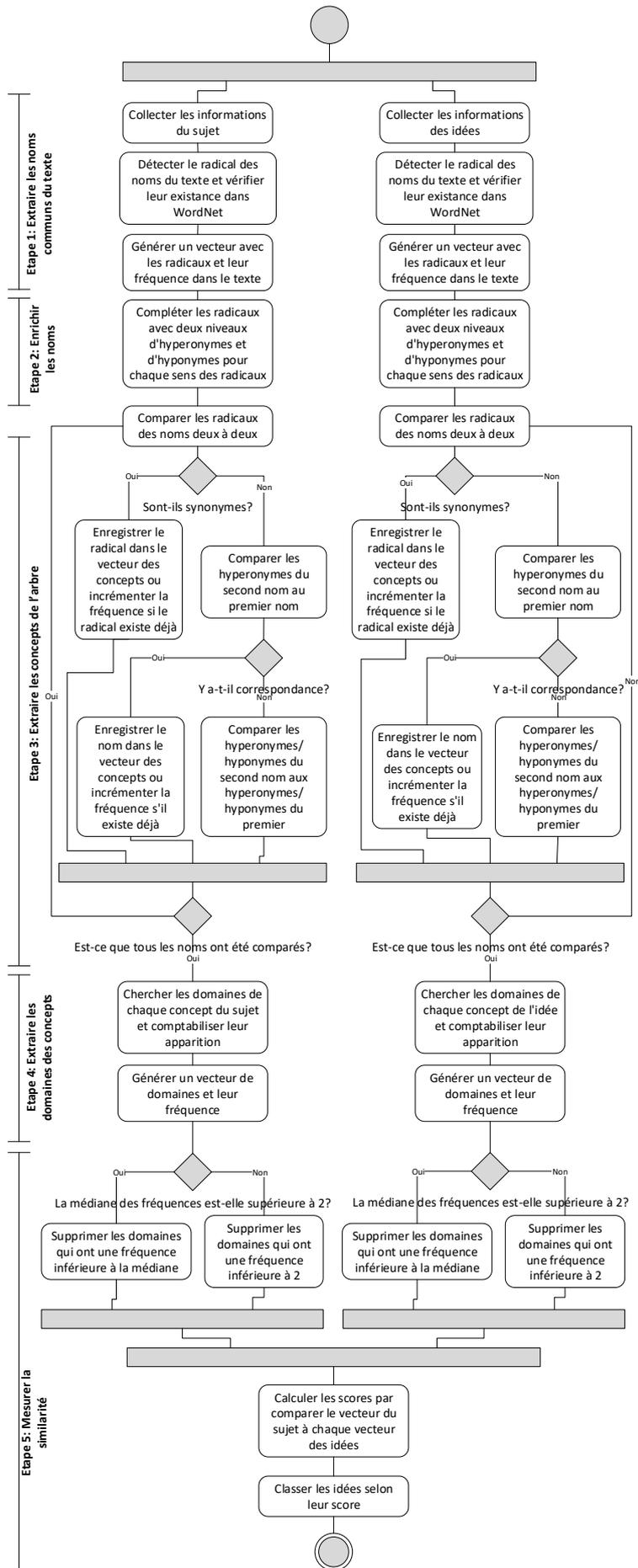
Annexe D

Informations supplémentaires concernant les idées
présentées lors de l'atelier de créativité de Leticia

Numéro de groupe	Titre de l'idée	Description courte
1	Air amazon	High added value tourism. The concept is to offer to public the experience of flying over the Amazonia with a null carbon footprint aircraft such as the Solar impulse aircraft. This concept Inspired from the 0 gravity experience possible by plane.
2	Expedition Kia	Promote the area of Amazonia thought game/survival expedition where participant can learn the culture and experience the lifestyle of indigenous populations, and win a prize for those who succeed physical, cultural and environmental challenge.
3	Amazonian visitor center	It concerns dedicated facilities near to the actual airport to ask tourist to follow a short training concerning the local environment and practices to do respectful tourism in Amazonia. This will be a condition the access of some restricted areas in order to insure sustainable touristic practices.
4	Cupid on Amazonia	A resort place for outdoor and nature lovers who want to date environment-friendly partner or couples who want to do their honeymoon in exotic places with a reduced ecological impact.
5	No-cash	A tourism based on exchange and sharing between the host community and the tourist. The intent is to avoid the use of money that tends to negatively impact the indigenous community culture.

Annexe E

Diagramme d'activité de la démarche de traitement des idées



Publications

Conférences internationales

- Issa, F., Monticolo, D., Gabriel, A., Mihaita, S., 2014. An Intelligent System based on Natural Language Processing to support the brain purge in the creativity process. Presented at the IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA'14), Hong Kong, China, p. 6.
- Gabriel, A., Monticolo, D., Camargo, M., Bourgault, M., 2014. Process Modelling for a Creative Problem Solving Support System. Presented at the International Conference on Innovative Design and Manufacturing, IEEE, Montréal, QC, Canada, pp. 181 – 186. doi:10.1109/IDAM.2014.6912691
- Gabriel, A., Monticolo, D., Camargo, M., Bourgault, M., 2015. Multi-agent System to Support Creative Workshop, in: 2015 11th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems. Presented at the International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), IEEE, Bangkok, Thailand, pp. 693–697. doi:10.1109/SITIS.2015.114
- Gabriel, A., Monticolo, D., Camargo, M., Bourgault, M., 2016. Ontology to represent the knowledge domain of a creative workshop, in: 2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems. Presented at the International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), IEEE, Naples, Italy,

Journaux internationaux

- Gabriel, A., Monticolo, D., Camargo, M., Bourgault, M., 2016. Creativity Support Systems: A Systematic mapping study. *Thinking Skills and Creativity* 109–122. doi:10.1016/j.tsc.2016.05.009
- Gabriel, A., Camargo, M., Monticolo, D., Boly, V., Bourgault, M., 2016. Improving the idea selection process in creative workshops through contextualisation. *Journal of Cleaner Production* 135, 1503–1513. doi:10.1016/j.jclepro.2016.05.039

Chapitre de livre

- Gabriel, A., 2015. Evaluations des idées issues de la créativité, in: *Mesurer l'innovation en entreprise: un levier essentiel pour la réussite des projets innovants*, Organisations en action. pp. 129–150.

Résumé

Gestion des connaissances lors d'un processus collaboratif de créativité

Le travail de cette thèse vise à proposer un système support à la créativité selon une architecture multi-agents afin de gérer les connaissances nécessaires et produites durant un atelier de créativité. Ce travail contribue à la recherche scientifique à différents égards. Au préalable de concevoir un quelconque système, une revue des systèmes actuels supportant la créativité est réalisée pour déterminer leurs limites en termes de processus de créativité et de modes de collaboration. Pour répondre à ces limites, l'approche d'ingénierie des connaissances est adoptée. Autrement dit, la créativité est considérée comme un processus collaboratif et organisationnel afin d'en déduire les activités à supporter ainsi que les connaissances et les compétences à apporter aux individus pour les assister à réaliser ces activités. A partir de la modélisation organisationnelle d'un atelier de créativité, l'organisation des agents informatiques qui vont contribuer à la gestion des connaissances en est déduite. Par la suite, une ontologie de l'atelier de créativité est formalisée à partir de la modélisation de l'organisation afin d'apporter une représentation des connaissances et de l'environnement aux agents. Ainsi, l'architecture multi-agents proposée pour concevoir un système support à la créativité permet d'explorer de nouveaux modes de traitement des connaissances notamment concernant l'évaluation des idées. Une méthodologie d'évaluation des idées selon des méthodes d'analyse multicritère est proposée. En complément de cette méthodologie, le traitement automatique des idées a été expérimenté afin d'aider les évaluateurs dans leur tâche. Ce travail prend tout son sens dans un contexte de généralisation des pratiques de créativité telles que l'open innovation ou les ateliers de créativités dans les organisations et les entreprises.

Mots-clés : Système multi-agents, ontologie, système support à la créativité, atelier de créativité

Abstract

Knowledge management during a collaborative creative process

This research work aims to propose a creative support system according to a multi-agent architecture in order to manage the knowledge needed and produced during a creative workshop. This work contributes to the scientific research with regard to various aspects. Beforehand designing any system, a review of the current creative supports systems is carried out in order to determine their limits concerning the creative process and collaboration mode. To fix these limits, a knowledge engineering approach is adopted. It implies that creativity is considered as a collaborative and organizational process in order to infer its activities, but also competences and knowledge required to realize these activities. This information permits to better assist individuals in their activities. Based on this organizational modeling of a creative workshop, the organization of computational agents that would contribute to manage knowledge is deduced. Based on the same modeling, creative workshop ontology is created in order to provide a representation of the environment and shared knowledge to agents. Multi-agent architecture for creative support system permits to explore new knowledge processing approach notably for idea evaluation. An idea evaluation methodology based on multi-criteria analysis methods is suggested. In addition to this methodology, automatic idea processing based on naturel language processing is experimented in order to assist evaluators. The meaning of this research work is in the generalization of emergent creative practices as open innovation and creative workshops in organizations and companies.

Keywords: Multi-agent system, ontology, creative support system, creative workshop