HAL
open science

Un système-multi agent normatif pour le soutien évaluatif à la collaboration humain-machine : application à la gestion de crise

Lauren Thévin

▶ **To cite this version:**

Lauren Thévin. Un système-multi agent normatif pour le soutien évaluatif à la collaboration humain-machine : application à la gestion de crise. Interface homme-machine [cs.HC]. Université Grenoble Alpes, 2016. Français. NNT : 2016GREAM081 . tel-01681321v2

HAL Id: tel-01681321

https://theses.hal.science/tel-01681321v2

Submitted on 12 Jan 2018

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

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

Communauté UNIVERSITÉ Grenoble Alpes

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE LA COMMUNAUTE UNIVERSITE GRENOBLE ALPES

Spécialité : **Informatique**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Lauren Thévin

Thèse dirigée par **Julie Dugdale** et
codirigée par **Catherine Garbay** et **Olivier Boissier**

préparée au sein du **Laboratoire d'Informatique de Grenoble**
dans **l'École Doctorale MSTII**

Un Système-Multi Agent normatif pour le soutien évaluatif à la collaboration humain- machine :
application à la gestion de crise

Thèse soutenue publiquement le **12 décembre 2016**,
devant le jury composé de :

M Michel OCCELLO
Professeur à l'Université Grenoble Alpes, Président
M. René MANDIAU
Professeur de l'Université de Valenciennes, Rapporteur
Mme Indira THOUVENIN
Maître de conférence à l'Université de Technologie de Compiègne, Rapporteur
M. Davy MONTICOLO
Maître de conférence à l'Université de Lorraine, Examinateur
M. Pascal SALEMBIER
Professeur à l'Université de Technologie de Troyes, Examinateur
M. François GIANNOCCARO
Directeur de l'IRMa, Membre invité
Mme Julie DUGDALE
Maître de conférence à l'Université Grenoble Alpes, Directrice de thèse
M. Olivier BOISSIER
Professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne, Co-encadrant de thèse
Mme Catherine GARBAY
Directrice de Recherche au CNRS Délégation Alpes, Co-encadrante de thèse

Remerciements

Je souhaiterais remercier un nombre infini de personnes, et je vais tenter d'adresser ici une partie de ma reconnaissance. J'écris ces premières lignes à l'ensemble des membres du jury, pour avoir accepté de porter leur regard à la fois critique, aiguisé mais toujours bienveillant afin de porter mon travail le plus loin possible. Chers Michel Occello (merci d'avoir accepté de présider la soutenance), René Mandiau (merci pour votre lecture attentive, et en particulier pour la dimension tangible et multi-agent), Indira Thouvenin (merci pour votre lecture tout aussi attentive, et en particulier pour la dimension des CSCW dans une optique pédagogique), Davy Monticolo (merci pour votre acuité à propos de la gestion des organisations humaines et des connaissances par des SMA), Pascal Salembier (merci pour votre lecture pluridisciplinaire et centrée utilisateur de mes travaux), et à François Giannoccaro, Julie Dugdale, Olivier Boissier et Catherine Garbay (pour qui je réserve par la suite davantage de place à l'expression de ma gratitude) : votre approche représente pour moi ce que devrait être la Recherche, car tant avec sens critique qu'avec bienveillance, vous avez permis et favorisé des discussions profondes et riches, portées par une curiosité certaine et une envie de créer et de découvrir des modèles ingénieux et des solutions élégantes, ancrés dans des concepts cohérents.

Je remercie la Région Rhône-Alpes, maintenant Auvergne-Rhône-Alpes, et le soutien de l'ARC en général, et de l'ARC 6 en particulier, pour son soutien scientifique (les journées scientifiques de l'ARC), les projets pluridisciplinaires et de médiation scientifique (ART-Lab) et le soutien financier (contrat ARC - 13 - 009716 - 01)..

Je remercie l'IRMa, et en particulier François Giannoccaro, pour ses apports multiples, en tant que ressource pour la gestion de crise (documents, entretiens, observations etc.), pour les partenariats qui ont été noués (Villefontaine, Polytech'Grenoble – dont certains élèves sont nommés dans le chapitre 4, le Cerema, l'ENSOSP etc.). Nos rencontres ont joyeusement ponctué ces trois années, et ont grandement fait avancer ce projet.

Je vais maintenant m'attarder un peu pour m'adresser à mon encadrement. Tout d'abord, je remercie Julie Dugdale pour échanges scientifiques (en particulier pour la gestion de crise) et humains. Bien que souvent en déplacement, ces moments, et ces retours, ont été précieux pour moi. Je remercie également infiniment Catherine Garbay, avec qui j'ai étroitement travaillé et qui m'a ouverte à un monde mêlant créativité et rigueur. Pour moi, ces trois ans ont été aussi une belle rencontre, et tu m'as toujours apporté l'aide scientifique et personnelle dont j'avais besoin. Je n'oublierai pas Olivier Boissier, et les semaines intensives de travail, qui ont permis de développer mes connaissances, mes compétences, mes formalisations et mes modèles informatiques. J'ai réellement apprécié nos réunions et rencontres bimensuelles, avec tout l'encadrement, qui ont été l'occasion de ne pas laisser nos méninges inactives ! Je souhaite vous remercier tous les trois, pour m'avoir donné l'opportunité de travailler avec vous, et de vous connaitre. Vous avez accepté que je réalise un nombre incroyable de projets annexes, même les plus excentriques, vous avez corrigé mes innombrables versions de chaque papier, manuscrit et dossier un nombre incalculable de fois et grâce à vous j'ai réalisé ma thèse avec

bonne humeur et enthousiasme. Je ne sais pas si des directeurs se sont déjà aussi bien occupés d'un doctorant, et je sais que je suis chanceuse, et j'en suis honorée. J'espère vraiment pouvoir un jour retravailler avec vous.

J'adresse évidemment mes plus sincères amitiés scientifiques et mes amitiés sincères à toutes mes équipes de recherche. J'ai pu aller avec les membres de ces équipes courir ("Naussicaruto", Yagmur, Andrea, Nicolas, Gautier, Nilou), danser (Sandra, Geoffrey, Germain, Irina, "Yurgo", "Daddy", "Junior") et rire, discuter (sans mentir, avec tous les autres).

J'ai rencontré des gens extraordinaires, des projets plein la tête et de l'enthousiasme plein le cœur, avec Synergy et Robodoc (David, Cécile, Nico, Mario, "M. De La Muerte", Yuko, Lilya, Jérome ...). J'y joins l'AFFDU, les savanturiers du Cerveau, Sandra avec Mickaël et ses élèves.

Ces laboratoires d'informatique sont pleins d'intelligences artificielles, mais aussi d'intelligences humaines incroyables : Nadine (la pluridisciplinarité !), Steph, Alex, Corinne, Pascale, Latifa, Anne Laure, Eric, Jacky, Martine, Lucy, Nicolas, Marie-Caroline et tous ceux que je n'ai pas la place (et je dois l'avouer un peu, le courage) de citer ici (Verimag inclus !).

Grenoble et le LIG, ça a commencé par des premières rencontres inoubliables : "PingPing" pour Grenoble, Gaëlle Calvary et Maxime pour le LIG, les Echos du RISC pour l'offre de thèse. Et les personnes qui m'ont accompagnée pratiquement à partir du moment où je suis arrivée à la gare de Grenoble : "Patate", Vero et sa bibliothèque, Andrea et son statut honorifique, "Padawan", Josselin et Louis (et leur compétence de reconnaissance faciale douteuse).

Je tiens à remercier mes colocs, mes semi-colocs et tous ses membres honorifiques : Cao (le Docteur et le Papa), Laurence (le "swag" des moyens de transport et des pyjamas), Quentin (Pacman, ratatouille et gratin dauphinois), Gustave et Bernadette, avec leurs cartes postales et leurs produits anglais, Louloutre, Jay, Jo, Kob, Irina, Andrea, Guapa, Vincent, "Chef", Jérémy, "Paupiette", "Linda", Carlito, Antonaille, Rine Ma et Ma Rine, Anais, Sophie, pour ces moments.

Je souhaite maintenant remercier ma famille (Papa, Maman, Frangin, Frangine, Mémé, Oncles, Tantes, Cousins, Cousines), et si je dois bien avouer que les repas familiaux ne facilitent pas le travail de thèse, leur soutien immédiat, infini et sincère n'a jamais failli. Mes familles adoptives ne sont pas en reste, et leur aide m'a été précieuse, allant de la réalisation d'une manipulation lorsque je n'étais pas là, au don d'un toit lorsque j'en ai eu besoin (Gisèle et Annie, Daddy et Mummy, le Parc, et la grande famille Handi'chiens). Je pense également à ce qui a été mon petit foyer, Peter et Jalou. Je vous porte à tous un amour sincère et immense.

Si j'ai pu oublier quelqu'un ici, c'est seulement à l'écrit mais pas en pensées. Je dédicace cette thèse à mes proches disparus et aux nouvelles vies qui commencent.

Table des matières

Table des sigles et acronymes **xi**

Introduction **1**

1 Problématique et besoins **7**

1.1 Introduction 8

1.2 Collaboration en gestion de crise 11

1.3 Interaction tangible 35

1.4 Verrous et Propriétés dégagées 45

1.5 Conclusion de la problématique 50

2 État de l'art **53**

2.1 Introduction 54

2.2 Représentation et gestion du contexte et Collecticiels 55

2.3 Représentation et gestion des process et Collecticiels 63

2.4 Articulation entre activité soutenue et interaction et Collecticiels 70

2.5 Conclusion et pistes retenues 88

3 Modélisation du système OrA **93**

3.1 Approche générale 94

3.2 Perspective multi-agent du système OrA 103

3.3 Architecture du système OrA 114

3.4 Exemple récapitulatif 131

3.5 Conclusion 139

4 Expérimentation **143**

4.1 Contexte et démarche d'expérimentation 144

4.2 Cycle expérimental 1 : formalisation des process de la gestion de crise 153

4.3 Cycle expérimental 2 : usage en situation réelle 162

4.4 Cycle expérimental 3 : potentiel technique 177

4.5 Discussion et Perspectives 197

Conclusion et perspectives **199**

4.6 Résumé de l'approche 199

4.7 Contributions 203

4.8 Limites 204

4.9 Perspectives 205

A Annexe 1 **207**

A.1 Cycle de Production : objets et séquence 207

A.2 Cycle de Coordination : objets partagés 212

Bibliographie **221**

Table des figures

1.1 Éléments du document PCS : exemple d'une fiche *Mission*, sommaire des fonds de cartes et du matériel référencé . . . 15

1.2 Photographie d'une mallette PCS d'une commune de Rhône-Alpes . . . 16

1.3 Illustration d'un collecticiel pour le partage d'information terrain en gestion de crise . . . 21

1.4 Illustration d'un collecticiel combinant interaction tangible et technologie portable (wearable technology) en gestion de crise . . . 22

1.5 Illustration de la technologie *palpable* pour la gestion de crise Palcom . . . 23

1.6 Illustrations de l'environnement proposé par iCrisis . . . 23

1.7 Illustration de l'environnement virtuel offert par PANDORA . . . 25

1.8 Illustration de l'environnement virtuel offert par VCE . . . 26

1.9 Table TangiSense . . . 36

1.10 Illustrations de l'environnement proposé par Illuminating Clay . . . 40

2.1 Présentation du modèle ARCH . . . 73

2.2 Présentation du modèle Zipper . . . 74

2.3 Présentation du modèle ALV . . . 76

2.4 Présentation du modèle AMF-C . . . 77

2.5 Présentation des modèles PAC et PAC-Amodeus . . . 78

2.6 Présentation du modèle proposé par Cheaib, 2010 . . . 85

2.7 Méta-modèle simplifié du moteur de JaCaMo . . . 87

2.8 Réorganisation des espaces d'activité de Production, Coordination et Communication . . . 90

3.1 Articulations interaction/activité soutenue et process/contexte . . . 96

3.2 Sous-systèmes humains et techniques en interaction . . . 98

3.3 Vue sur le système distribué, dans le cas de deux tables distantes 104

3.4 Illustration de l'activité des espaces de Production, de Coordination et de Communication 104

3.5 Propagation des traces à travers les espaces d'activité 108

3.6 Méta-modèle simplifié du moteur de gestion des Agents Jason dans JaCaMo . . 116

3.7 Méta-modèle simplifié du moteur de gestion des Artefacts Cartago dans JaCaMo117

3.8 Méta-modèle simplifié du moteur de gestion des Organisations MOISE dans JaCaMo 119

3.9 Vue générale de l'architecture 122

3.10 Spécification fonctionnelle de Production 124

3.11 Description du plan *Sécurité Organisée* lié à des normes 126

3.12 Spécification fonctionnelle de Communication 130

3.13 Vue générale de l'architecture de l'exemple 132

3.14 Illustration du temps T_0 à T_1 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine 136

3.15 Illustration du temps T_2 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine 137

3.16 Illustration du temps T_3 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine 137

3.17 Illustration du temps T_4 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine 138

3.18 Illustration du temps T_5 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine 138

3.19 Illustration du temps T_6 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine 139

3.20 Illustration récapitulative de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine 142

4.1 Illustration du cycle 1 expérimental 149

4.2 Identification des enjeux par l'équipe communale dans un entrainement à la gestion de crise (exercice sur table tangible et sur papier) 150

4.3 Simulation de situation d'exercice de crise par des agents logiciels 151

4.4 Vue d'une organisation de tâches avec le logiciel KMADe 155

4.5 Vue du détail de la description d'une tâche avec le logiciel KMADe 156

4.6 Vue générale de l'arborescence d'un scénario réalisée avec le logiciel KMADe . . 158

4.7 Structuration générique des cellules 159

4.8 Vue d'un scénario d'inondation modélisée avec le logiciel KMADe 160

4.9 Document support à l'animateur de l'exercice 164

4.10 Modélisation d'éléments scénaristiques, les éléments du PCS, les actions tangibles, et les retours informés 166

4.11 Interface Animateur initiale 167

4.12 Modification de validité via l'interface Animateur utilisé durant l'exercice . . . 169

4.13 Exemple de traces d'exécution où l'animateur a utilisé son interface 169

4.14 Convention utilisée lors de l'exercice, qui en définit les limites 171

4.15 Installation durant l'exercice 172

4.16 Image de l'interface Animateur permettant de contrôler les éléments non tangibilisables 173

4.17 Interaction réalisée par un joueur 175

4.18 Photographie prise au moment de l'utilisation spontanée de la table pour une discussion collective 176

4.19 Image des deux spécifications structurelles 181

4.20 Image des deux spécifications fonctionnelles 182

4.21 Spécifications normatives 183

4.22 Distribution des acteurs du scénario sur les tables. 188

4.23 Interface pour le scénario technique 189

4.24 Détection des conflits par le système, suite à deux buts actifs en même temps et incompatibles entre eux 190

4.25 Description de la modélisation de la gestion des ressources 191

4.26 Lien entre l'agent de Coordination et le nouveau but qui lui est attribué 194

4.27 Les différentes zones (1, 2 et 3) considérées à évacuer dans le scénario 194

4.28 Organisation de l'évacuation massive en cas de crue 195

A.1 Déroulé de l'activité de Production (1) 208

A.2 Déroulé de l'activité de Production (2) 209

A.3 Déroulé de l'activité de Production (3) 210

A.4 Déroulé de l'activité de Production jusqu'à la Coordination 211

A.5 Déroulé de l'activité de Coordination (1) 212

A.6 Déroulé de l'activité de Coordination (2) 213

Liste des tableaux

1.1 Différents niveaux de process : plan et règles de sens commun de la collaboration 31

1.2 Incohérences entre les process multi-organisationnels 34

1.3 Rôles de l'intelligibilité, de la flexibilité et du suivi évaluatif pour l'activité collaborative et l'interaction dans un CSCW 49

3.1 Evolution des traces dans les espaces de Production, Coordination et Communication 141

4.1 Lien entre problématiques scientifiques, applicatives, technologiques et cycles expérimentaux associés. 152

4.2 Résumé des objets de validation 186

Table des sigles et acronymes

BDI	Belief-Desire-Intention
CL	Cellule Logistique
CS	Cellule Soutien
CSCW	(de l'anglais) Travail Collaboratif Assité par Ordinateur
ENSOSP	Ecole Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-Pompiers
GIS	(de l'anglais) Système d'information géographique
IRMa	Institut des Risques Majeurs de Grenoble
MAOP	(de l'anglais) Programmation Orienté Multi-Agent
ORSEC	Organisation de la Réponse à la Sécurité Civile
PCC	Poste de Commandement Communal
PCO	Poste de Commandement Opérationnel
PCS	Plan Communal de Sauvegarde
PPI	Plan Particulier d'Intervention
PPRN	Plan de Prévention des Risques Naturels
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours
SMA	Système Multi-Agent

Introduction

Nous abordons dans cette thèse le problème de la conception d'un système informatique de soutien évaluatif, pour soutenir et évaluer en temps réel l'activité collaborative dans le cas particulier "d'une activité régie par des process issus d'organisations différentes". Nous définissons un process comme un ensemble de règles, de politiques, de plans, de normes ayant pour vocation de guider et de servir de référence à la réalisation d'une activité collaborative. Nous positionnons notre recherche dans le cadre applicatif de l'entrainement à la gestion de crise, et dans le cadre technologique de l'interaction tangible.

Contexte

La gestion de crise (action face aux risques majeurs tels que les inondations, les incendies ou les incidents industriels) est un domaine applicatif intéressant par rapport à notre problématique, car il s'agit d'une situation dynamique, dégradée et rare où des acteurs hétérogènes et appartenant à des organisations différentes doivent travailler sur des zones spatialement différentes, selon des actions différentes, mais pour un but commun. Dans ce domaine, la qualité de la réponse fournie dépend de la présence de plans d'intervention (process) complets et cohérents entre eux, et de la capacité des acteurs à se coordonner. Or il s'avère que les multiples organisations impliquées (pompiers, forces de l'ordre, personnel communal ...), qui sont soumises à des process différents, peuvent suivre des plans non corrects et incohérents entre eux. La réussite d'une gestion de la crise dépend également souvent de la capacité des acteurs à s'adapter de manière "ad hoc" et flexible, lorsque la situation l'impose : les acteurs peuvent décider de ne pas suivre le plan d'intervention, s'il n'est pas approprié à la situation, se référant à leur jugement "de sens commun". Il est donc impossible de faire l'hypothèse ni de process corrects ni de bons comportements de la part des acteurs de la crise. Les acteurs sont donc tenus de suivre les process propres à leurs organisations, tout en étant légitimes de ne pas les suivre s'ils amènent à des résultats non satisfaisants. La complexité de cette application réside finalement dans le fait qu'il est impossible de faire l'hypothèse que les process sont correctement rédigés, qu'ils sont cohérents entre eux, et que les acteurs vont les adopter pour décider des actions à entreprendre.

Pour faire face à ces difficultés, les acteurs ont actuellement recours à des exercices de type jeu de rôle pap ier ou grandeur nature avec des animateurs et des observateurs. Pourtant, les outils informatiques pourraient offrir une aide complémentaire intéressante.

Problématique

Comme nous venons de le décrire, le type d'application que nous envisageons soulève de nombreux verrous pour le domaine des CSCW (travail collaboratif supporté par ordinateur). En se penchant sur les systèmes existants d'aide à la collaboration en gestion de crise, nous avons identifié trois catégories principales d'aides : les systèmes immersifs (par exemple iCrisis – Verdel et al., 2010), les systèmes d'aide à la rédaction des process (par exemple Collario – Yao, Turoff et Hiltz, 2010 , VCE – Wickler et al., 2011), ou les aides à l'activité collaborative (par exemple Palcom – Büscher et Mogensen, 2007). Certains systèmes regroupent les propriétés des deux premières catégories (par exemple Crimson – Balet et al., 2008, ADMS Louka et Balducelli, 2001) ou des deux dernières (par exemple Pandora – Bacon, Windall et MacKinnon, 2012). Pourtant, à notre connaissance, nous ne trouvons aucun système permettant de *contextualiser* l'activité et les *process* dans le temps et l'espace, et de tester ces process et les règles de bon sens régissant la collaboration dans un *contexte* multi-organisationnel.

Actuellement, afin d'améliorer la collaboration en gestion de crise, et de tester à la fois la complétude et la cohérence des process et leur utilisation par les acteurs, les acteurs communaux ont recours à des exercices d'entrainement. Ces exercices offrent la *flexibilité* nécessaire aux acteurs pour réaliser les actions de gestion de crise. Les actions de acteurs sont *intelligibles* pour les autres acteurs, ainsi que par les animateurs et les observateurs, qui analysent la situation et peuvent fournir des retours d'expérience eux aussi intelligibles pour les acteurs. Ce retour d'expérience est un *suivi évaluatif* de la situation qui permet d'évaluer l'activité des acteurs et les process.

Le déploiement d'un outil informatique pour le soutien évaluatif soulève également des défis en termes d'interaction Humain-Machine. L'interaction doit être compatible avec le déroulement d'un exercice, et respecter ces propriétés en termes d'interaction entrante (permettre des actions et des retours intelligibles, flexibles et soutenant le suivi évaluatif). Enfin l'interaction doit permettre la mise en place de ce que nous appelons une conscience multi- organisationnelle partagée (multi-organizational context awareness). Nous faisons l'hypothèse que, via des retours informés situés en temps réel dans l'activité collaborative, la mise en lumière dynamique d'incohérences de différentes natures (au sein d'un process, entre process, dans l'activité des acteurs, dans les règles de sens commun de la collaboration) permet l'amélioration des plans et des comportements des acteurs. Le système pourra alors lever les conflits et fournir un diagnostic, transmis aux utilisateurs par des retours informés selon les politiques de communication et mis à jour si le contexte venait à évoluer.

Objectifs

Dans cette thèse, nous défendons l'idée que la mise en place d'une conscience organisationnelle partagée est un élément central pour installer une bonne collaboration. Pour soutenir cette thèse, notre objectif est de proposer un modèle informatique pour la gestion et la re-

présentation des contextes et des process liés à l'activité et à l'interaction entre acteurs, et de les articuler afin de pouvoir mettre en place trois propriétés : intelligibilité, flexibilité et suivi évaluatif. Nous nous plaçons dans le cadre d'un système socio-technique où il est nécessaire d'articuler à la fois le système social des humains en interaction et le système technique au travers duquel ils interagissent. Ces trois propriétés concernent donc l'interaction et l'activité soutenue.

Approche

En nous inspirant des architectures de collecticiels, nous articulons activité d'interaction et activité soutenue. Ces éléments sont structurés selon un cycle d'interprétations successives : interaction entrante (interaction tangible), activité soutenue (gestion de crise), et interaction sortante (retours virtuels informés). A ces interprétations successives correspondent trois espaces d'activité, respectivement de Production, de Coordination et de Communication (en référence aux architectures classiques de collecticiels selon le modèle CLOVER (Laurillau et Nigay, 2002a)).

Pour chacun de ces espaces, nous proposons d'articuler process et contexte selon une vision multi-agent. En reprenant la formalisation VOWELS (Agent, Organisation, Environnement, Interaction), nous structurons chaque espace d'activités selon des dimensions Organisationnelles (pour la représentation et la gestion des process), Environnementales (pour la représentation et la gestion des contextes) et Agents assurant le lien entre environnement et organisations (pour l'articulation entre ces process et contextes). Finalement, chaque étape d'interaction est explicitement représentée par les espaces d'activité (interaction entrante en Production, analyse de l'activité soutenue en Coordination et interaction sortante en Communication). Selon le même esprit, chaque dimension de ces étapes est explicitement représentée (process dans la dimension Organisation, contextes dans la dimension Environnement, articulation et analyse dans la dimension Agent). Des interactions sont définies entre chaque espace d'activité et à l'intérieur de chaque cycle. Ces espaces et dimensions explicitement décrits sont modulaires, ce qui permettra une compréhension précise en termes de cycle d'exécution (via les espaces d'activité) et pour chaque étape du cycle d'exécution (à l'intérieur de chaque espace d'activité via les dimensions). Nous définissons la modularité et la description comme la base de la propriété d'intelligibilité.

Ces espaces et dimensions découplés permettent de considérer chaque étape du cycle d'exécution indépendamment des suivant (via les espaces d'activité) et chaque élément représenté dans chaque espace indépendamment des autres (via les dimensions). Nous définissons le découplage et la préservation de l'autonomie comme la base de la propriété de flexibilité.

Ces espaces et dimensions doivent pourtant être liés. En propageant les éléments entre chaque étape du cycle d'exécution suivants (via les interactions entre les espaces d'activité) et entre chaque élément représenté dans chaque espace indépendamment des autres (via les interactions entre les dimensions), il est possible de donner une appréciation d'activité selon de multiples dimensions tout en évaluant l'ensemble de l'activité. Nous définissons la propa-

gation et l'appréciation de l'activité comme la base de la propriété de suivi évaluatif. Notre système représente une solution homogène pour une articulation entre le contexte de l'application (contextes environnemental, d'action, organisationnel – plan et règles de sens commun – et maintenant multi- organisationnel) et le contexte d'interaction (contextes individuel, d'interaction Humain-Humain, d'interaction Humain-Machine et d'interaction Machine-Humain). Ne favorisant ni l'application (architectures fonctionnelles pour les CSCW), ni l'interaction (architectures conceptuelles pour les CSCW), notre architecture articule ces deux facettes (architectures hybrides pour les CSCW) de manière unifiée. Tout autant que l'activité soutenue dont le contenu (dimension sémantique de l'activité, telle que l'activité de gestion de crise) est dirigé par des process organisationnels (tels que des plans), l'activité d'interaction (dimension syntaxique de l'activité, telle que l'interaction tangible) s'appuie sur des process (tels que des politiques d'interaction).

Réalisation et méthode

Nous développons techniquement cette solution grâce à un système multi-agent normatif défini par le framework de programmation orienté multi-agent JaCaMo (Boissier, Hübner et Ricci, 2016) et déployé sur des tables tangibles Tangisense. En reprenant les dimensions de VOWELS (Da Silva et Demazeau, 2002), l'Organisation est programmée selon des spécifications organisationnelles MOISE (Hubner, Sichman et Boissier, 2007), les Agents sont des agents BDI Jason (Bordini, Hübner et Wooldridge, 2007), et l'Environnement est programmé par des artefacts Cartago (Ricci, Viroli et Omicini, 2007).

Nous avons réalisé trois cycles expérimentaux pour évaluer notre système, selon les étapes observer – co-construire – évaluer. Le premier cycle expérimental vise à vérifier à la fois l'utilisation du système en exercice et le modèle proposé. Nous avons dans ce cadre modélisé une situation de crise et des exercices de gestion de crise, que nous avons implémentés. Dans un second cycle expérimental, nous avons testé l'usage du système avec des utilisateurs. Nous avons alors réalisé un exercice réel de gestion de crise, en utilisant notre système comme support à l'exercice. Nous avons finalement réalisé un dernier cycle expérimental, mettant l'accent sur la capacité de notre modèle implémenté à répondre aux fonctionnalités. Nous avons donc réalisé une série de tests techniques, à partir de la simulation de situations collaboratives complexes (classiques en gestion de crise), pour démontrer la capacité du système à analyser ces situations et à transmettre cette analyse à l'utilisateur.

Structure du document

Le document est structuré comme suit :

Chapitre 1 : Nous étudierons la gestion de crise (l'activité soutenue) et l'interaction tangible (l'activité d'interaction) et leurs caractéristiques, puis nous dégagerons les besoins spécifiques de ces activités collaboratives avant d'identifier les besoins spécifiques au soutien

évaluatif. Nous en dégagerons des verrous portant à la fois sur l'activité soutenue de gestion de crise et sur l'activité d'interaction tangible : la gestion et la représentation des fils de contextes, la gestion et la représentation des process et, enfin, leur articulation de ces concepts pour l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction. Nous identifierons trois propriétés auxquelles doit répondre le système : intelligibilité, flexibilité, suivi évaluatif.

Chapitre 2 : Nous étudierons dans ce chapitre l'état de l'art des collecticiels selon les trois verrous identifiés dans le chapitre précédent : la gestion et la représentation des fils de contextes, des process et leur articulation. Nous identifierons des pistes de mise en œuvre, en associant les besoins identifiés dans l'étude de l'état de l'art et les trois propriétés dégagées en chapitre 1 (intelligibilité, flexibilité, suivi évaluatif).

Chapitre 3 : Nous proposerons un modèle agrégeant et reprenant des éléments de l'état de l'art. Nous verrons comment notre modèle répond aux propriétés, comment il se structure et comment une architecture a été implémentée selon ce modèle. Nous y déclinerons les propriétés selon deux notions : l'intelligibilité se réfèrera aux notions de modularité et de description, la flexibilité au découplage et à la préservation de l'autonomie, et le suivi évaluatif à la propagation et à l'appréciation. Nous aborderons l'articulation interaction/activité soutenue et process/contextes. Nous présenterons une implémentation du modèle et deux exemples illustratifs.

Chapitre 4 : Nous présenterons trois cycles expérimentaux visant à montrer comment notre modèle permet de respecter les propriétés définies aux chapitres 1 à travers l'utilisation du modèle et sa mise en œuvre dans le cadre applicatif (gestion de crise) et technologique (interaction tangible). Nous verrons dans un premier cycle expérimental, la formalisation d'une gestion de crise selon une vision organisationnelle. Nous présenterons un cas d'usage durant un réel exercice d'entrainement à la gestion de crise. Enfin, nous démontrerons le potentiel technique du système en simulant des conflits de gestion de crise.

Chapitre 1

Problématique et besoins

Sommaire

1.1 Introduction **8**
1.2 Collaboration en gestion de crise **11**
1.2.1 Gestion de crise dans le projet 11
1.2.2 Caractéristiques de l'activité collaborative de gestion de crise 13
1.2.2.1 Existence de process formalisés pour réguler l'activité 13
1.2.2.2 Contexte spatio-temporel pour situer l'activité distribuée 17
1.2.2.3 Activité à adapter 18
1.2.3 Gestion de crise et aide à la collaboration humaine 18
1.2.3.1 Gérer l'activité collaborative distribuée 18
1.2.3.2 Mettre en contexte 19
1.2.3.3 Gérer les process selon plusieurs fils 20
1.2.3.4 Collecticiels : aides à l'activité de gestion de crise existants . . . 20
1.2.4 Soutien évaluatif de la préparation à la gestion de crise 27
1.2.4.1 Soutien évaluatif actuel 27
1.2.4.2 Suivre et enrichir l'activité 28
1.2.4.3 Suivre et préserver l'autonomie 29
1.2.4.4 Suivre et améliorer les process 31
1.3 Interaction tangible **35**
1.3.1 Interaction tangible dans ce projet 35
1.3.2 Caractéristiques de l'interaction tangible 37
1.3.2.1 Une activité collaborative enrichie 37
1.3.2.2 Un contexte enrichi 37
1.3.2.3 Une autonomie des acteurs préservée 38
1.3.3 Interaction tangible et aide à la collaboration humaine 39
1.3.3.1 Soutenir les pratiques collaboratives 39
1.3.3.2 Mettre en contexte 41
1.3.3.3 Utiliser des politiques d'interaction 41
1.3.4 Soutien évaluatif dans l'interaction tangible 42
1.3.4.1 Suivre et enrichir l'activité distante et distribuée 42
1.3.4.2 Suivre et préserver l'autonomie 43
1.3.4.3 Suivre et améliorer l'interaction et l'activité 44
1.4 Verrous et Propriétés dégagées **45**
1.4.1 Représentation et gestion du contexte 45
1.4.2 Représentation et gestion des process 46

1.4.3 Articulation de l'activité soutenue et de l'interaction 47

1.4.4 Propriétés d'intelligibilité, de flexibilité et de suivi évaluatif 48

1.4.5 Limites 50

1.5 Conclusion de la problématique 50

1.1 Introduction

Nous allons dans ce chapitre aborder la problématique de la préparation à la collaboration face à une situation rare et dégradée grâce à un système informatique. Nous nous appuyons sur la définition de (Yao, Turoff et Hiltz, 2010) pour définir la collaboration qui fait apparaitre des *règles* et des *acteurs* organisés en équipe (ré)agissant face aux désaccords et aux incohérences auxquels ils sont confrontés, ce que nous regroupons sous la notion d'*organisation* :

Définitions – **Coordination, Coopération et Collaboration : (Yao, Turoff et Hiltz, 2010)**

- **Coordination** : L'équipe s'accorde à réaliser des actions selon un certain ordre et une certaine planification définie et approuvée par l'équipe.
- **Coopération** : L'équipe s'accorde sur les actions dont elle est responsable.
- **Collaboration** : Selon une conception unitaire et dynamique, l'équipe déploie un travail et des efforts en cohérence avec les actions en cours. De plus l'équipe accueille les désaccords, et les traite de manière unifiée et coordonnée.

Nous pouvons voir que la coordination s'appuie sur des règles organisées dans un certain ordre, et définies par les organisations impliquées. Ces règles (*process*[1]) peuvent être définies séparément pour chaque organisation, dans le cas de la coopération. Une *activité* de collaboration s'ancre davantage dans les actions en cours (dans son *contexte*), et l'organisation peut dépasser les règles fixées par l'organisation elle-même en cas de désaccords, ou d'incohérences.

1. Nous définissons un process comme un ensemble de règles, de politiques, de plans, de normes ayant pour vocation de guider et de servir de référence à la réalisation d'une activité collaborative.

Définition – **Process, activité et contexte :**

- **Process** : Les process renvoient aux attendus liés à une activité collaborative, c'est à dire à un ensemble de règles *définies en amont* de la réalisation de l'activité collaboration, notamment par l'organisation impliquée dans l'activité collaborative.
- **Activité** : L'activité renvoie au déroulé "réel", par opposition au déroulé "prescrit" par les process, et est réalisée par les acteurs, impliqués dans l'organisation dans le cadre d'une activité collaborative.
- **Contexte** : Le contexte renvoie à la situation dans laquelle s'intègre l'activité, qui peut contenir plusieurs dimensions et perspectives de la situation courante, tels que les process s'appliquant à un moment donné ou l'activité en cours, par exemple à distance, dans le cadre d'une activité collaborative.

Une activité collaborative peut être soutenue grâce à des systèmes informatiques. Les collecticiels sont des logiciels visant à soutenir spécifiquement la collaboration.

Karensty définit les collecticiels comme suit :

Définition – **Collecticiel :**
Les collecticiels sont des systèmes informatiques qui assistent un groupe de personnes engagées dans une tâche commune (ou but commun) et qui fournissent une interface à un environnement partagé." (traduction de A. Karsenty (Karsenty, 1994) d'une définition proposée par Ellis)

Nous voyons apparaitre dans la définition de Karsenty deux piliers des collecticiels pour le travail collaboratif assisté par ordinateur (CSCW[2]) : (1) un soutien informatique pour l'activité collaborative associée à la tâche commune, et (2) la mise en place d'une interaction appropriée pour réaliser l'activité collaborative (Karsenty, 1994) . Si traditionnellement les collecticiels favorisent le travail collaboratif en soutenant une activité ***ou*** en permettant de créer un process de manière collaborative, nous souhaitons proposer, au delà du soutien, un soutien *évaluatif* en soutenant ***et*** en évaluant à la fois l'activité collaborative ***et*** les process régissant l'activité collaborative.

Définition – **Soutien évaluatif :**
Nous définissons le soutien évaluatif comme la fonction consistant à monitorer (suivre, soutenir et évaluer) à la fois une activité et les process qui la sous-tendent, durant la réalisation-même de l'activité.

À travers le cadre applicatif de la collaboration distribuée, située et régimentée par des process de la gestion de crise et le cadre technologique de l'interaction tangible mobilisante, contextualisée, locale et distante, nous adressons les questions du soutien informatique d'une activité *multi-organisationnelle* et d'une interaction adaptée pour le soutien évaluatif d'un CSCW. Ce soutien évaluatif peut s'appliquer *à différents niveaux de contraintes* auxquels est

2. Nous utilisons dans cette section le terme CSCW pour *le travail collaboratif assisté par ordinateur*, et il ne réfère pas au domaine scientifique associé à l'étude des systèmes pour assister le travail collaboratif et à leur conception

soumis l'activité collaborative, tant en termes de lecture de l'activité collaborative (plusieurs process et plusieurs organisations, plusieurs situations) qu'en termes d'interaction (actions tangibles autorisées, politiques d'envoi d'information à distance, activité interactive en cours).

Définition – **Process, activité et contexte déclinés selon l'activité soutenue et l'activité d'interaction**
Nous déclinons les process, l'activité et les contextes sur selon les deux piliers du collecticiels : l'activité soutenue et l'activité d'interaction.

- **Process : plans, politiques** : Nous appelons *plans* les process destinés à soutenir l'activité collaborative soutenue par un collecticiel. Nous appelons *politiques* les process destinés à soutenir l'activité interactive déployée par un collecticiel.
- **Activité : actions et interactions** : Nous appelons *actions* les éléments réalisés dans le cadre de l'activité collaborative soutenue par un collecticiel. Nous appelons *interactions* les éléments réalisés dans le cadre de l'activité interactive déployée par un collecticiel.
- **Contexte : contexte d'activité et contexte d'interaction** : Nous appelons *contexte d'activité* les éléments portant sur la situation de l'activité collaborative soutenue par un collecticiel. Nous appelons *contexte d'interaction* les éléments portant sur la situation de l'activité interactive déployée par un collecticiel.

Dans le cadre d'un soutien évaluatif, en plus d'un environnement partagé, l'interaction Humain-Machine permet d'enrichir l'activité humaine, et une communication Machine-Humain se met donc en place, en plus d'une activité Humain-Humain (médiée par la Machine) et Humain-Machine.

Approche – **Vision socio-technique**
Le cadre d'utilisation d'un collecticiel en tant que soutien évaluatif implique **une fonction active de la machine** au sujet de l'activité humaine. Trois besoins sont alors identifiables :

- besoin d'un mode d'interaction adapté à l'activité soutenue,
- besoin d'une compréhension de l'activité humaine par la machine (pour pouvoir avoir un rôle actif au sujet de l'activité humaine),
- besoin d'un retour permettant une compréhension de la machine par l'humain (pour pouvoir tirer parti de ce retour).

Nous allons étudier dans ce chapitre les éléments nécessaires à la réalisation d'un soutien évaluatif pour les CSCW. Afin de nous aider dans cette démarche, nous étudions comme cadre applicatif la collaboration en gestion de crise, et comme cadre technologique l'interaction tangible, respectivement dans la section 1.2 et dans la section 1.3. Pour cela, nous définirons dans un premier temps les caractéristiques des cadres applicatif (sous-section 1.2.2) et technologique (sous-section 1.3.2), pour définir les besoins génériques associés à ces cadres (sous-section 1.2.3 et sous-section 1.3.3), avant de dégager les besoins spécifiques nécessaires au soutien évaluatif en gestion de crise (sous-section 1.2.4) et en interaction tangible (sous-section 1.3.4). Nous verrons dans une troisième section 1.4 les trois verrous que nous dégageons (la gestion du

contexte en sous-section 1.4.1, la gestion des process en 1.4.2 et l'articulation de l'interaction et de l'activité soutenue en 1.4.3), avant d'extraire les propriétés nécessaires pour un système de soutien évaluatif (section 1.4.4). Nous conclurons finalement ce chapitre.

Les sous-sections peuvent être mise en regard entre la gestion de crise et l'interaction tangible. En effet, outre les sous-sections, les parties 1.2.2.1 et 1.3.2.1 renvoient au soutien de l'activité, les parties 1.2.2.2 et 1.3.2.2 au contexte de l'activité, les parties 1.2.2.3 et 1.3.2.3 à l'autonomie dans l'activité. Dans la sous section suivante, les parties 1.2.3.1 et 1.3.3.1 renvoient à l'aide à l'activité collaborative, les parties 1.2.3.2 et 1.3.3.2 de la mise en contexte de l'activité collaborative, les parties 1.2.3.3 et 1.3.3.3 de la gestion des process dans l'activité collaborative.

1.2 Collaboration en gestion de crise

La gestion de crise, c'est à dire la mise en place de la réponse face à un risque majeur (e.g. inondation, ou incident industriel), est une activité collaborative complexe qui se doit d'être efficace pour limiter les pertes humaines et matérielles. En effet, une réponse rapide est nécessaire, et pourtant une situation de crise est par définition rare et dégradée. Ainsi, ni les acteurs ni les populations ne sont habitués à réagir et à collaborer entre eux lorsqu'une crise survient. Cette activité collaborative, afin d'assurer une bonne réaction, repose sur des process renseignés dans le Plan Communal de Sauvegarde (PCS) pour la commune. Le but est d'arriver à réaliser une activité de collaboration, comme définie par (Yao, Turoff et Hiltz, 2010), qui dépasse le cadre de la collaboration impliquant une seule organisation ou équipe, mais qui s'intègre dans un contexte multi-organisationnel où la commune va devoir réagir en coopération avec notamment les services de secours (pompiers, forces de l'ordre) ayant leurs propres process (plans d'intervention).

1.2.1 Gestion de crise dans le projet

La gestion de crise peut se définir selon trois grandes phases : la pré-crise, le moment de la crise, et la post-crise. La pré-crise est une phase de prévention et de préparation qui comporte l'identification des risques, les actions de prévention, la mise en place du plan de réponse et l'entrainement. Le moment de la crise elle-même est déclenchée par un risque majeur (inondation, intempérie, incident industriel etc.). Chaque risque majeur présente une prévisibilité, et une cinétique propre. La post-crise se caractérise par un retour à la normale et la logistique associée.

La gestion de crise en France est régimentée. L'Organisation de la Réponse à la Sécurité Civile (ORSEC) est un dispositif défini par le Ministère de l'Intérieur. Il précise l'organisation de la sécurité civile, et les missions locales des acteurs. Il faut noter que le dispositif ORSEC s'appuie directement sur les réponses opérationnelles (non définies dans le dispositif lui-même) d'un ensemble d'acteurs au niveau local (entreprises présentant des haut risques technologiques, établissement d'accueil de personnes âgées, communes, Service Départemental

d'Incendie et de Secours SDIS, etc.). La réponse opérationnelle est ainsi propre aux acteurs, doit être définie par eux, et doit répondre aux missions qui leur sont attribuées par le dispositif ORSEC. La réponse opérationnelle proposée dans le cadre de ces missions doit s'articuler en respect de l'architecture globale de la sécurité civile dans ce dispositif (empilement de granularités et ensembles d'acteurs).

Selon les missions définies dans le dispositif ORSEC, les Maires sont les responsables de la gestion de crise au niveau de la granularité territoriale de la commune. La commune, sous la responsabilité du Maire, est chargée de rédiger le Plan Communal de Sauvegarde (PCS) pour répondre aux missions définies dans le dispositif ORSEC [3]. Cette obligation porte sur les communes dotées d'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) [4] ou dont le territoire est concerné par un Plan Particulier d'Intervention [5] (PPI) . Il est néanmoins conseillé de prévoir un PCS même en dehors de ce cadre. En particulier, le Maire est juridiquement responsable de la majorité des opérations des services de secours au niveau de la commune [6]. La rédaction d'un PCS doit permettre sous la responsabilité du Maire (1) de mieux se préparer aux missions de la commune dans le dispositif ORSEC, (2) une meilleure coordination avec les autres organisations impliquées (dont les pompiers).

La seule rédaction du PCS améliore ces deux points évoqués plus haut – *(1) se préparer aux missions définies dans le dispositif ORSEC, et (2) une meilleure coordination multi-organisationnelle* –, mais une vérification en situation dynamique est nécessaire.

Nous nous intéressons plus particulièrement à l'entrainement à la gestion de crise, durant la phase de préparation de la gestion de crise. Bien que notre système puisse être étendu à l'entrainement pour un ensemble de risques majeurs naturels, technologiques et de transports collectifs, nous considèrerons plus particulièrement par la suite le cas de la préparation à la réponse à risque majeur naturel d'une inondation en France. Un risque majeur d'inondation présente une phase de vigilance avec des informations fournies par des organismes de vigilances et des observations sur le terrain ou encore du grand public, des besoins d'évacuation variés (définition de la zone à évacuer, évaluation de la cinétique, évacuation verticale –*montée dans les étages*– ou horizontale –*évacuation de la zone*–, coordination avec les forces de l'ordre etc.).

Notre fil rouge est un exercice d'entrainement à la gestion de crise sur un scénario d'inondation, où la ville teste une partie de son PCS (Plan Communal de Sauvegarde). La gestion de la crise est structurée autour d'un Poste de Commandement Communal (PCC), dirigé par le Maire, et de deux cellules terrains, la Cellule Soutien (CS) et la Cellule Logistique (CL), dirigées par les adjoints du Maire. Durant la crise, la commune doit être en vigilance, lancer le plan approprié à la situation suite à des observations des deux cellules terrains CS et CL,

3. l'alerte et l'information des populations et des autorités, appui aux services de secours, soutien des populations dont hébergement et ravitaillement etc.

4. présentant au moins un risque de type avalanche, feux de forêt, inondation, mouvement de terrain, submersion marine etc.

5. i.e. où une installation industrielle dont un incident pourrait dépasser les limites de son enceinte peut affecter la commune. Les incidents concernés sont par exemple un accident nucléaire, une émanation de produits nocifs ou encore une rupture de barrage.

6. la fonction de Directeur des Opérations de Secours (DOS) ne peut être assurée que par le Maire jusqu'au niveau de la commune, et par le Préfet jusqu'à l'échelle départementale.

et organiser l'évacuation des zones qui seront inondées (en coordination avec les Pompiers) en mobilisant les ressources nécessaires.

Nous cadrons l'utilisation d'un système de soutien évaluatif en phase de pré-crise, en particulier durant l'entrainement à la gestion de crise face à une inondation. Ce contexte particulier est multi-organisationnel (plusieurs cellules, plusieurs organisations) et vise au développement et à la construction de l'activité collaborative pour la phase de crise.

1.2.2 Caractéristiques de l'activité collaborative de gestion de crise

Nous allons dans cette partie détailler les caractéristiques de la collaboration en gestion de crise de manière plus générale, ainsi que certaines subtilités de la gestion de crise en France. L'utilisation d'un système pour l'entrainement à la gestion de crise, bien qu'en phase de pré-crise, se repose sur les caractéristiques de la crise. La gestion de crise dépend en premier lieu des plans (process) qui la régissent, et qui ont pour but d'améliorer la collaboration en situation rare (partie 1.2.2.1). Ces plans et l'activité de crise sont ancrés dans le temps et l'espace. Pourtant, la dynamique de la crise est complexe (aléas, activité distribuée), et rend cette mise en contexte difficile, tant pour maintenir une vision globale durant la réponse de crise que pour penser les process tels que le PCS (partie 1.2.2.2). Les aléas de crise et la situation dynamique de la crise peuvent rendre les process non-adaptés à la situation, car ne permettant pas de répondre à l'obligation de résultat (limiter les pertes humaines et matériels) de la collaboration de gestion de crise. Il faut alors compter sur l'autonomie des acteurs humains pour réagir face à une situation rare et dégradée où les process ne sont pas adaptés pour fournir une réponse efficace (partie 1.2.2.3).

1.2.2.1 Existence de process formalisés pour réguler l'activité

En gestion de crise, il existe des process formalisés pour réguler l'activité, définis dans des plans. Ces plans définissent des rôles (Directeur des Opérations de secours, Chef de Cellules – Commandement, Logistique ou encore Soutien aux populations–, Chargé de Communication), des missions assignées à un rôle ou à des groupes d'acteurs et dépendant de l'activité des autres rôles ou groupes.

Les process permettent de penser et de définir en amont d'une situation une référence pour l'exécution d'une activité. Cela présente l'avantage, en gestion de crise par exemple, de ne pas avoir à organiser une activité *ad hoc*, et de pouvoir s'appuyer sur des procédures (cf figure 1.1, en haut à gauche, les missions associées au rôle du référent du maire auprès des Pompiers), des guides (cf figure 1.1, en haut à gauche, les consignes particulières) et des checklistes afin de réagir rapidement face à une situation rare (*cf* figure 1.1, en haut à droite).

Par exemple, les fiches *Mission* décrivent un rôle et ses missions, les ressources à disposition et le plan à suivre associé à des consignes particulières pour réaliser la mission confiée. Ces documents font partie du PCS. En haut de la figure 1.1, la fiche *Mission* est attribuée au rôle

Référent mairie au PCO, c'est à dire au représentant de la mairie auprès des pompiers. Un rappel rapide de sa mission est défini en haut du document (rester auprès des pompiers pour remonter les informations au Poste de Commandement Communal). En dessous, la section *Missions* indique les trois missions du rôle Référent PCO : remonter les informations au PCC des services de secours, ainsi que les besoins du terrain, et fournir au services de secours les informations utiles que le PCC peut leur transmettre. La section *Moyens à disposition* décrit l'ensemble du matériel présent dans la mallette PCS à destination du référent PCO : un chasuble avec le nom de la commune pour l'identifier facilement, talkie-walkie pour assurer une communication, éléments de cartographie (les mêmes que pour les autres acteurs de la commune), une main courante (un tableau permettant de noter tous les évènements se déroulant, tous les appels reçus et toutes les décisions prises)...

À droite de la figure, une check-list permet de faciliter la prise de poste du référent PCO : les éléments de la routine de mise en place sont listés un par un, de la mise de gilet, à la récupération de tous les éléments matériels jusqu'à l'activité principale (*point de situation régulier avec le PCC*).

La collaboration en gestion de crise au niveau communal repose sur le document PCS. Ce document contient en théorie l'ensemble des process de la commune pour supporter une activité collaborative de gestion de crise : fiches *Mission*, mais aussi un ensemble de cartes pour chaque risque envisagé avec les enjeux associés (*cf* figure 1.1, en bas à gauche, qui présente le sommaire de cartes pour les **c**artes des risques **t**echnologiques $-CT-$, pour les **c**artes des risques **n**aturels $-CN-$, ou encore (en bas à droite) des fiches recensant les ressources (incluant les véhicules communaux regroupés dans la fiche MOYEN_ 01, les moyens de transports privés réquisitionnables dans la fiche MOYEN_ 02, les moyens d'hébergement et d'accueil publics et privés – MOYEN_ 05 à _ 06).

Concrètement, un PCS se présente sous forme d'un ensemble de classeurs, qui formalisent la réponse à adopter, et un ensemble de matériel associé, par exemple stylos et papier, chasubles, talkiewalkies, paperboard, ou encore des clefs d'armoire (figure 1.2).

Ce document doit donc absolument être bien pensé, et envisager une grande variété de situations. Le PCS dépasse le rôle de simple document administratif, et doit constituer un outil pour la réponse de crise. Même bien défini, le PCS ne se suffit pas à lui-même, et les acteurs communaux doivent apprendre à utiliser, manipuler et consulter le document PCS afin qu'il soit opérationnel au sein de la commune et dans un contexte intra-organisationnel.

Le PCS ne constitue pas le seul process impliqué dans la régulation de la collaboration en gestion de crise. Nous avons évoqué l'articulation de l'activité de la commune avec d'autres organisations (pompiers par exemple) ayant leurs propres process. Il se peut alors qu'il y ait des *incohérences* entre les plans de différentes organisations humaines. Cela peut concerner notamment la répartition des efforts sur le terrain, la gestion des ressources et la vision de la situation, qui devraient être cohérentes entre les organisations pour que les process remplissent leur rôle en favorisant la collaboration inter-organisationnelle.

[redacted] Plan Communal de Sauvegarde
Classeur N°2 - Procédures
Page 1 sur 2
Version [redacted]
Sept. 2[redacted]

Fiche Mission n°[redacted]

Référent mairie au PCO (ou PC Pompiers)*

= élu d'astreinte

Le référent PCO doit rester en permanence auprès des services de secours pour remonter les informations au PCC

✓ **Missions :**
- Faire remonter au PCC les informations des services de secours
- Faire remonter au PCC les besoins identifiés sur le terrain
- Apporter au PCO les éléments utiles aux interventions de secours (connaissance des enjeux d'un secteur, connaissance des réseaux,...)

✓ **Moyens à disposition :**
- Gilet marqué avec le nom de la commune
- Talkie-walkie
- Mémo « PCS »
- Plans (cadastre, réseaux,...)
- Une main-courante avec des stylos

✓ **Consignes particulières :**
- Se faire rapidement identifier comme référent mairie auprès du PCO
- Rester en permanence au PCO
- Assurer une liaison avec le PCC en mairie
- Faire régulièrement des points avec le PCC en mairie

Lieu de regroupement :

Terrain - PCO

** **A savoir : le PCO** (Poste de Commandement Opérationnel) est situé sur le terrain au plus près du sinistre, en dehors du périmètre à risque. L'objectif du PCO est de coordonner toutes les actions des acteurs « terrain »*

[redacted] Plan Communal de Sauvegarde
Classeur N°2 - Procédures
Page 2 sur 2
Version [redacted]
Sept. 2[redacted]

Fiche Mission n°[redacted] - Référent PCO

Check-List : ☑ Cocher la case lorsque l'action a été faite

Gilet mis
Plans récupérés
Talkie-walkie ou moyen de communication récupéré
Mémo PCS récupéré
PCO identifié
COS identifié
Point de situation initiale avec le COS
Liaison avec le PCC établi
Point de situation régulière avec le PCC

* PCO : Poste de Commandement Opérationnel
** COS : Commandant des Opérations de
*** PCC : Poste de Commandement Communal (en Mairie)

Les cartes	
Accident industriel sur l'entreprise [redacted]	CT N°1
Accident industriel sur l'entreprise [redacted]	CT N°2
Transport de Matières Dangereuses par pipelines	CT N°3
transport par voie ferrée	CT N°4
Inondations et crues torrentielles	CN°1
Glissements de terrain	CN N°2
Effondrement de cavités minières	CN°3
Plan de déneigement de la [redacted]	EV N°1
Plan du réseau d'eau	EV N°2
Plan du réseau électrique Plan du réseau de télécommunications	EV N°3

[redacted] Plan Communal de Sauvegarde
Classeur N°3 - Outils
Page 1/1
Version [redacted]
Juillet 2[redacted]

Sommaire de la partie « Moyens »

Intitulé du moyen	N°
Véhicules communaux	MOYEN_01
Moyens de transport privés	MOYEN_02
Matériel communal	MOYEN_03
Matériel privé (curage des réseaux, fournisseurs de carburant, fournisseurs de bennes, groupes électrogènes entreprises de travaux publics, ...)	MOYEN_04
Centres d'accueil et d'hébergement communaux	MOYEN_05
Matériel privé pour les centres d'accueil (tables, chaises, percolateurs,...)	MOYEN_05_bis
Moyens d'hébergement privés (hôtel, gîtes,...)	MOYEN_06
Moyens de ravitaillement eau + nourriture (communal et privé)	MOYEN_07
Moyens d'alerte et de transmission	MOYEN_08

FIGURE 1.1 – Éléments du document PCS : en haut, une fiche mission dans le Plan Communal de Sauvegarde (PCS), en bas à gauche un sommaire des cartes disponibles, et en bas à droite un sommaire du classeur sur le matériel référencé.

FIGURE 1.2 – Photographie des éléments dans la mallette PCS d'une commune de la région Rhône-Alpes. En haut, la mallette contient du petit matériel (stylo, multi-prise), du matériel d'identification (chasubles, chevalets), et le PCS à proprement parler, organisé en classeurs. En bas, ces éléments en utilisation, dont le classeur en bas à droite de l'image et les cartes qu'il contenait déployées.

1.2.2.2 Contexte spatio-temporel pour situer l'activité distribuée

La collaboration en gestion de crise est contextualisée dans le temps et l'espace,. Cette dimension peut apparaitre au niveau de l'activité (temps de réalisation effectif d'une évacuation), et être explicitement évoquée dans les plans tels que le PCS : une zone géographique peut être liée à une action à réaliser (comme l'évacuation d'une zone), et une caractéristique temporelle peut préciser les attendus au sujet d'une action à réaliser (temps maximal lié à l'évacuation, dates butoirs). Même si les paramètres spatio-temporels sont bien définis en théorie, en pratique ces éléments peuvent être confrontés à la situation réelle (délais dans la propagation d'une information par exemple). En plus de la cohérence ou des incohérences statiques détectables en théorie (par une analyse des contraintes par exemple), il peut y avoir en pratique des incohérences effectives que nous appelons incohérences dynamiques, du fait de l'instanciation dynamique des plans (définis statiquement).

L'activité collaborative s'inscrit dans une situation dynamique, et il est important de voir si un process tel que le PCS y est bien adapté. Cela concerne la répartition dans l'espace des acteurs, voire les temps de trajet pour gérer la distribution géographique, la diffusion d'une information, et les liens entre les actions des différents intervenants répartis sur le terrain dans le temps et dans l'espace. Un outil adapté devra donc suivre l'activité globale en temps réel pour pouvoir évaluer le PCS.

Le PCS s'articule avec d'autres plans ayant leur propre logique temporelle, ce qui peut être l'origine de nouvelles incohérences. Les plans sont confrontés aux distances, à la répartition sur le terrain, aux temps de communications, au temps d'exécution, et à l'articulation entre les tâches en général, et en particulier dans l'articulation dans un contexte inter-organisationnel.

Outre la répartition des tâches dans le temps et l'espace, l'activité de crise est distribuée sur différents aspects, ce qui a des implications complexes dans son ancrage spatio-temporel. En premier lieu, toute activité de gestion de crise présente deux niveaux de décision : le niveau stratégique, le "quoi", qui réfère à la prise de décision, et le niveau tactique, le "comment", qui réfère à la mise en place opérationnelle. Il a donc une répartition temporelle (prise de décision suivie de l'action suivie de la remontée d'information) dans différents lieux (poste de commandement puis terrain puis poste de commandement) de la gestion de crise et de la prise de décision. En second lieu, la réponse de crise concerne au moins deux grands types d'intervention que sont le secours et la sauvegarde. Le secours est une activité curative, visant à traiter les victimes et les dégâts matériels, et prend donc place sur les lieux déjà sinistrés, après l'apparition des dégâts. La sauvegarde est une activité préventive, visant à limiter voire prévenir les victimes et les dégâts matériels, et prend place sur les lieux pas encore sinistrés mais qui ont une probabilité de l'être, avant l'apparition des dégâts. Un outil pour une activité collaborative supportée par des plans doit donc gérer le lien entre des actions avec l'espace et le temps, de manière dynamique. Ce lien peut concerner l'environnement et le temps dans l'absolu (par exemple représentation de la situation d'une zone géographique), ou en contexte des plans et de l'activité en cours (lien entre activités, durée d'une activité), au sein d'un même plan et entre les plans.

1.2.2.3 Activité à adapter

La collaboration en gestion de crise n'est pas seulement en contexte des plans tels que le PCS et les plans d'intervention des pompiers. Les plans peuvent ne pas être adaptés à la situation rencontrée, du fait de sa nouveauté (par exemple, un glissement de terrain a modifié la morphologie de la zone inondable), ou d'aléas et d'effets de bord non prévus.

Cela pose une nouvelle question de collaboration. Lorsque le PCS, ou un autre plan, n'est pas adapté à la situation dynamique, les acteurs doivent prendre la décision de le contourner afin d'assurer la cohérence de l'activité de gestion de crise.

Dans une telle configuration, le bon comportement des acteurs consiste à ne pas suivre les plans, pour assurer une bonne réponse de crise. En effet, afin de limiter les pertes humaines et matérielles en gestion de crise, les acteurs peuvent être amenés à favoriser des actions respectant des règles de sens commun, plutôt que de suivre les plans non adaptés à une situation. On peut percevoir plusieurs niveaux de règles en gestion de crise : le premier niveau est constitué des process officiels et de l'activité prescrite, tels que le PCS et les plans d'intervention des pompiers, alors que le deuxième niveau serait constitué de process plus génériques de sens commun en gestion de crise, telles que la non duplication des efforts.

L'analyse de ces actions est un challenge car nous ne pouvons ni faire l'hypothèse d'un plan parfait et cohérent, ni celle d'un comportement exemplaire des acteurs. Il faut préserver l'autonomie des acteurs, afin de leur laisser la possibilité de passer outre les attendus. Cette transgression peut être le bon comportement pour les acteurs.

1.2.3 Gestion de crise et aide à la collaboration humaine

Nous avons défini les caractéristiques de l'activité de gestion de crise, comme dépendante de process pour encadrer l'activité ancrés dans un contexte spatio-temporel, et devant s'adapter à la situation. Nous souhaitons réaliser un collecticiel pour le soutien évaluatif d'un CSCW de gestion de crise. Face à la complexité de la collaboration et des challenges d'analyse présentés dans la partie précédente, nous allons présenter ici les besoins génériques de la collaboration de la gestion de crise, en tant qu'activité collaborative pouvant être supportée par ordinateur, car distribuée, située dans un contexte et régimentée par de multiples process.

1.2.3.1 Gérer l'activité collaborative distribuée

La collaboration en gestion de crise doit être efficace, et est distribuée en termes géographique (répartition sur le terrain), de niveaux de décision (stratégique et tactique) et d'organisations humaines (sauvegarde, secours, force de l'ordre), comme nous l'avons présenté dans la partie 1.2.2.2.

Cette distribution implique la présence d'acteurs d'organisations différentes obéissant à

des règles différentes. En effet, les intervenants en gestion de crise ont des caractéristiques très différentes en terme de culture, de formation, de professionnalisation, et d'habitude de collaboration. Ainsi, le corps des pompiers et les forces de l'ordre (police, gendarmerie) constituent un public avec une culture de l'intervention, et une formation adaptée. Ils ont l'habitude du terrain et sont reconnus par les civils comme des figures d'autorité. Ils se côtoient régulièrement dans l'exercice de leurs fonctions. Les élus communaux et les personnels communaux ne sont pas formés à l'intervention, ne sont pas habitués à suivre des procédures et ne travaillent pas régulièrement en coopération avec les pompiers et les policiers.

Un soutien à la collaboration en gestion de crise doit pouvoir suivre cette distribution, à travers la construction d'un espace partagé via un outil informatique, permettant de prendre en charge la répartition géographique et l'activité distante, permettant de concevoir différents types d'activité pour gérer la distribution des niveaux de décision, et intégrant la possibilité de représenter différentes organisations humaines.

1.2.3.2 Mettre en contexte

Nous venons de voir comment, de cette distribution décisionnelle, humaine et géographique découle une vision de la crise parcellaire au niveau individuel, dans une situation où une conscience globale est nécessaire. Ces visions parcellaires doivent donc être partagées, et croisées avec d'autres informations, telles que l'interprétation locale de la situation, qui seront potentiellement nuancées voire contradictoires. Chaque acteur va appartenir à une organisation humaine, et en cela va influencer sa vision de la situation, qui sera ancrée dans (les règles de) l'organisation à laquelle il appartient. Tout comme l'information elle-même, la manière de traiter l'information, de réagir à l'information et de communiquer l'information selon les règles et process des organisations de chaque acteur peuvent être différente, imprécise voire contradictoire avec les règles et les process et les réactions des autres organisations, acteurs et groupes d'acteurs.

La dimension spatio-temporelle particulière de la crise ancre la vision des acteurs dans un contexte local. Il devient alors difficile de maintenir une vision globale souhaitée. La mise en place d'une vision commune à travers tous les acteurs de la gestion de crise nécessite un partage des visions en place, dans un contexte où les réseaux peuvent être endommagés (télécommunication, axes routiers et ferroviaires, eau potable et électricité), et les ressources peuvent êtres difficilement accessibles à cause de l'état des réseaux, de leur dégradation par la situation, ou à cause de leur sur-utilisation.

Il peut alors être intéressant de pouvoir supporter la connaissance d'un contexte global grâce à un outil informatique, au moins durant un entrainement à la gestion de crise pour développer une connaissance globale de la situation de crise. Ce contexte porte à la fois sur l'activité de crise en cours, avec sa dimension spatiale et temporelle, mais aussi sur les process.

1.2.3.3 Gérer les process selon plusieurs fils

Nous venons d'aborder la gestion globale du contexte grâce à un outil informatique. Ce contexte porte à la fois sur l'activité de crise en cours, avec sa dimension spatiale et temporelle, mais aussi sur les process. La collaboration de gestion de crise est régimentée par missions, mises en œuvre par des plans. La gestion de crise est encadrée en France selon un empilement de granularité du territoire (du niveau national au niveau communal) par un cadre législatif qui définit précisément les acteurs impliqués et leurs missions, mais pas les plans qui sous-tendent ces missions. Ainsi, les plans d'intervention sont à définir par les acteurs en charge de ces missions, localement au cas par cas pour chaque niveau de granularité.

L'entrainement permet de rendre effectif les avantages identifiés pour la rédaction d'un PCS, en permettant aux acteurs de s'approprier (1) le document et (2) sa manipulation. Un système informatique pour le soutien de la collaboration en gestion de crise devra gérer plusieurs fils de process. En effet, il est compliqué d'avoir en amont une vision temporelle dynamique de l'ensemble des missions réalisées durant un évènement. Par exemple, il est difficile de juger si un acteur particulier va être débordé ou sous-sollicité dans le cadre de ses différentes missions et rôles durant une crise. De même, les ressources peuvent devoir être utilisées toutes en même temps si trop de missions en requérant se déroulent en parallèle. Également, des situations de duplications d'efforts ainsi que des zones oubliées peuvent apparaitre si les acteurs s'en tiennent aux réponses prévues au sein le PCS et dans les autres process. Enfin, le lien dynamique entre le résultat d'une mission et une autre peut ne pas avoir été appréhendé, par exemple si le rôle de la Cellule de Communication est de faire connaitre les zones à évacuer, elle doit en être informée par le Poste de Commandement en charge de les définir.

1.2.3.4 Collecticiels : aides à l'activité de gestion de crise existants

Face aux challenges que représente la collaboration en gestion de crises, des collecticiels ont été proposés. Ces collecticiels concernent notamment l'aide à la gestion de crise durant la situation, la préparation à la crise en s'entrainant dans un environnement immersif et la définition des process en amont de la crise.

Afin de mieux gérer une situation de crise, certains systèmes permettent de visualiser efficacement l'information et de la partager, comme celui proposé par (Cai, 2005). Ce système combine informations renseignées en amont de la crise et les données terrains récupérées en temps réel (*cf* figure 1.3). Pour partager des informations terrains et fournir une vision globale d'une situation, Cernea et al., 2012 propose un système avec des technologies de table tangible et des brassards électroniques portés par les acteurs sur le terrain. Ce système a été utilisé durant des exercices grandeur nature, et permet de visualiser automatiquement, sur la table tangible, l'activité enregistrée par les brassards. La manipulation de la table tangible permet d'envoyer des informations sur l'écran présent sur les brassards (*cf* figure 1.4). Ce système facilite la prise de décision et la communication Humains-Humains en prenant automatiquement en charge la visualisation et l'envoi des données. Ces systèmes se basent sur la gestion et le partage de multiples éléments de contexte, sans proposer de retours sur les

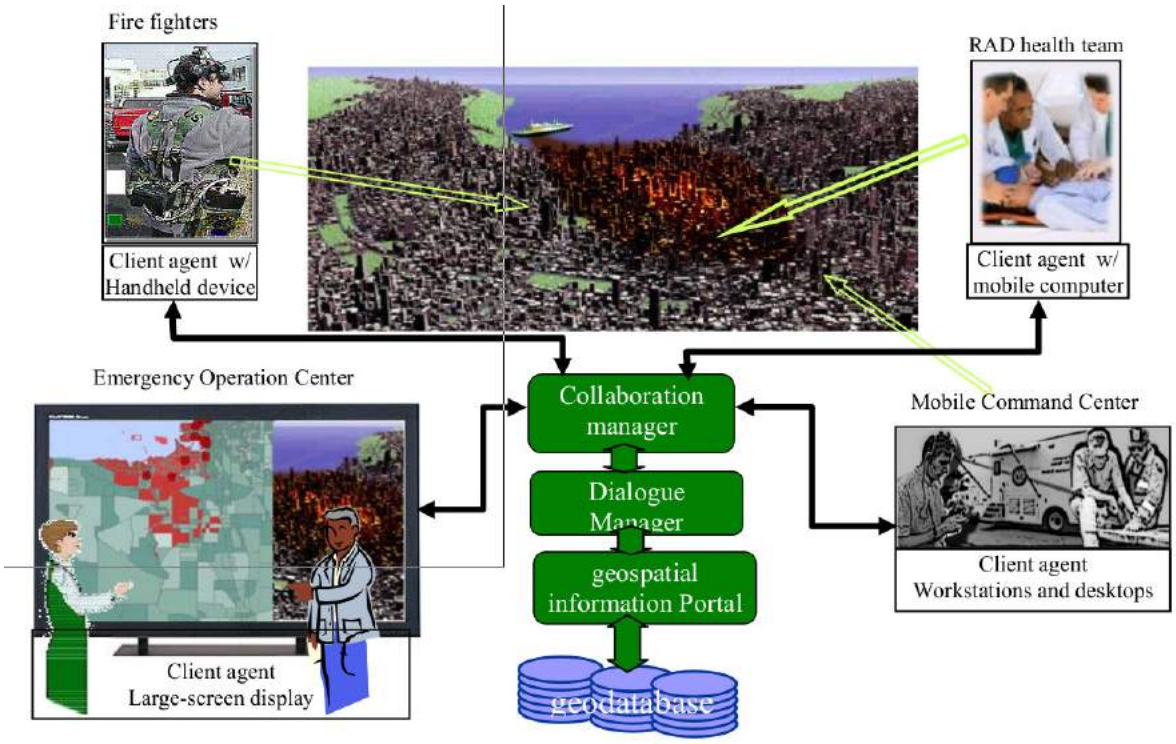


FIGURE 1.3 – Illustration tirée de CAI, 2005 illustrant la mise en place d'un système combinant informations géospatiales avec la production de données de terrain. Les informations peuvent être manipulées sur un grand écran ou sur des dispositifs mobiles.

FIGURE 1.4 – Illustration tirée de (CERNEA et al., 2012) illustrant la mise en place d'un système combinant l'utilisation d'une table tangible avec un dispositif portable de type brassard pour les acteurs sur le terrain (à gauche de l'image). Une partie de la visualisation (à droite de l'image) et de l'envoi d'informations est prise en charge automatiquement par le système.

process de gestion de crise.

Également utilisé en entrainement, le projet européen Palcom porte sur la technologie "palpable", en partie appliquée à la gestion de crise. Les technologies "classiques" digitales distribuées et géolocalisées permettent de virtuellement co-localiser des personnes, des lieux (être virtuellement à plusieurs endroits à la fois) et des ressources (partager des ressources distantes). Pour autant, l'aspect immatériel de ces technologies associé à leur déploiement "transparent" (i.e. intuitif et invisible pour l'utilisateur, comme dans la domotique par exemple) ne permet pas d'exploiter tout le potentiel des applications multi-organisations distribuées et co-localisées. La technologie palpable permet, en inscrivant des informations dans l'environnement, de mieux développer une conscience partagée de la situation, une capacité clef en gestion de crise, en identifiant clairement les informations en jeu (*cf* figure 1.5). Dans l'approche proposée par ces travaux, les participants sont distribués, s'appuient sur des supports digitaux (tablettes), et disposent d'un affichage en 3D, manipulable et annotable où il est possible de dessiner. Les informations nécessaires sont inscrites et situées dans leur contexte, ce qui favorise la prise de décision sur le terrain (BÜSCHER et MOGENSEN, 2007). Ce système ajoute des éléments d'informations situés dans leur contexte, et ne prend pas en charge la gestion des process.

À travers ces exemples, le partage d'information en gestion de crise passe par le fait de (1) visualiser efficacement l'information selon les besoins, (2) partager ces informations entre les utilisateurs, et (3) rendre intelligibles et explicites les visions multi-organisationnelles.

Certains outils de formation reposent sur la simulation, notamment dans un contexte collaboratif. Ils visent alors à faire travailler la communication entre groupes et le savoir être en immergeant les utilisateurs dans un environnement de gestion de crise. Certains outils sont très flexibles et suivent une trame que l'animateur peut définir et modifier, comme iCrisis utilisé pour l'entrainement (*cf* figure 1.6). Il s'agit de placer trois groupes appelés cellules dans une situation complexe et incertaine, et de leur permettre de communiquer entre elles à travers une interface web (VERDEL et al., 2010). D'autres systèmes sont plus réalistes en

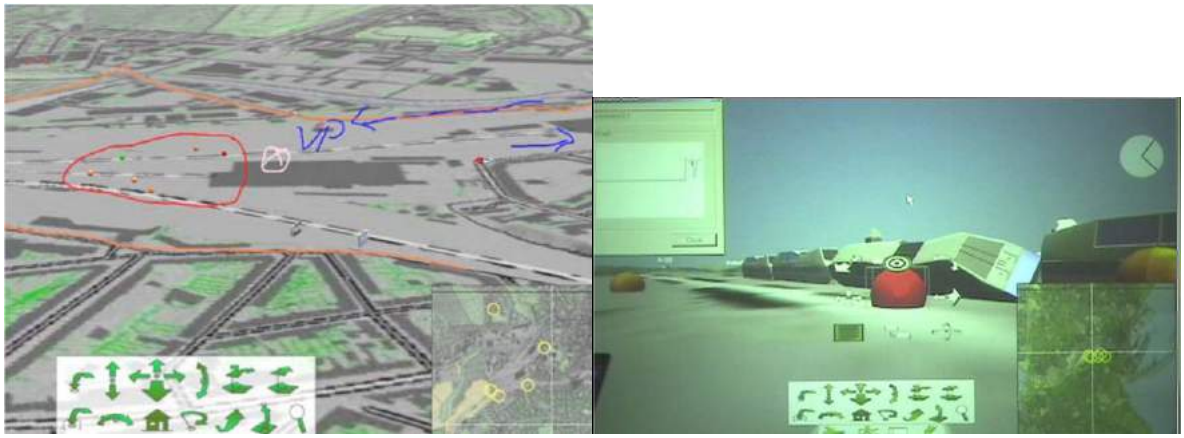


FIGURE 1.5 – Illustrations de la technologie *palpable* pour la gestion de crise Palcom tirées de (BÜSCHER et MOGENSEN, 2007) dans un exemple de mise en place d'informations palpables. À gauche, l'organisation des entrées, sorties et zones d'attentes (VP) par rapport au site d'un incident. À droite, les victimes critiques sont indiquées par une sphère rouge.

FIGURE 1.6 – Illustrations de l'environnement proposé par iCrisis. À gauche, l'écran d'interaction entre les cellules distribuées. À droite, un exercice réalisé avec iCrisis, où l'écran d'interaction entre les cellules distribuées apparait vidéo-projetée (issues de https ://youtu.be/3I4kSJOMMjs et icrisis.wix.com).

termes d'environnement virtuel. Le simulateur de formation de sapeur-pompier présenté dans (Dugdale et al., 2004) permet à des utilisateurs de contrôler un avatar virtuel représentant un personnage de la simulation (commandant des Pompiers, gérant et clients d'un hôtel en feu). Le contrôle des gestes non verbaux (se protéger du feu, regarder un interlocuteur) est pris en charge par l'intelligence artificielle tandis que la possibilité d'actions offertes aux joueurs a été testée pour être proche de la réalité. CRIMSON combine la simulation et la réalité virtuelle pour former les gestionnaires de crise et les équipes de terrain, etc. en permettant de planifier et de répéter des missions critiques au cours d'opérations de crise et de sécurité simulées (Balet et al., 2008). Avec l'objectif de créer une image opérationnelle commune, le système offre des facilités pour la création de scénarios complexes ancrés dans l'environnement. Ces scénarios sont une base commune entre les joueurs, qui peuvent alors définir leur action, la communiquer et la partager avec tout type d'outils (texte et courriel, radio, vidéo...). Ce partage des connaissances complexes, en temps critique, permet de confronter les joueurs aux limites organisationnelles ou culturelles. Pour ces trois solutions, bien que mettant en lumière les incohérences dynamiques *in situ*, les process ne sont pas représentés dans le système.

Le système de PANDORA, issu du projet INDIGO financé au titre du programme FP7 de la Commission européenne, utilise quant à lui un environnement de support numérique complexe (*cf* figure 1.7) pour les dirigeants en formation sur la planification stratégique (Bacon, Windall et MacKinnon, 2012). Pourtant, ce système ne gère pas la distribution stratégique/tactique.

L'ADMS (un simulateur de gestion des catastrophes de pointe) est un système de formation aux situations d'urgence et à la gestion de catastrophes visant à former les équipes de commandement et les premiers intervenants dans un environnement en temps réel avec réalité virtuelle interactive (Louka et Balducelli, 2001). L'ADMS présente la possibilité de formaliser les attendus de la gestion de crise à évaluer par l'animateur de l'exercice, qui pourra valider chacun de ces éléments durant l'exercice. Cela permet de définir en amont les attendus en gestion de crise, et de pouvoir les utiliser pour le débriefing. En revanche, le retour d'expérience n'est pas supporté par le système informatique.

Ces collecticiels permettant l'immersion en situation de crise permettent de réagir face à la crise, et de confronter l'activité humaine face aux process dans un contexte de gestion de crise. Pourtant, l'analyse de l'activité dans le cadre des process est laissée aux Humains (potentiellement des animateurs de la simulation).

Les collecticiels sont également utilisés pour définir en amont de la crise les process pour soutenir la collaboration en gestion de crise. Un outil appelé Virtual Collaborative Environment (VCE) permet d'améliorer la planification distribuée en gestion de crise (Wickler et al., 2011), non pas en mettant les acteurs en situation de crise, mais en simulant des "réunions" et des outils pour prendre en charge en amont la planification de la crise. VCE vise à soutenir une communauté d'experts et d'intervenants de crise. Il a été élaboré par les organisations gouvernementales et civiles internationales dans le but de contribuer aux activités de planification de réponse en situation de crise grâce à la mise en commun de leurs connaissances spécialisées. Selon les auteurs, l'idée est de "mieux produire de meilleures solutions" en amont, en regroupant les experts. Comme VCE, l'outil Collario vise à soutenir la collaboration entre un groupe de

FIGURE 1.7 – Illustration de l'environnement virtuel offert par le système PANDORA (issue de http ://www.researchinlearningtechnology.net/index.php/rlt/article/viewFile/7780/10449/29687).

FIGURE 1.8 – Illustration de l'environnement virtuel offert par le système VCE, qui montre à gauche l'interface de l'outil, au centre l'espace 3D qui organisent les outils utiles pour la réunion, et à droite un outil pour la construction de cartes conceptuelles (en haut) et pour visualiser les personnes ressources présentes (en bas)(issue de http ://www.aiai.ed.ac.uk/project/ix/documents/2010/2010-ksco-tate-openvce-woscr.pdf).

participants de différentes organisations, en créant des scénarios d'exercices pour redéfinir les process de gestion de crise. Plus précisément, Collario permet aux équipes virtuelles d'experts connectés de créer et de discuter des scénarios d'urgence en ajoutant des détails (comme la description des situations), et la réponse à des évènements (qui peut par ailleurs mobiliser des ressources) (YAO, TUROFF et HILTZ, 2010). Ce dernier type de système permet de faire créer les process de la gestion de crise par des experts humains. Mais ces process ne sont pas testés en situation, et ils ne sont pas évalués.

En gestion de crise, nous avons pu identifier des systèmes pour l'immersion dans une situation de crise, pour l'aide à la gestion de crise et pour la définition de process pour soutenir la gestion de crise. Un système de soutien évaluatif évaluant à la fois les actions et les process durant la réalisation des actions n'a pas été développé à notre connaissance.

Nous souhaitons rappeler et préciser le rôle du système à réaliser. L'appropriation du PCS nécessite de laisser les utilisateurs réaliser les actions qu'ils pensent devoir réaliser en situation de crise. Il n'est donc pas pertinent de réaliser une aide à la décision en exercice si cette aide à la décision n'est pas disponible en gestion de crise réelle. Ainsi, la principale problématique n'est pas l'aide à la décision active ni une aide à la collaboration active dans la conception de notre système pour le soutien évaluatif. Nous souhaitons pouvoir fournir un support immersif à la réalisation d'une activité de crise, et de fournir un retour aux utilisateurs sur leur activité et sur les process régissant ces activités. Nous allons maintenant nous intéresser aux exercices de gestion de crise actuels, qui tentent de fournir ces retours aux utilisateurs.

1.2.4 Soutien évaluatif de la préparation à la gestion de crise

Nous venons de voir un ensemble de système d'aide à la gestion de crise dans la partie 1.2.3.4. Un ensemble d'aspect des contextes et des process est pris en charge, l'évaluation simultanée en temps réel de l'activité de crise et des process de gestion de crise n'a pas été réalisée à notre connaissance. Ce soutien évaluatif est actuellement pris en charge par les professionnels de la gestion de crise durant les exercices d'entrainement sur table et grandeur nature. Les exercices actuels de gestion de crise, papier ou grandeur nature, servent à réaliser un soutien évaluatif à des joueurs, à l'aide d'observateurs et d'animateurs humains durant un scénario de gestion de crise. Après avoir présenté ces modes d'entrainement (partie 1.2.4.1), nous dégagerons les besoins du soutien évaluatif pour la gestion de crise (parties 1.2.4.2, 1.2.4.3 et 1.2.4.4).

1.2.4.1 Soutien évaluatif actuel

Deux grands formats d'exercice à la gestion de crise existent : l'exercice papier, qui est un jeu de rôle sur table, et l'exercice grandeur nature, qui permet de simuler la crise dans sa richesse logistique.

Avec un exercice papier, l'appropriation et la manipulation du PCS sont favorisées par un système pédagogique d'essais-erreurs. L'exercice grandeur nature est quant à lui le plus proche de la situation réelle mais le plus compliqué à mettre en place. Il est plus couteux en termes de temps, d'argent, de mobilisation et d'information de la population (pour éviter toute panique). L'exercice grandeur nature va mettre en exergue des réalités logistiques et le savoir être des joueurs à travers sa dimension immersive. Les exercices en gestion de crise présentent dans tous les cas les éléments suivants :

— un scénario à dérouler
— des joueurs, aussi appelés acteurs
— au moins un animateur
— des observateurs
— la mise en place d'un retour d'expérience
— une phase de consultation du PCS.

Si la dimension pédagogique (exercice papier) ou si la dimension immersive (exercice grandeur nature) est favorisée, certains de ces éléments vont être plus ou moins abordés efficacement. L'idéal serait de proposer un outil proche des mécaniques des jeux de rôles papier, pouvant être rejoués, et immersif afin d'intégrer fortement la dimension de savoir être. Les problématiques telles que le degré de précision de la gestion logistique des ressources doivent pouvoir être ajustables à la maturité de l'équipe entrainée afin d'être en cohérence avec les objectifs pédagogiques.

Le but de l'entrainement à la gestion de crise au niveau communal est de fournir des retours d'expérience, grâce aux analyses de l'animateur et des observateurs, à propos de :

— l'appropriation et le bon suivi du PCS, en ce qui concerne les joueurs

— la justesse du PCS, pour en améliorer la rédaction
— le savoir être des joueurs, grâce à une mise en situation
— l'articulation entre le PCS de la commune et les spécifications d'autres organisations.

L'appropriation et le suivi du PCS doit se vérifier durant la gestion de crise (simulée dans le cadre de l'exercice). Cela nécessite de faire le lien entre l'activité mise en œuvre par les actions des joueurs, les plans qui définissent le cadre des actions à réaliser et la situation dans laquelle va s'inscrire l'application du plan.

Cette analyse est difficile à réaliser dans la forme actuelle des entrainements, notamment à travers le caractère distribué de l'activité collaborative. Nous aborderons cela dans la partie 1.2.4.2.

Nous aborderons dans la suivante (partie 1.2.4.3) l'évaluation du savoir-être et de la justesse du PCS (points 2 et 3 ci-dessus) simultanément. Cela est actuellement compliqué, car l'activité collaborative doit être évaluée à la fois dans le cadre du PCS, et doit à la fois s'en détacher car le PCS est lui-même évalué. Nous aborderons comment cela est rendu possible grâce aux deux niveaux de règles (plan et sens commun évoqués en 1.2.2.3).

Nous verrons enfin dans la partie 1.2.4.4 comment l'articulation entre différentes organisations nécessite un soutien évaluatif prenant en compte différentes perspectives. Cela est actuellement difficile dans les entrainements n'utilisant pas de système informatique, car il est nécessaire de maintenir dynamiquement les perspectives organisationnelles de chaque organisation, et de les comparer à chaque action, tout en évaluant la gestion de crise dans sa globalité.

1.2.4.2 Suivre et enrichir l'activité

L'appropriation et le suivi du PCS par les acteurs ne peuvent se vérifier que durant l'activité de gestion de crise, simulée durant un exercice d'entrainement. Comme nous l'avons évoqué en section 1.2.3, évaluer cette appropriation et ce suivi nécessite d'inscrire l'activité dans les contextes et les process, malgré la distribution. Le lien entre plan et action est soumis à des réalités spatiales et temporelles. Par exemple, une obligation d'évacuer ne sera remplie qu'une fois que le temps nécessaire pour finir l'évacuation sera écoulé. Cette obligation renvoie aussi à un lieu donné, à travers la zone à évacuer.

Un système informatique doit pouvoir, pour soutenir l'évaluation, être à même de modéliser, de suivre et d'analyser (au sens évaluer, donner une appréciation l'activité) dynamiquement l'activité globale.

Plus précisément, les actions de l'activité collaborative de gestion de crise sont situées dans l'espace et dans le temps : lieu de début, lieu de fin, distance, superficie de l'action et temps de début, durée, temps de fin, récurrence de l'action. Cette dimension située vaut de plus pour les relations entre actions : l'hébergement des personnes évacuées d'une zone doit être hors de cette zone, le moment de l'ouverture du lieu d'hébergement doit avoir lieu avant l'accueil des personnes.

Ces actions sont également situées dans l'espace et le temps des process qui définissent l'activité collaborative. Une obligation, une permission ou une interdiction peut associer un temps et un espace limité d'exécution à une action, ainsi que des dépendances spatio-temporelles avec d'autres actions.

Les dépendances spatio-temporelles des actions peuvent également exister pour les règles de sens commun régissant une bonne collaboration. Par exemple quand un ensemble de zones doit être évacué, il y a interdiction de ne pas évacuer une des zones concernées.

La dimension spatio-temporelle est complexe, car elle concerne les actions collaboratives réalisées, seules et en lien avec les autres actions, ainsi que les actions dans le cadre des process de l'activité collaborative et dans le cadre des règles de sens commun.

À destination des utilisateurs distribués, un système de soutien évaluatif doit pouvoir enrichir l'activité collaborative à travers les actions dans leur contexte local, tout en suivant, en utilisant et en partageant le contexte global.

Plus précisément, le système informatique doit pouvoir prendre en compte le contexte distribué, avec des acteurs réalisant des actions selon leur activité locale. Le système informatique doit analyser toute action dans un contexte collaboratif, c'est à dire dans un contexte global incluant l'ensemble des acteurs distants et de leurs actions distantes.

Le système pourra alors transmettre le résultat de l'évaluation de l'action des acteurs (dans une vision globale en temps réel). Ceci est une première valeur ajoutée face aux exercices actuels, où chaque évaluateur a une vision locale. De plus, le système peut soutenir l'activité en faisant partager localement aux acteurs l'activité réalisée à distance. Cela est une valeur ajoutée par rapport aux exercices classiques, car il est ainsi possible d'avoir conscience en temps réel de qui fait quoi, même à distance, ce que ne peuvent pas réaliser les animateurs et les évaluateurs d'un exercice.

Un outil de soutien évaluatif, afin d'apporter une valeur ajoutée dans une activité collaborative *distribuée* doit maintenir (comme base à l'évaluation) et partager (comme base au soutien) dynamiquement (pour un soutien évaluatif en temps réel) la situation globale. Maintenir et partager l'activité collaborative dynamiquement et globalement servent respectivement de base à l'analyse de la situation par le système et par les acteurs.

1.2.4.3 Suivre et préserver l'autonomie

Nous venons de voir comment un outil de soutien évaluatif doit maintenir et partager la situation globale dynamiquement, comme base de l'analyse du système et des acteurs. L'analyse de l'activité pour un système de soutien évaluatif doit passer par l'évaluation simultanée du savoir-être des acteurs et de la justesse du PCS. Cela est le cœur du soutien évaluatif, qui propose de faire un retour à la fois sur l'activité et sur les process.

Il est difficile d'évaluer ces deux aspects simultanément. En effet, comme nous l'avons vu en 1.2.2.3, le savoir être des joueurs dépend du suivi du PCS, selon s'il est correct ou non. Or,

l'aspect correct ou non est également à évaluer.

Dans un exercice de préparation à la gestion de crise, les animateurs et observateurs doivent évaluer l'action du joueur en fonction de ce qui est attendu par l'organisation, c'est à dire en fonction des plans comme le PCS, et évaluer si la réponse de gestion de crise est bonne, c'est à dire en fonction du respect du sens commun dans l'action collaborative. Nous voyons qu'une évaluation simultanée est rendue possible grâce aux deux niveaux de règles (plan et sens commun évoqués en 1.2.2.3.

Comme détaillé dans le tableau 1.1, suivre un process, comme le PCS, est adapté ou non selon que la qualité de la collaboration, selon les règles de sens commun, est respectée ou non.

Tableau 1.1, ligne 2 colonne 2 : le suivi du PCS respecte les règles de sens commun à propos de la collaboration. Si le process est suivi, et que les règles de sens commun sont respectées, alors le plan est approprié à la situation. Le savoir-être et le PCS sont bons.

Tableau 1.1, ligne 2 colonne 3 : ne pas suivre le PCS a tout de même amené à un respect des règles de sens commun. S'il y a un respect des règles de sens commun malgré un non-respect du PCS, il est possible que le process (définissant par exemple une évacuation) n'est pas été approprié. Dans une telle situation, par exemple si le maire outrepasse le PCS et a bien respecté les règles de sens commun (par exemple en évacuant toutes les zones à évacuer), il est envisageable que le respect du PCS n'aurait pas amené au respect des règles de sens commun. Cela est donc une action valide.

Tableau 1.1, ligne 3 colonne 2 : suivre le PCS n'a pas permis le respect de règles de sens commun. S'il n'y a pas de respect des règles de sens commun malgré un respect du PCS, le PCS n'est pas correct. Par exemple, si le maire suit le PCS mais oublie tout de même une zone à évacuer, le PCS amène à des situations de non respect des règles de sens commun, et doit donc être corrigé.

Tableau 1.1, ligne 3 colonne 3 : ne pas suivre le PCS n'a pas permis le respect de règles de sens commun. S'il n'y a pas de respect des règles de sens commun malgré un non-respect du PCS, il est possible que le process est été correct. Par exemple, si le maire ne suit pas le PCS mais oublie tout de même une zone, le suivi du PCS aurait éventuellement amené à évacuer cette zone. Dans tous les cas, la transgression du PCS n'est pas justifiée.

Un système informatique doit pouvoir, pour soutenir l'évaluation, être à même de modéliser, de suivre et d'analyser dynamiquement l'activité selon différents critères d'évaluation, même pour une seule organisation.

Un système informatique réalisant cela présente une valeur ajoutée par rapport aux évaluateurs et aux animateurs dans les entrainements classiques, car il peut suivre les process et les règles de sens commun globalement et dynamiquement.

À destination des utilisateurs distribués, un système de soutien évaluatif doit pouvoir enrichir l'activité collaborative à travers une évaluation de leurs actions selon des critères différents.

TABLE 1.1 – Différents niveaux de process sont à évaluer lors d'un exercice. Les plans (comme le PCS) et les règles de sens commun peuvent être corrects ou non, et dans ce cas suivre le plan ou non sera la bonne décision de la part des acteurs. Afin de définir cela, le fait de mettre en regard le suivi du PCS et des règles de sens commun donne une indication intéressante.

Conclusions en fonction du suivi des règles de sens commun et du PCS		
Suivi du PCS Suivi des règles de sens commun	**Oui**	**Non**
Oui *Exemple*	PCS correct *Le maire suit la procédure d'évacuation, et il n'y a pas de zone non évacuée*	PCS potentiellement non correct (il était peut-être justifié de ne pas le suivre car cela a amené à une bonne collaboration) *Le maire ne suit pas la procédure d'évacuation, et il n'y a pas de zone non évacuée*
Non *Exemple*	PCS non correct, il doit être corrigé *Le maire suit la procédure d'évacuation, et il y a une zone à évacuer non évacuée*	PCS potentiellement correct *Le maire ne suit pas la procédure d'évacuation, et il y a une zone à évacuer non évacuée*

Dans ce contexte, le système informatique doit avoir assez d'autonomie pour accepter les actions non attendues dans les process, et pour pouvoir les analyser. En regard, les acteurs doivent pourvoir réaliser toute action, même non prévue, à travers l'outil informatique.

Un outil de soutien évaluatif, afin d'apporter une valeur ajoutée dans une activité collaborative *analysée selon plusieurs critères* doit permettre toute action (comme base à l'évaluation) et en partager l'analyse (comme base au soutien) dynamiquement (pour un soutien évaluatif en temps réel). Permettre et partager l'analyse de l'activité collaborative dynamiquement servent respectivement de base à l'analyse de l'activité collaborative par le système et par les acteurs.

1.2.4.4 Suivre et améliorer les process

Nous venons de voir comment un outil de soutien évaluatif doit maintenir et partager la situation globale dynamiquement, comme base de l'analyse du système et des acteurs. À cela s'ajoute la nécessité de permettre différentes actions et de pouvoir les analyser selon différents critères et d'en réaliser un retour. Nous argumenterons dans cette section la nécessité d'aborder ces aspects selon un angle multi-organisationnel.

En effet, dans un contexte multi-organisationnel, les règles de sens commun pour une bonne

collaboration seront indépendantes des différents process. En revanche, un process particulier (par exemple le PCS) peut avoir été suivi et un autre process (comme le plan d'intervention des pompiers) peut ne pas avoir été suivi pour des règles de sens commun données. Il faudra alors réaliser une analyse en contexte de chaque process.

Nous identifions et illustrons dans le tableau 1.2 quatre problématiques (duplication d'effort, incohérences, non réalisation explicite et non réalisation latente) qui correspondent au non respect de règles de sens commun.

Tableau 1.2, ligne 2 : duplication d'effort. Deux organisations (commune et pompiers) ont une vision de leur action à réaliser, qui n'intègrent pas une représentation de l'activité de l'autre organisation. Dans ce contexte, les deux organisations peuvent être amenées à réaliser une même action qui ne devrait pas être réalisée deux fois.

Tableau 1.2, ligne 3 : incohérence. Deux organisations (commune et pompiers) ont une vision de leur action à réaliser, qui intègrent une représentation de l'activité attendue de l'autre organisation. Dans ce contexte, les deux organisations peuvent être amenées à avoir une représentation incohérente une même action, qui devra être réalisée selon une organisation (par exemple, selon la commune le maire doit réaliser l'évacuation) et qui ne devra pas être réalisée selon l'autre organisation (par exemple, selon les pompiers le maire ne doit pas réaliser l'évacuation).

Tableau 1.2, ligne 4 : non réalisation explicite. Deux organisations (commune et pompiers) ont une vision de leur action à réaliser, qui intègrent une représentation de l'activité attendue de l'autre organisation. Dans ce contexte, chacune des deux organisations peut être amenée à attribuer explicitement une action à l'autre organisation, qui ne sera réalisée par aucune organisation (par exemple, selon la commune le commandant des pompiers doit réaliser l'évacuation, alors que selon les pompiers c'est au maire de réaliser l'évacuation).

Tableau 1.2, ligne 5 : non réalisation latente. Deux organisations (commune et pompiers) ont une vision de leur action à réaliser, qui n'intègrent pas une représentation de l'activité de l'autre organisation. Dans ce contexte, chacune des deux organisations peut être amenée à s'interdire explicitement une action, qui ne sera réalisée par aucune organisation (par exemple, la commune s'interdit de réaliser l'évacuation alors que les pompiers se l'interdisent également).

Un système informatique doit pouvoir, pour soutenir l'évaluation, être à même de modéliser, de suivre et d'analyser dynamiquement l'activité selon différentes perspectives organisationnelles simultanément.

Pour pouvoir identifier les incohérences inter-organisations, il faut pouvoir analyser chaque action sous le prisme des obligations, permissions et interdictions de chaque process en jeu, et en déduire les différences d'analyse. De plus, il faut pouvoir identifier les incohérences relevant du non respect du sens commun de la collaboration inter-organisation. Cela permet d'analyser la situation où un groupe de process peut avoir laisser un "vide" au niveau des actions à réaliser, quand ces actions ne sont définies dans aucun process (pour les incohérences tacites, dans le cas d'actions définies ni pour les attendues d'une organisation elle-même, ni pour les

attendues des autres organisations du point de vue de cette première organisation).

Un système informatique réalisant cela présente une valeur ajoutée par rapport aux évaluateurs et aux animateurs dans les entrainements classiques, car il peut suivre dynamiquement les process indépendamment contextualisés dans l'activité globale, et les règles de sens commun.

À destination des utilisateurs distribués, un système de soutien évaluatif doit pouvoir enrichir l'activité collaborative à travers une évaluation de leurs actions selon des perspectives correspondant à des visions d'organisations différentes.

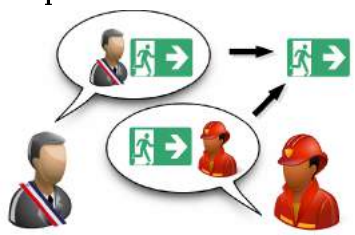
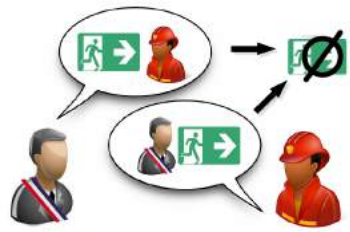
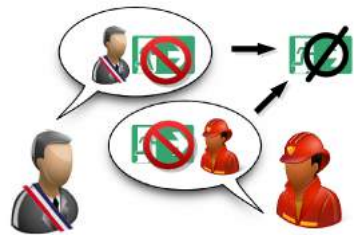
Il faut pouvoir tolérer la présence de process incohérents entre eux, même s'ils présentent des liens et des dépendances au sein d'une même organisation, et entre organisations (*cf* tableau 1.2). Cela est vrai à la fois pour les process (activité attendue), mais aussi lors du déroulé des actions (activité réelle) des acteurs de la crise. Car, afin de réaliser un outil utilisable par les acteurs de la gestion de crise, notre système doit accepter les incohérences statiques [7] et les incohérences dynamiques [8]. Ceci est rendu nécessaire par la structure complexe de la collaboration en gestion de crise (prise de décision stratégique/mise en œuvre tactique, actions curatives de secours/actions préventives de sauvegarde) associée à des plans imparfaits, non rodés et rédigés séparément par les acteurs opérationnels intervenant sur les mêmes évènements évoqués dans la partie 1.2.2.2.

Un outil de soutien évaluatif, afin d'apporter une valeur ajoutée dans une activité collaborative *analysée selon plusieurs perspectives organisationnelles*, doit analyser toute action (comme base à l'évaluation) et en partager l'analyse (comme base au soutien) dynamiquement (pour un soutien évaluatif en temps réel) selon les différents fils organisationnels, et donc selon les différents process en jeu. Analyser et partager l'analyse de l'activité collaborative dynamiquement selon les différentes perspectives organisationnelles sert respectivement de base à l'analyse de l'activité collaborative par le système et par les acteurs selon sa dimension multi-organisationnelle.

Nous avons vu dans cette section comment le contexte devait être représenté et géré par le système informatique afin de pouvoir suivre et enrichir l'activité humaine. En plus des éléments de contextes, les process doivent également être représentés et suivis. Les deux types de process sont nécessaires : les plans pour identifier s'ils ont été suivis ou non, et les règles de sens commun de collaboration. Il est par ailleurs impossible de suivre ou non un process (ou un groupe de process) s'il spécifie des comportements contradictoires (par exemple à la fois évacuer et ne pas évacuer). Le fait de détecter des incohérences à l'intérieur d'un process et entre process fait donc partie des fonctionnalités dont notre système doit disposer, permettant par ailleurs d'améliorer la rédaction du PCS et l'articulation entre les organisations. Ce dernier point nécessite la représentation et la gestion de process de plusieurs organisations, afin de maintenir les perspectives en jeu.

7. incohérences "théoriques" entre les process auxquels sont soumis différents acteurs
8. les incohérences "effectives" entre les différentes actions de ces acteurs

TABLE 1.2 – En statique et en dynamique, des incohérences entre les process des acteurs de la gestion de crise peuvent apparaitre.

Écarts entre deux organisations		
Type d'incohérence	Croyance du maire dans la Commune	Croyance du commandant dans les Pompiers
Duplication d'effort 	Moi, le maire, dois réaliser l'évacuation	Moi, le commandant, dois réaliser l'évacuation
Incohérence	Moi, le maire, dois réaliser l'évacuation	Lui, le maire, ne doit pas réaliser l'évacuation
Non réalisation explicite 	Lui, le commandant, doit réaliser l'évacuation	Lui, le maire, doit réaliser l'évacuation
Non réalisation latente 	Moi, le maire, ne dois pas réaliser l'évacuation	Moi, le commandant, ne dois pas réaliser l'évacuation

1.3 Interaction tangible

Nous avons vu dans la section précédente le cadre applicatif, ses caractéristiques (section 1.2.2) et les besoins liés à l'aide à la collaboration en général (section 1.2.3), puis les besoins spécifiques en lien avec le soutien évaluatif durant un entrainement de gestion de crise (section 1.2.4). Selon une structure que nous mettons en correspondance avec la section précédente, nous étudierons, après avoir présenté l'interaction tangible dans ce projet, les caractéristiques d'une interface tangible (section 1.3.2), et déduire les besoins (section 1.3.3). Nous dégagerons enfin les besoins spécifiques liés au soutien évaluatif utilisant l'interaction tangible (section 1.3.4).

1.3.1 Interaction tangible dans ce projet

Une Interface Utilisateur Tangible (TUI), terme à mettre en regard de Interface Utilisateur Graphique (GUI), renvoie à une technologie qui combine l'utilisation d'artefact physique (objet physique conçu pour conserver, exposer et traiter l'information) et des affichages digitaux dans un même espace interactif (Ras et al., 2012). Il s'agit de pouvoir rendre l'information numérique manipulable directement "par les mains" des utilisateurs de l'interface (Ishii, 2008). Selon Ishii et Ullmer, 1997, une interface tangible se définit comme "augmentant le monde réel physique en couplant des informations aux objets physiques et aux environnements de tous les jours". Les utilisateurs interagissent alors directement avec les objets tangibles incarnant des objets informatiques plutôt que *via* des dispositifs tels que la souris ou le clavier (Koleva et al., 2003).

(Nowacka et Kirk, 2014) citent les travaux de Fishkin et décrivent le déroulement d'une interaction tangible selon 3 étapes : (1) l'utilisateur réalise une interaction en entrée du système, en manipulant par exemple des objets physiques, puis (2) le système informatique reçoit cette entrée et modifie son état en conséquence, et (3) le système met en place un retour informé, en changeant sa nature physique, son aspect, en dispensant un effet sonore etc. L'interaction tangible offre la possibilité de dérouler une interaction contextualisée, associée à une dimension sociale, qui portent un fort potentiel pour soutenir la collaboration (Hornecker et Buur, 2006).

Face à la variété des interfaces tangibles, nous utilisons un dispositif tangible particulier pour la suite de cette thèse. Il s'agit de la table TangiSense dans sa version 2, développée dans le cadre d'un partenariat Recherche-Industrie lors du projet ANR IMAGIT. La table TangiSense est une table tangible dont le plateau de 61cm∗105cm est constitué d'une couche supérieure composée d'un écran LCD, qui repose sur couche composée d'antennes RFID. Ces antennes peuvent détecter des objets tangibles sur lesquels sont collés des tags RFID (chips magnétiques). Ces tags ont la particularité d'être liés à un identifiant unique, et de pouvoir stocker une petite quantité d'information. Ainsi, il est possible de savoir si un objet est déposé sur la table, de l'identifier de manière unique et d'en connaitre les coordonnées. L'écran du plateau peut afficher des fonds de cartes et des retours informés localisés en lien avec les objets tangibles, en local et à distance sur des tables connectées en réseau (Kubicki et al., 2009b)

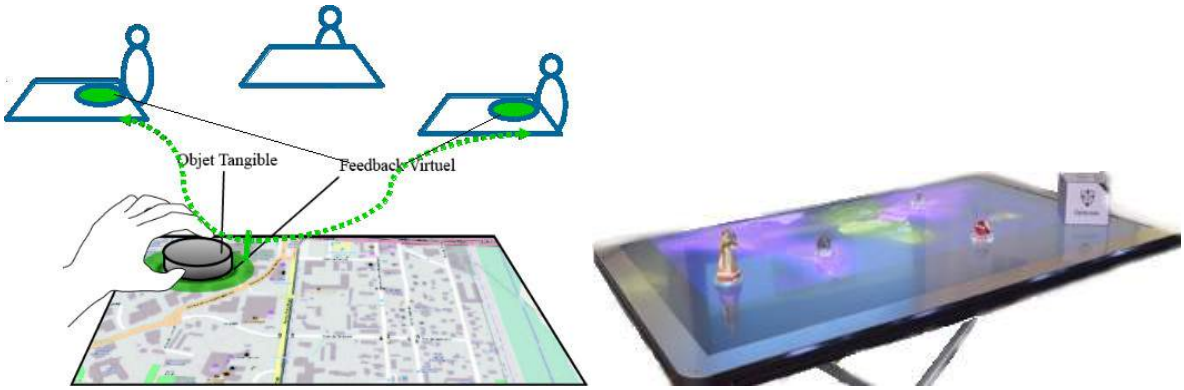


FIGURE 1.9 – Illustrations de la table TangiSense. À gauche, une action tangible permet d'interagir avec une carte et de réaliser des retours virtuels locaux et à une partie de acteurs distants. À droite, une photographie de l'utilisation de la table TangiSense pour un jeu de Risk, avec les objets (de gauche à droite) de l'avatar du joueur, un objet *armées*, un dé rouge, et un cube pour définir les phases de jeu (attaque, défense, action terminée).

(figure 1.9).

La dimension de la table TangiSense est équivalente à celle de la table DiamondTouch (ESENTHER et al., 2002). Cette surface a été caractérisée comme adaptée au travail collaboratif en évitant le partitionnement (*i.e.* la création de groupes séparés), et favorisant un espace de travail partagé (ROGERS, LIM et HAZLEWOOD, 2006). L'interaction tangible sur un format de "table" est déjà utilisée notamment par (CERNEA et al., 2012), et représente un format adapté à l'activité de (préparation à la) gestion de crise, en regard de l'utilisation des représentations cartographiques sur tables durant la gestion de crise [9]. La technologie tangible est compatible avec les systèmes géographiques et GIS (RATTI et al., 2004). Cette table a par ailleurs déjà été utilisée pour la gestion de trafic routier reposant sur une représentation cartographique (KUBICKI et al., 2009a).

Techniquement, la table TangiSense version 2 présente une surface active réagissant aux objets tangibles, grâce à la présence des antennes RFID. Ces antennes carrées larges de 1,5 pouce (3,80 cm) sont regroupées en dalles de 16 antennes (4∗4). Chaque dalle comprend 2 processeurs, un processeur DSP chargé du traitement des signaux lus par les antennes RFID et un chargé de la transmission des données, auxquels s'ajoute d'un multiplexeur nécessaire au traitement des signaux parallèles détectés par les antennes. La table TangiSense est constituée de 24 dalles (6∗4) pour une surface de active de 61cm∗91cm. L'écran LCD qui recouvre cette surface est légèrement plus grand, avec une dimension de 61cm∗105cm. La taille et la précision des antennes sous la surface de la table sont compatibles avec la résolution spatiale des applications tangibles. En effet, les objets trop petits ne pourraient pas être manipulés.

9. Les cartes et représentations cartographiques sont au cœur de multiples système d'aide à la gestion de crise, dont les systèmes présentés dans (CAI, 2005) et (CERNEA et al., 2012), ou encore PANDORA. De plus, les représentations cartographiques servent de base pour la décision lors d'évènement de gestion de crise et d'exercice de gestion de crise, ce qui explique leur place importante dans le PCS, où un classeur leur est dédié (*cf* figures 1.2 et 1.1)

La résolution temporelle (temps de réaction) est également compatible avec le temps réel.

1.3.2 Caractéristiques de l'interaction tangible

Nous allons maintenant présenter les caractéristiques de l'utilisation d'une interface tangible, pour soutenir l'activité collaborative (partie 1.3.2.1), comment le contexte interactif est enrichi (partie 1.3.2.2), et enfin comment l'autonomie des acteurs peut être préservée grâce à l'interaction tangible (partie 1.3.2.3).

1.3.2.1 Une activité collaborative enrichie

L'interaction tangible sur une table permet de mettre en place une interaction partagée localement. Cela implique la gestion de l'activité à la surface de la table. En plus de cette interaction locale, il est possible de créer une co-présence et un espace de travail partagé entre les utilisateurs distants. Le système doit alors mettre en place des retours à distance, pertinents selon l'activité en cours, les activités respectives des autres utilisateurs, tout en respectant l'accès potentiellement limité de certaines données.

Une interaction distribuée est permise par l'interaction tangible, en particulier dans le cas d'un environnement collaboratif partagé. Les actions locales sont partageables dans les environnements collaboratifs partagés distants. Pour améliorer l'activité collaborative, le partage des informations doit respecter les règles de l'activité collaborative en cours. Certaines actions peuvent être d'ordre privé, et donc non partageables voire partageables avec une partie seulement des utilisateurs distants.

Inversement, certains utilisateurs peuvent ne pas souhaiter l'affichage de certaines actions distantes sur leur espace. Ainsi, la gestion de l'interaction distribuée passe par un droit de regard et de limitation à la fois sur les informations à envoyer à distance, et sur les informations reçues en local.

1.3.2.2 Un contexte enrichi

L'interaction distante est complexe, et l'est davantage en prenant en compte les liens entre objets tangibles, numériques et virtuels, qui enrichissent le contexte collaboratif.

Il se pose alors la question du couplage entre les objets tangibles, les objets numériques et virtuels. Dans la littérature, il a été montré que ces liens (d'un objet source vers un objet de destination), appelée "Degré de cohérence", sont complexes. Plus précisément, entre les éléments objets tangibles et les objets numériques et virtuels, les liens ne sont pas forcément isomorphes (e.g. plusieurs objets tangibles pour un objet numérique), peuvent varier au cours du temps, et peuvent répondre à des logiques temporelles différentes (e.g. une interaction tangible peut signifier le début d'une activité numérique qui continue même après

le retrait de l'objet) (Koleva et al., 2003). Le modèle d'interaction pour interface tangible Modèle-Contrôle-Représentation (MCRpd – *physical and digital*–) propose de distinguer les représentations (R) et les liens entre les représentations (objets numériques, virtuels et tangibles) dans le modèle (M). La gestion dynamique est effectuée dans le contrôle (C)(Ullmer et Ishii, 2000).

La mise en place de retours informés dans l'interaction tangible est complexe et présente de nombreuses combinaisons. Un retour informé dans l'interaction tangible est à la fois ancré dans l'activité des objets tangibles, mais également dans celle des objets numériques et virtuels (respectivement les représentations numériques et les retours informés). Cela permet de définir une sémantique riche à travers l'interaction tangible. Plusieurs taxonomies ont été proposées pour caractériser la variété :

— des modalités de retours informés possibles (Fishkin, 2004),
— des liens entre objets tangibles physiques et numériques selon leur manipulation (Holmquist, Redström et Ljungstrand, 1999),
— des possibilités de couplages entre objets physiques, numériques et virtuels dans un cycle d'exécution (de la manipulation de l'objet tangible jusqu'au retour informé) (Koleva et al., 2003)
— des liens entre les objets tangibles, les retours informés et les objets numériques comme contexte pour utiliser un objet tangible (Ullmer, 2002).

.

Ainsi, un objet tangible est lié à la fois à des objets dans le monde numérique (qu'ils modifient) et dans le monde virtuel (où les retours informés enrichissent l'objet tangible).

1.3.2.3 Une autonomie des acteurs préservée

L'interaction tangible est une interaction qui permet de manipuler tout objet tangible à tout moment. Par exemple, un objet tangible "évacuation" pourra être utilisé à tout instant de l'interaction, même si cette action n'est pas attendue à ce moment là. En ce sens, l'interaction tangible est flexible. L'interaction tangible présente l'intérêt de ne pas réduire l'utilisation d'une action interactive à un contexte spatio-temporel donné, c'est à dire que l'objet "évacuation" sera utilisable à tout moment, mais également à tout endroit de la surface de la table représentant une carte. Contrairement à un workflow classique, où on ne pourra pas, par exemple, cliquer sur un élément d'interaction dans un contexte où cela a été envisagé par le concepteur, les utilisateurs auront à disposition la possibilité de réaliser toutes les actions et devront décider activement lesquelles accomplir. Cela permet de soutenir les utilisateurs dans leur construction de leur représentation de la situation, tandis que l'ensemble des objets tangibles permet aux utilisateurs de construire la représentation des actions à leur disposition. Cela est d'autant plus vrai pour les tables tangibles interactives telles que la table que nous utilisons, où l'interaction tangible favorise alors une prise en considération des solutions alternatives (Rogers, Lim et Hazlewood, 2006). La manipulation permise par le tangible est en cohérence avec la pédagogie du constructivisme, qui prône une manipulation des objets du monde afin que l'apprenant interagisse avec son environnement. Ainsi, la mobilisation

intellectuelle et physique permise par l'interaction tangible lors de la manipulation interactive d'objets permet à l'apprenant de construire son savoir en tirant ses propres conclusions (Pereda et Isaksen, 2014).

Cette flexibilité est tout à fait intéressante dans un travail collaboratif, où il est important que les utilisateurs puissent pouvoir réaliser de nombreuses actions, même non prévues, mais se plaçant dans le cadre de l'activité collaborative (grâce à l'ensemble limité des objets à disposition).

L'interaction tangible permet une flexibilité, à condition que le système informatique permette un tel traitement de l'information digitale incarnée dans la manipulation des objets tangibles. Ainsi le système informatique doit permettre toutes les actions, à condition qu'elles aient un sens.

Nous venons d'exposer dans cette section l'interaction tangible dans ce projet (sous-section 1.3.1), ainsi que les caractéristiques de l'interaction tangible permettant la mise en place de l'activité collaborative (partie 1.3.2.1), la mise en contexte de l'activité tangible et des retours informés, qui ne limitent pas à la surface interactive sur laquelle ils ont lieu (partie 1.3.2.2) et comment ce mode d'interaction peut être flexible (partie 1.3.2.3). Nous allons dans la section suivante présenter les besoins associés pour la mise en place d'une activité collaborative.

1.3.3 Interaction tangible et aide à la collaboration humaine

Nous nous intéressons maintenant aux besoins liés à l'interaction tangible, qui constitue le cadre technologique de la thèse, avec une utilisation dans le cadre des CSCW. Nous allons voir dans cette partie les besoins associés à l'utilisation de l'interaction tangible pour un travail collaboratif assisté par ordinateur. Notamment, l'interaction appropriée aux pratiques collaboratives (partie 1.3.3.1), associée à des retours informés permettant de contextualiser l'activité (partie 1.3.3.2) déployée grâce à des politiques d'interaction appropriées (partie 1.3.3.3) peut participer à la création d'un collectif, et à une meilleure conscience de l'intégration de l'activité des acteurs dans l'activité globale.

1.3.3.1 Soutenir les pratiques collaboratives

Différentes politiques d'interaction peuvent exister dans une activité collaborative. La manipulation d'objets disponibles peut être réalisée par plusieurs utilisateurs, et certains dispositifs tangibles se connectent en réseau. Ainsi, les interfaces tangibles peuvent soutenir deux structures collaboratives. Il existe la structure collective centralisée (plusieurs utilisateurs autour d'une même table sur la même application) et la structure collective distribuée (plusieurs acteurs distants interagissant sur la même application à travers des tables interconnectées). L'interaction tangible offre ainsi des possibilités pour organiser localement et à distance le travail selon des espaces partagés(Zuckerman et al., 2005). L'espace partagé de travail per-

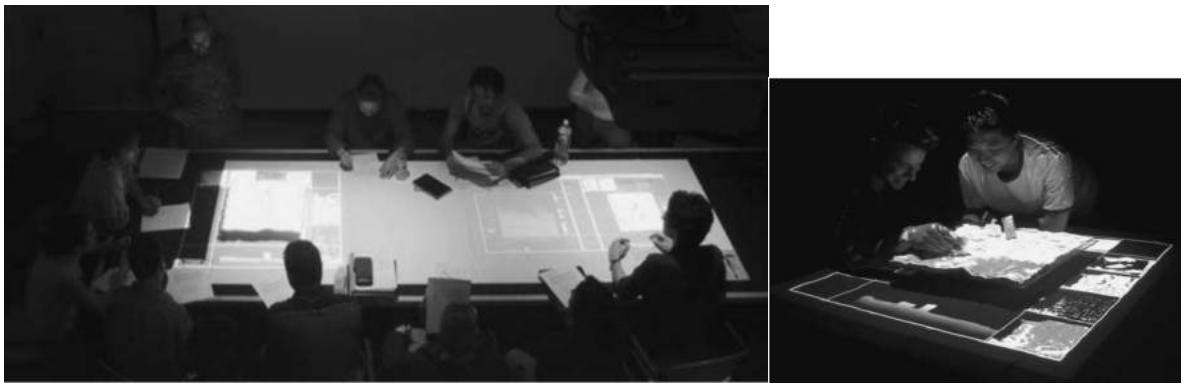


FIGURE 1.10 – Illustrations de l'environnement proposé par Illuminating Clay, où des acteurs de métiers différents, à gauche, collaborent autour d'une interface en relief sur lequel une projection est réalisée dynamiquement, à droite (issues de (RATTI et al., 2004)).

met de supporter l'interaction tangible à travers les groupes(MARSHALL, 2007) et la collaboration active. Cela semble être une plus-value en comparaison aux interfaces graphiques usuelles(HORN et al., 2009). L'interaction tangible peut permettre de soutenir les stratégies d'interaction sociales, comme la direction de la conversation, l'organisation en sous-groupes, la construction d'un savoir de groupe et le développement d'une argumentation(FERNAEUS et THOLANDER, 2006) (FALCÃO et PRICE, 2011). Outre les résultats avec les enfants et les novices, l'interaction tangible permet à des spécialistes, provenant de corps de métiers différents, d'avoir un support de discussion (*cf* figure 1.10) (RATTI et al., 2004). En effet, en utilisant une interface telle que Illuminating Clay, la communication et la collaboration a pu être améliorée entre ingénieurs "de la terre", ingénieurs "de l'eau", les consultants agricoles, les économistes du territoire, et les ingénieurs "du transport" (earth engineer, water engineers, agrarian managers, land economists, transport engineers). Les auteurs abordent également une meilleure collaboration entre experts et non-experts, en fournissant un support commun de discussion, pour représenter des points de vue et des données variées.

Selon le Collaborative Learning Mechanisms (CLM) framework, le tangible peut favoriser de quatre façons la mise en place un apprentissage collaboratif : en mettant en œuvre une discussion collaborative (en faisant avec la manipulation d'objet tangible des suggestions, en les acceptant ou non), en négociant (posant des questions, éventuellement à travers différents placement d'objets tangibles), en mettant en place une conscience et une attention partagée (suivi des retours par tous, focus sur une partie seulement en se saisissant des objets en question), et en instaurant des éléments de narration (gestes, bruits lors de déplacement d'objets) (FLECK et al., 2009). Pour aller plus loin, l'utilisation d'objets dans un environnement partagé rend plus visibles les actions de chaque intervenant, et favorise ainsi la collaboration en permettant un processus de vote, notamment lors du déplacement plus lent de certains objets (STANTON et al., 2001).

L'interaction tangible doit favoriser les pratiques collaboratives en gérant la distribution des acteurs et les différentes structures collaboratives. Le mécanisme de manipulation doit pouvoir supporter une discussion et représenter de multiples perspectives.

1.3.3.2 Mettre en contexte

Un travail collaboratif soutenu par ordinateur nécessite d'impliquer les utilisateurs lors l'utilisation de l'outil, notamment s'il s'agit qu'une activité collaborative. Notre cadre technologique s'y prête à travers à la fois la possibilité d'une mobilisation du corps, et d'une mobilisation intellectuelle(Klemmer, Hartmann et Takayama, 2006).

Les utilisateurs peuvent être mis davantage en contexte de la situation collaborative, en la conceptualisant mieux. Dans un même temps, le système informatique doit également être en contexte de l'activité, car l'interaction tangible peut combiner objets tangibles et retours virtuels et réduire l'espace entre les mondes physiques et digitaux. Cela favorise la conscience et la compréhension d'une activité collaborative, car l'espace entre perception et action se réduit lorsque les retours virtuels "augmentent"(enrichissent) les objets tangibles suite à une manipulation (Rogers, Lim et Hazlewood, 2006). Cette meilleure compréhension peut aussi s'appliquer à l'activité collaborative, car l'ajout de la dimension haptique des Interfaces Utilisateurs Tangible, dans un espace partagé, suggère des gains dans l'apprentissage des utilisateurs, notamment dans un cadre collaboratif (Fleck et al., 2009).

Les retours informés peuvent également servir à construire une conscience de l'activité collaborative. En effet, les retours informés s'inscrivent dans la manipulation des autres utilisateurs en présence. Il faut néanmoins noter que dans un cadre collaboratif, les politiques de confidentialité et d'affichage d'information doivent être respectées localement.

L'interaction tangible soutient la construction (mentale) permise par la manipulation, cette dernière réduisant l'écart entre monde physique et numérique, à travers des retours riches et situés (Jourde, Laurillau et Nigay, 2009). En effet, le fait de lier des retours informés avec les objets physiques de l'interface influence fortement la compréhension du monde (Ras et al., 2012).

1.3.3.3 Utiliser des politiques d'interaction

Les retours informés variés, en temps réel, sont en théorie permis par l'interaction tangible, que ce soit sur l'objet tangible lui-même ou ailleurs dans l'environnement interactif. Suite à une manipulation d'un objet tangible, un retour virtuel peut modifier directement l'objet, être proche de l'objet, notifier une modification de l'environnement ou encore une action distante réalisée suite à l'interaction tangible(Fishkin, 2004).

Afin de lier les objets tangibles, numériques et virtuels entre eux (partie 1.3.2.2), un ensemble de politiques d'interaction doit être défini. Afin de pouvoir garantir la flexibilité de l'interaction, ces politiques d'interaction doivent se rapprocher d'une syntaxe. De cette manière, la sémantique derrière la syntaxe pourra être analysée. Il s'agira par exemple de gérer les patterns d'actions tangibles, les mécanismes de mise en place de retours informés et les politiques de confidentialité. De même, le lien entre retours informés et objets tangibles (retours informés pour enrichir le tangible et tangible sur un retour informé intégré dans un pattern

tangible) doit être défini.

Ainsi, les retours informés doivent être réalisés dans le contexte d'activité de l'interaction, et respecter les politiques d'affichage et de confidentialité. Il faut alors pouvoir définir un ensemble de règles, de politiques, de plans, de normes ayant pour vocation de guider et de servir de référence à la réalisation l'activité collaborative, pour gérer les liens entre objets numériques, virtuels et tangibles en local et en contexte distribué, en supportant l'activité collaborative (autonomie et indépendance dans les activités des utilisateurs par exemple) et en liant activité soutenue (par l'outil) et interaction (mise en place par l'outil).

1.3.4 Soutien évaluatif dans l'interaction tangible

Le soutien évaluatif peut être soutenu par l'interface. Cette interface doit notamment accepter l'activité collaborative même non cohérente avec les process la régissant (comme pressenti dans la partie 1.2.4.3). Afin de pouvoir fournir une plus-value suite à l'analyse de l'activité par le système, plusieurs types éléments d'interaction sont nécessaires. Dans un premier temps, il s'agit d'analyser et de soutenir l'activité en cours dans un contexte distribué (partie 1.3.4.1). Dans un deuxième temps, il s'agit de préserver l'autonomie (partie 1.3.4.2) afin de permettre aux utilisateurs de s'adapter à la situation et de transgresser les process (comme vu en partie 1.2.2.3). Enfin, il est nécessaire de suivre et de favoriser à la fois l'interaction et l'activité soutenue représentée par l'interaction (partie 1.3.4.3).

1.3.4.1 Suivre et enrichir l'activité distante et distribuée

Dans le cadre d'un suivi évaluatif, il est important de mettre en lumière les activités distantes, et de les partager. En intégrant bien l'activité locale et distante, la mise en place de retours informés contextualisés et intelligibles pourra participer au développement d'un sentiment d'un agir à plusieurs (Caelen et Xuereb, 2007).

Notre application exploite l'activité locale et distante par son aspect distribué et sa structure multi-organisationnelle. Dans un tel cas, les retours informés liés à des actions tangibles locales doivent être partagées en intégrant le contexte global, et produits localement selon la situation interactive locale. Plus précisément, un retour informé lié à l'activité qui est incarnée dans un objet tangible utilisé par un utilisateur. L'utilisation de cet objet tangible est locale (interaction avec le contexte interactif local, sans interagir avec les éléments distants de l'interface). L'envoi à distance va dépendre des interfaces distantes concernées par cette action. Pour déterminer les interfaces distantes pertinentes pour recevoir le retour informé, le système va se reposer sur l'analyse globale de l'activité. Une fois envoyé à distance, le retour informé va dépendre du contexte interactif local, par exemple si l'endroit pour l'afficher est déjà occupé par un autre retour informé ou un objet tangible. Cet affichage est d'ailleurs lui-même lié à l'activité distante qu'il représente. Alors, les retours informés associés aux objets tangibles doivent être le résultat d'une "propagation", pour être modifiés si l'action distante change.

Les moyens d'interaction pour un soutien évaluatif dans un contexte distribué doivent permettre de reconnaitre (comme base à l'évaluation) et rendre possible (comme base au soutien) un ensemble de structures distribuées de l'interaction. Plusieurs utilisateurs peuvent interagir en parallèle sur le même support interactif, indépendamment ou non. Plusieurs utilisateurs peuvent agir à distance sur une même action.

La compréhension par le système des logiques d'interaction est primordiale

Dans une même temps, les retours informés doivent être mis en place pour rendre compte de l'activité distante.

Les moyens d'interaction pour un soutien évaluatif dans un contexte distribué doivent permettre d'interagir avec (comme base à l'évaluation) et partager (comme base au soutien) l'activité distante.

La représentation de l'activité à distance n'est pas la seule utilisation des interfaces pour le soutien évaluatif. En effet, les retours informés doivent également être porteurs de l'analyse du système : action valide selon le plan, selon les résultats, ou plan à modifier...

1.3.4.2 Suivre et préserver l'autonomie

La mise en place de l'interaction doit autant que possible préserver les mécanismes de manipulation tangible qui favorisent l'autonomie des utilisateurs et qui leur permettent d'adapter leur activité à la situation. Pour cela, l'analyse d'une action ne doit pas impacter l'interprétation de l'interaction tangible. Il faut préserver une indépendance entre interprétation (de l'activité tangible) et analyse (de l'activité représentée par l'interaction tangible, par exemple une activité de gestion de crise).

Les moyens d'interaction pour un soutien évaluatif dans un contexte nécessitant de présever l'autonomie des utilisateurs doivent permettre une analyse (comme base à l'évaluation) et de fournir des retours sur les types d'erreurs (comme base au soutien) séparément pour l'activité d'interaction et l'activité soutenue (tangible et gestion de crise dans notre cas).

De plus, en ajoutant un moyen d'interaction flexible reposant sur un système de syntaxe, des erreurs au niveau de la manipulation de l'interaction peuvent apparaitre, avec par exemple une séquence tangible qui n'aurait pas de sens pour le système informatique. Dans ces deux cas de figure [10], l'erreur est une information utile pour les utilisateurs. Cela est également une information utile pour le système, afin d'analyser l'action que l'utilisateur a voulu réaliser, quelle qu'elle soit, selon les process et les règles de sens commun liés à cette action une fois l'interaction interprétée. Cela permettra de fournir un retour d'expérience sur le comportement de l'utilisateur et sur les process, en gestion de crise et sur l'interaction tangible.

En découplant l'analyse de l'interaction et l'analyse de l'action, le système informatique

10. (1) ils n'ont pas réalisé l'action attendue, l'action qu'ils ont réalisée pose des problèmes de collaboration, ou (2) ils doivent recommencer une séquence tangible "pour se faire comprendre" par le système informatique

ne sera pas influencé par les actions attendues dans les process lors de l'interprétation de l'interaction.

L'opportunisme et la flexibilité de l'interaction tangible supportent une interaction non contraignante devant être soutenue en découplant action et interaction. Paradoxalement, en découplant interaction et action, l'activité interactive sera alors moins influencée par les permissions et limitations de l'interface ; et sera plus dans le prolongement de l'activité collaborative influencée par des normes individuelles et collectives. Les retours informés ne traduisent pas seulement une communication d'utilisateur à utilisateur comme définie dans la partie précédente, mais aussi de machine à utilisateur. Une fois une action réalisée, un retour informé traduisant l'analyse évaluative du système doit être déployé. Cette évaluation peut concerner la manipulation tangible (séquence tangible non-valide et donc non-comprise par le système) ou à l'analyse de l'action interprétée à partir de l'action tangible (par exemple, l'action d'évacuation – représentée par la pose d'un objet *évacuation* – est valide). Cette deuxième analyse de validité renvoie au niveau du respect du plan et au niveau de l'obligation de résultat. Ces différentes analyses de validité doivent être retranscrites aux utilisateurs de manière pertinente.

1.3.4.3 Suivre et améliorer l'interaction et l'activité

Nous venons de conclure la partie précédente sur le découplage de l'interaction et l'activité soutenue. Cependant, elles doivent tout de même être articulées afin de suivre l'activité de manière générale.

Cela interroge le couple tangible-retour informé, sachant que l'action, incarnée par le tangible, est elle-même située dans un contexte collaboratif. Ces interactions collaboratives vont elles-même modifier le contexte (local et distant), et donc l'analyse d'une action va être située dans un nouveau contexte d'activité. Et les retours informés doivent être mis à jour selon l'évolution de la situation liée à l'activité d'autres utilisateurs. Les retours informés associés doivent être le résultat d'une "propagation", pour être modifiés si l'analyse change du fait d'un changement de situation.

L'interaction pour un soutien évaluatif doit articuler l'activité d'interaction et l'activité soutenue (tangible et gestion de crise dans notre cas).

Nous avons vu dans les sections précédentes comment les cadres applicatif et technologique s'articulent avec le CSCW. La collaboration de gestion de crise aborde des questionnements classiques du domaine des CSCW. Nous adressons néanmoins un aspect multi-organisationnel, ce qui constitue un nouveau contexte dans lequel se situe l'activité collaborative. Pour supporter les CSCW, l'interaction tangible présente des caractéristiques intéressantes. En impliquant l'utilisateur par la nature-même de son interface, le tangible mobilise le corps et l'esprit dans l'activité collaborative. Les retours informés enrichissent avantageusement la manipulation tangible, et permettent de situer des données numériques dans le cadre d'une action tangible. Ces données peuvent également concerner les autres utilisateurs, et la dimension collaborative en est ainsi renforcée. L'activité collaborative est par ailleurs soutenue par l'interaction tangible, que ce soit par les éléments de communication implicites qu'elle permet ou par

les structures collaboratives qu'elle porte. Comme présenté précédemment, nous souhaitons développer un système de soutien collaboratif. C'est à dire que nous souhaitons fournir dynamiquement un retour sur les process et un retour sur l'activité collaborative soutenue par ces process, durant la réalisation d'une activité collaborative. En gestion de crise, le soutien évaluatif est un besoin qui existe, en particulier dans le cas de multiples organisations présentant des process différents. Actuellement, les communes répondent à ce besoin en réalisant des exercices, qu'ils soient sur papier ou terrain.

1.4 Verrous et Propriétés dégagées

En nous appuyant sur le cadre applicatif de la gestion de crise et du tangible, nous avons dégagé, à travers les besoins, les fonctionnalités que doit présenter le système à concevoir, en termes d'activité soutenue et d'interaction. Tant pour l'activité soutenue que pour l'activité d'interaction, la gestion du contexte (sous-section 1.4.1) et de process apparaissent (sous-section 1.4.2). L'introduction d'une interface nécessite d'articuler activité soutenue et interaction (sous-section 1.4.3). Nous verrons finalement trois propriétés auxquelles le système devra répondre (sous-section 1.4.4).

1.4.1 Représentation et gestion du contexte

Dans le cadre d'un soutien évaluatif d'un CSCW, la mise en place dynamique de l'interaction selon le contexte est une plus-value. En effet, par opposition aux remarques des observateurs et animateurs d'un exercice, le système peut toujours partager une analyse de l'action en cours, au moment de sa réalisation, et l'actualiser à tout changement de contexte.

L'activité doit être suivie et enrichie à chaque étape de l'utilisation d'un outil interactif, tant pour l'activité soutenue que pour l'interaction : durant le traitement de l'interaction tangible (interaction entrante), durant l'analyse de l'activité de crise (activité soutenue), et durant la mise en place de retours informés (interaction sortante). Le système à proposer devra donc gérer les contextes, d'interaction et d'activité soutenue.

La représentation et la gestion du contexte est un verrou, car différents fils de contextes apparaissent, correspondant :
- au suivi de l'activité soutenue et de l'interaction,
- au suivi de l'activité locale et de l'activité distante,
- au suivi dynamique de l'activité globale,
- au suivi de différents fils de contexte, tels que différentes séquences et patterns d'interaction, et les différents aspects de l'activité (gestion des ressources, du fond de carte, des actions des joueurs...),
- à la représentation informatique des éléments de contexte précédents,
- à la représentation virtuelle (retour informé) des éléments de contexte précédents.

Le rôle du système est de fournir une communication comme support à une collaboration enrichie à destination des utilisateurs, en adaptant dynamiquement cette communication au contexte de l'activité des utilisateurs. Les retours donnés par le système doivent impérativement être compréhensibles par l'utilisateur, et respecter des règles du contexte d'interaction. Pour pouvoir fournir des retours, l'activité utilisateur doit aussi être compréhensible par le système, et donc elle-même répondre à des règles.

Le système d'interaction doit donc fournir des moyens d'interaction *intelligibles*, et dont les politiques reposent sur des règles devant être suivies et évaluées. D'une part, l'interaction tangible, des utilisateurs vers le système, doit être *intelligible* par le système. D'autre part, les retours informés donnés à l'utilisateur par le système doivent être *intelligibles* par les utilisateurs.

1.4.2 Représentation et gestion des process

Dans le cadre d'un soutien évaluatif d'un CSCW, la gestion dynamique des process de l'activité soutenue comme la gestion de crise est une plus-value. En effet, par opposition aux remarques des observateurs et animateurs d'un exercice, le système peut toujours analyser l'action en cours selon les process qui la régulent, au moment de sa réalisation, et l'actualiser à tout changement de contexte.

L'activité doit être régulée et analysée à chaque étape de l'utilisation d'un outil interactif, tant pour l'activité soutenue que pour l'interaction : pour le traitement de l'interaction tangible entrante, pour l'analyse de l'activité de crise, et pour la mise en place de retours informés (interaction sortante). Le système à proposer devra donc gérer les process, d'interaction et d'activité soutenue.

La représentation et la gestion des process est un verrou, car différents niveaux de process apparaissent, correspondant :
- à la régulation de l'activité soutenue et de l'interaction,
- à la régulation de l'activité locale et de l'activité distante,
- à la régulation dynamique de l'activité globale,
- au suivi de différentes perspectives de process, tels que différentes politiques d'interaction, et les différentes spécifications organisationnelles de l'activité soutenue (process des différentes organisations, plan et règles de sens commun..),
- à la représentation informatique des éléments de process précédents,
- à l'analyse et au diagnostic des éléments de process précédents.

Un système de soutien évaluatif doit présenter des fonctionnalités cohérentes avec les besoins associés. Ainsi, le *suivi évaluatif* permet de faire des retours, même sur des actions non prévues dans les process de l'activité soutenue et sur l'interaction elle-même (c'est à dire des retours concernant l'activité de gestion de crise, et l'activité d'interaction tangible). L'interface doit pouvoir supporter toute action, dans tout contexte spatio-temporel. L'interaction doit donc être découplée de l'action, dans le sens où l'interprétation de l'interaction ne doit pas dépendre

des attendus et de l'analyse de l'action. En ce sens, une *flexibilité* est nécessaire en termes d'interaction.

Un système de soutien évaluatif repose sur des règles liées à l'activité soutenue mais aussi sur des politiques d'interaction : règles de manipulation des tangibles, règles d'envoi d'informations (*privacy*) et règles d'affichage. Ces règles nécessitent d'être *suivies* et évaluées. *L'utilisateur a-t-il bien utilisé l'interaction tangible ? Comment évaluer cet objet en regard du retour informé sur lequel l'utilisateur l'a posé ? La politique d'envoi d'un retour informé à distance doit-elle être revue dû au changement de contexte ?* Le système doit avoir les propriétés de *suivi évaluatif* de l'action en cours, et de *flexibilité* pour l'interaction.

1.4.3 Articulation de l'activité soutenue et de l'interaction

Dans le cadre d'un soutien évaluatif d'un CSCW, l'articulation dynamique des process dans le contexte en cours est nécessaire pour pourvoir suivre l'activité en utilisant une interface. En effet, l'activité doit être régulée et analysée en fonction de l'activité en cours et selon les process à chaque étape de l'utilisation d'un outil interactif : tant pour l'interaction et que pour l'activité soutenue, les process s'inscrivent dans le contexte (évolution des actions à réaliser en fonction de la situation) et le contexte inclut indirectement le contexte organisationnel (entre autres les analyses d'une action constituent un contexte, qui sera partagé aux utilisateurs par la suite).

Cependant, l'interaction tangible repose sur le lien entre le monde physique et le monde digital qui reste à déterminer (Ullmer, 2002), et la mise en œuvre d'Interfaces Utilisateur Tangibles est plus difficile à réaliser que celle des Interfaces Utilisateur Graphiques plus traditionnelles (Shaer et al., 2004). L'infrastructure numérique sous-jacente doit donc impérativement soutenir et articuler à la fois les propriétés de l'activité à soutenir (la gestion de crise) et de l'interaction tangible.

L'articulation des l'activité soutenue et de l'interaction est un challenge, car elle s'inscrit dans :

- à la fois la séparation des étapes d'interprétation de l'interaction et de l'analyse de l'activité soutenue
- et à la fois le lien entre les étapes d'interprétation de l'interaction et de l'analyse de l'activité soutenue
- une articulation sur différents niveaux de fils de contextes et de process,
- la représentation informatique de l'articulation des éléments précédents,
- une gestion distribuée des éléments précédents.

Cette articulation ajoute de nouvelles problématiques. La mise en place de l'articulation dynamique entre l'activité soutenue et l'interaction demande de mettre en place une *inter*dépendance entre les actions et les interactions, entre les interactions et les actions, et entre l'analyse du système et son affichage. Pourtant, afin de répondre à une flexibilité des interactions réalisées par les utilisateurs, il est intéressant de garantir une *in*dépendance entre

action et interaction. Des compromis sont donc à trouver entre le découplage et le lien entre l'interaction et l'activité soutenue.

Dans le cas de figure d'un soutien évaluatif d'un CSCW, le rôle du système est une évaluation indicative dynamique de l'activité collaborative en cours. Pour permettre un retour d'expérience selon un système évaluatif aux utilisateurs, le système doit laisser le champ des actions possiblement réalisables libre pour les utilisateurs humains. Le système doit alors être *flexible* en acceptant de nombreuses actions même non prévues, tout en suivant l'activité pour l'évaluer. Cette flexibilité concerne les actions autorisées aux joueurs, mais également les incohérences, détectées mais acceptées par le système, dans les process. La production d'un retour informé *intelligible* pour l'utilisateur doit pouvoir reposer sur une analyse du système, elle aussi *intelligible*. En effet, une "explication" ne peut être transmise par retour informé que si cette "explication" est *intelligible* suite à l'analyse. Ainsi, du fait de l'articulation entre contexte et process, et entre interaction et activité soutenue, la notion d'intelligibilité est étendue à l'activité à soutenir.

Les propriétés identifiées (intelligibilité, flexibilité et suivi évaluatif) doivent donc se propager et être transversales à l'activité à soutenir et à l'interaction, et aux contextes et aux process. Pourtant, un découplage entre interprétation de l'interaction et analyse de l'activité est souhaitable.

1.4.4 Propriétés d'intelligibilité, de flexibilité et de suivi évaluatif

Nous venons d'identifier trois propriétés auxquelles doit répondre le système, que ce soit en termes d'application et d'interaction, et nous les résumons dans le tableau 1.3.

L'intelligibilité porte sur l'action tangible, qui doit intuitivement être manipulée par l'utilisateur, et comprise par le système. Les retours informés doivent également être créés par le système et être porteurs de sens pour l'utilisateur. Ces éléments se réfèrent à une action, qui doit donc être représentée numériquement de manière intelligible. De plus, l'analyse de cette action doit être déclarative afin de pouvoir être transmise de manière intelligible à l'utilisateur. Au delà de l'action, les autres niveaux d'analyse doivent être représentés de manière intelligible : les différents process qui régissent l'activité collaborative, et les politiques d'interaction tangible et de mise en place de retours informés (politique d'envoi et d'affichage).

La flexibilité porte sur la possibilité pour l'utilisateur de procéder par essais-erreurs, ce qui doit être en miroir soutenu par le système informatique. Là encore, l'autorisation de réaliser toute action doit porter sur l'interaction (toute action tangible acceptée), et sur l'analyse de l'action (toute action de crise acceptée). Cela nécessite que le système accepte les actions non prévues. La flexibilité porte également sur la validité des représentations des process. Plus précisément, les différents process vont montrer des incohérences intra- et inter-organisations et selon les contextes. La flexibilité du système s'applique à la capacité du système à fonctionner malgré des actions et des process manifestement non appropriés à la situation.

Le suivi évaluatif porte sur l'action tangible, afin de vérifier si la manipulation tangible a

Table 1.3 – Rôles des propriétés d'intelligibilité, de suivi évaluatif et de flexibilité pour l'activité collaborative et l'interaction dans un CSCW de soutien collaborative

Propriétés	**Activité soutenue**	**Interaction**
Intelligibilité	compréhension par le système d'activité soutenue, représentation du contexte de l'activité soutenue, représentation des plans de l'activité soutenue (sémantique)	interaction tangible, compréhension par le système de l'interaction entrante, compréhension par l'utilisateur de l'interaction sortante, représentation numérique des éléments interactifs, représentation du contexte d'interaction, représentation des politiques de l'interaction entrante et sortante (syntaxe)
Flexibilité	ne pas limiter les actions de l'utilisateur aux actions de l'activité soutenue attendues, ne pas bloquer le système lors de l'apparition (inévitable) d'erreurs et d'incohérences	ne pas limiter les actions de l'utilisateur aux actions interactives attendues
Suivi évaluatif	analyse de l'activité soutenue selon plusieurs perspectives (contexte/process), retour d'expérience sur l'activité en cours	Respect des politiques d'interaction entrante et d'interaction sortante

un sens. Cela porte également sur les retours informés, et sur les politiques locales et distantes de confidentialité et d'affichage. Le suivi évaluatif et l'analyse portent également sur l'activité pour lequel le système est prévu, comme la gestion de crise. Plusieurs niveaux de lecture doivent donc être pris en compte : les process d'une organisation, le lien avec les process des autres organisations, les process qui définissent les règles de bons résultats, le contexte courant et les changements de contextes (locaux, distants, environnementaux, d'actions, et organisationnels) .

Nous pensons que ces trois propriétés (intelligibilité, flexibilité et suivi évaluatif) permettent de réaliser un système CSCW avec une évaluation des process en jeu. En effet, deux propriétés parmi ces trois ne suffisent pas. La flexibilité associée à un système intelligible permet de réaliser un système immersif à vocation exploratoire, mais ne permet pas de fournir un retour de validité de l'activité en cours. La flexibilité associée à un système de suivi évaluatif permet de réaliser un système d'essais-erreurs avec des valeurs de validité (non explicatif), et ne permet pas de fournir un retour d'expérience avec une explication de la validité de l'activité

en cours. L'intelligibilité associée à un système de suivi évaluatif quant à lui ne permettra que des actions prédéfinies. L'association de ces trois propriétés permet de déployer un système d'essais-erreurs évaluatif et explicatif.

1.4.5 Limites

La propriété d'intelligibilité pour l'application va dépendre de la valeur sémantique des représentations et de la complexité de la modélisation de l'activité attendue, réalisée et des résultats attendus et réalisés (en termes applicatifs et interactifs). Le déroulé des actions va être limité par l'interaction tangible. D'une part car la conception des objets d'interaction (tangible), dans leur choix, leur forme et leur nombre va soit limiter les combinaisons possibles, soit complexifier l'interface. De plus, la précision spatiale de l'interaction tangible est limitée, et les objets peuvent recouvrir des retours virtuels. D'autre part les retours virtuels doivent être porteur de sens. Leur richesse va soit limiter les informations transmises, soit complexifier voire surcharger l'interface.

La propriété de suivi évaluatif pour l'application va elle aussi se reposer sur la modélisation de l'activité et des process, dynamiques et statiques. De plus, les outils de diagnostic qui y seront greffés vont limiter les retours d'expérience et le réel suivi des politiques d'interaction. Le challenge est en effet de pouvoir définir les causes multiples d'une action non valide, dans un contexte multi-organisationnel et dépendant du temps et de l'espace, avec des actions inter-dépendantes, présentant des actions "précurseurs". Remonter à la cause est alors très difficile.

La propriété de flexibilité nécessite de pouvoir suivre une activité même non prévue. Il faut alors pouvoir définir quand l'activité suit de nouveau le cours prévu, et de manière générale la flexibilité ne doit pas se faire au détriment du suivi. Dans un même temps, la flexibilité dans l'interaction ne doit pas se faire au détriment de la compréhension (de l'intelligibilité) des actions de l'utilisateur, si une analyse de son activité doit être réalisée par la suite.

1.5 Conclusion de la problématique

Nous proposons d'évaluer une activité collaborative et les process associés durant le déroulé de l'activité collaborative grâce à un collecticiel de soutien évaluatif, ce qui nécessite des fonctionnalités dynamiques de suivi et d'évaluation de l'activité.

Nous proposons de cadrer cette problématique en nous penchant sur la collaboration en gestion de crise pour le cadre applicatif, et sur l'interaction tangible pour le cadre technologique. La gestion de crise est une activité distribuée qui repose sur de nombreux process, du fait de la dimension multi-organisationnelle de celle-ci. L'interaction tangible, flexible, permet d'impliquer l'utilisateur dans une activité collaborative, et d'offrir des retours informés riches et contextualisés.

Les besoins en gestion de crise indiquent un entraînement nécessaire. Afin de permettre cet apprentissage, notre outil ne se positionne pas en tant qu'aide à la décision, mais en tant que support à l'entraînement à la gestion de crise. La mise en place d'un retour informé sur l'activité ajoute une dimension de suivi évaluatif à l'action collaborative, afin de fournir un retour d'expérience sur l'activité collaborative et sur les process supportant l'activité collaborative.

Le contexte de la gestion de crise est multi-organisationnel et fortement lié au contexte spatio-temporel changeant. Une analyse de l'activité de crise nécessite alors de représenter une action située dans ces multiples contextes et process. De plus, le suivi des process ne suffit pas, car les actions préconisées par le PCS (ou tout autre process) peuvent être correctes ou non.

Au vu de la complexité de la crise, il est difficile d'identifier les problématiques de collaboration, notamment dans un contexte distribué géographiquement et multi-organisationnel. L'outil informatique pourrait être utilisé pour suivre et fournir un diagnostic à propos des actions des joueurs d'un point de vue des process, en plus d'être l'interface support à l'exercice, et de fournir des retours dynamiques. La mise en place d'un tel système serait donc une plus-value.

Un CSCW nécessite de déployer une collaboration à travers un outil informatique. Toutes les fonctionnalités applicatives seront donc limitées par des fonctionnalités permises par l'interface. Ainsi, le choix du mode d'interaction est déterminant. L'interaction tangible, qui représente notre contexte technologique, permet d'enrichir l'activité collaborative et le contexte, tout en préservant l'autonomie des acteurs. Afin de répondre au besoin de l'utilisation de interaction tangible pour supporter un travail collaboratif, le système informatique à concevoir doit gérer le contexte collaboratif d'interaction et permettre de mettre en contexte l'activité interactive à travers des politiques d'interaction associées.

En combinant activité soutenue de gestion de crise et interaction tangible, il est nécessaire de suivre et d'enrichir l'activité distante et distribuée, en préservant l'autonomie des utilisateurs, afin d'améliorer l'activité soutenue et l'interaction.

Il existe des points communs dans la gestion de l'interaction et de l'activité soutenue. Toutes les deux sont situées dans leurs propres contextes et leurs propres process avec une forte composante spatio-temporelle. L'analyse des besoins de l'activité soutenue et de l'interaction nous a amené à définir trois verrous : la gestion et la représentation du contexte, la gestion et la représentation des process, et l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction.

Nous avons également déduit trois propriétés, qui se réfèrent à la fois à l'activité soutenue et à l'interaction : la flexibilité, le suivi évaluatif et l'intelligibilité.

En cohérence avec une vision socio-technique d'un collecticiel, la plus-value du soutien évaluatif dans le CSCW est permise par le rôle d'analyse et de communication du système technique vers l'humain. Nous pouvons donc envisager le soutien évaluatif d'un CSCW comme un travail collaboratif humain-humain mais aussi machine-humain.

Nous allons maintenant étudier l'état de l'art issu des collecticiels, pour définir comment

se gèrent en pratique les différents contextes et process liés à l'activité soutenue et à l'interaction. Nous étudierons également comment les CSCW proposent d'articuler activité soutenue et interaction. Nous dégagerons des pistes de mise en œuvre respectant les trois propriétés identifiées d'intelligibilité, de flexibilité et de suivi évaluatif.

Chapitre 2

État de l'art

Sommaire

2.1 Introduction 54
2.2 Représentation et gestion du contexte et Collecticiels 55
2.2.1 Vision globale 55
2.2.2 Contexte dans l'activité soutenue 56
2.2.2.1 Contexte environnemental 56
2.2.2.2 Contexte de l'action 56
2.2.2.3 Contexte organisationnel 57
2.2.3 Contexte dans la gestion de l'interaction 58
2.2.3.1 Vision globale 58
2.2.3.2 Contexte de l'interaction Humain-Humain 58
2.2.3.3 Interaction Humain-Machine et Contexte individuel 59
2.2.3.4 Contexte de l'interaction sortante Machine-Humain 59
2.2.4 Synthèse des besoins liés à la gestion du contexte 60
2.2.4.1 Gestion de la dynamique temporelle 60
2.2.4.2 Puissance de représentation 61
2.2.4.3 Puissance d'analyse 61
2.2.5 Piste de mise en œuvre : Les traces 61
2.2.5.1 Gestion de la dynamique temporelle 62
2.2.5.2 Puissance de représentation 62
2.2.5.3 Puissance d'analyse 62
2.3 Représentation et gestion des process et Collecticiels 63
2.3.1 Représentation et gestion des process pour l'activité soutenue 64
2.3.2 Représentation et gestion des process pour l'interaction 66
2.3.3 Synthèse des besoins liés à la gestion des process 66
2.3.3.1 Gestion et représentation permettant les incohérences 67
2.3.3.2 Gestion et représentation explicite des process 67
2.3.4 Piste de mise en œuvre : Les organisations normatives 67
2.3.4.1 Organisations normatives permettant les incohérences 67
2.3.4.2 Organisations normatives explicites 68
2.3.4.3 Méta-modèle MOISE 69
2.4 Articulation entre activité soutenue et interaction et Collecticiels . . 70
2.4.1 Architectures pour l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction dans les collecticiels 71
2.4.1.1 Approche fonctionnelle, pour la gestion de activité soutenue . . 71

2.4.1.2 Approche conceptuelle, pour la gestion de l'interaction 74
2.4.1.3 Approche hybride pour l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction 78
2.4.2 Synthèse des besoins l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction 79
2.4.2.1 Suivi du contexte et suivi des process 79
2.4.2.2 Suivi local et global 79
2.4.2.3 Suivi du cycle d'exécution 80
2.4.3 Piste de mise en œuvre : Les SMA 80
2.4.3.1 Les Systèmes multi-agents 80
2.4.3.2 SMA et collecticiels : Systèmes déjà existants 81
2.4.3.3 SMA : intérêt pour le suivi du contexte et des process 82
2.4.3.4 SMA : intérêt pour le suivi local et global 84
2.4.3.5 SMA : intérêt pour le suivi du cycle d'exécution 84
2.4.3.6 SMA normatif avec JaCaMo 86
2.5 Conclusion et pistes retenues 88
2.5.1 Rappels sur la problématique 88
2.5.2 Étude des collecticiels 88
2.5.3 Éléments de réponse à la problématique 89

2.1 Introduction

Nous souhaitons pouvoir supporter et évaluer l'activité collaborative et les process qui la régissent, afin de proposer un soutien évaluatif dans le cadre d'un CSCW (travail collaboratif supporté par ordinateur) de gestion de crise. Cela implique que le système technique soutienne l'activité collaborative Humain-Humain, tout en l'évaluant et en transmettant son analyse aux utilisateurs humains pour enrichir leur vision de l'activité collaborative. Cela nous amène à penser le soutien évaluatif comme un travail collaboratif Humain-Humain et Machine-Humain, à concevoir comme un système socio-technique.

Nous avons vu se dégager une multitude de fils de lecture de l'activité utilisateur :
— **l'activité soutenue** (par exemple l'activité de crise) répondant à un ensemble de process en parallèle –*process organisationnels, multi-organisationnels, bon sens*–, et en contexte de nombreux autres éléments d'activité (chapitre 1, section 1.2) ,
— l'activité d'**interaction** répondant à un ensemble de process en parallèle – *règles d'utilisation des tangibles et de mise en place de retours informés*–, et en contexte de nombreux autres éléments d'activité (chapitre 1, section 1.3) .

Nous allons maintenant étudier l'état de l'art issu des collecticiels, et en regard des verrous identifiés chapitre 1, section 1.4, comment sont gérer les différents contextes liés à l'activité soutenue et à l'interaction (section 2.2). Nous étudierons la manière dont sont intégrés les process (section 2.3), tant pour l'activité soutenue que pour l'interaction. Nous verrons par la suite comment les CSCW proposent d'articuler activité soutenue et interaction (section 2.4).

A la fin de chacune de ces trois sections, nous proposerons une piste pratique qui répondra aux éléments mis en lumière dans l'état de l'art. Nous conclurons en rappelant les éléments évoqués dans ce chapitre puis en présentant les principes généraux sur lesquels se base la solution que nous présenterons dans le chapitre suivant.

2.2 Représentation et gestion du contexte et Collecticiels

Nous avons évoqué dans le premier chapitre notre volonté de mettre en place un partage de contextes pour une conscience partagée (contexte awareness) lors une activité collaborative distribuée multi-organisationnelle ; en particulier pour un collecticiel de soutien évaluatif. Nous avons également abordé les multiples niveaux de contexte auxquels va être soumis un utilisateur.

2.2.1 Vision globale

Dans une activité collaborative distribuée médiée par des outils, le contexte est indispensable pour comprendre une information, pour gérer la dimension temporelle et comprendre une action dans sa dynamique. Cela est particulièrement vrai dans deux cas qui s'appliquent souvent dans les situations d'équipes distantes et virtuelles : pour compenser la réduction d'information contextuelle (en comparaison à une interaction présentielle), et pour faire face aux activités non-routinières (comme la gestion de crise) (Ahn et al., 2005). Selon ces mêmes auteurs, il est possible d'identifier quatre fils de contextes, utiles et utilisés dans la mise en place d'une conscience partagée :

- Contexte environnemental et circonstances physiques
- Contexte de l'utilisateur et de l'interaction
- Contexte de l'action et connaissance du domaine
- Contexte organisationnel

Bien que nous ne nous posons pas en contradiction avec cette liste de contextes, nous souhaitons développer la dimension associée à l'interaction Humain-Machine, qui se décline dans la liste proposée selon le contexte de l'utilisateur et de l'interaction. Selon notre vision, les contextes peuvent se référer :

- à l'activité soutenue (sous-section 2.2.2), où nous reprenons le contexte environnemental (partie2.2.2.1), le contexte de l'action (partie2.2.2.2) et le contexte organisationnel (partie2.2.2.3),
- et l'activité d'interaction (sous-section 2.2.3), où nous reprenons le contexte de l'utilisateur dans son interaction avec les autres utilisateurs (partie 2.2.3.2), le contexte de l'utilisateur individuellement et de l'humain vers le système (partie 2.2.3.3) et enfin du système vers l'humain (partie 2.2.3.4).

Le contexte est à prendre en compte à la fois pour partager ce contexte, dans le cadre de la collaboration humain-humain, mais aussi pour pouvoir analyser l'activité collaborative et

enrichir l'expérience collaborative des utilisateurs, dans le cadre de la collaboration machine-humain.

Nous allons détailler dans la suite de cette section les contextes qui sont utiles pour gérer l'activité soutenue, puis pour soutenir l'interaction dans un CSCW (travail collaboratif soutenu par l'ordinateur). Nous en dégagerons les besoins liés à la gestion de contexte dans le CSCW, et l'utilisation des traces pour y répondre.

2.2.2 Contexte dans l'activité soutenue

Un des premiers éléments de contexte à prendre en compte dans une activité collaborative est le contexte dans lequel l'activité collaborative soutenue s'inscrit. Dans notre cadre de l'activité collaborative en gestion de crise, il s'agit de prendre en compte l'environnement (*quels sont les lieux inondés ?*), l'action (*quelles autres actions ont lieu à distance en parallèle de la mienne ?*), et l'organisation (*qu'attend-on de moi et qui mon action va-t-elle impacter ?*). Nous présentons dans ce qui suit ces différents fils de contexte.

2.2.2.1 Contexte environnemental

Le contexte environnemental consiste à maintenir l'état du monde et son évolution dans le système informatique. Le partager et l'utiliser pour l'analyse de l'activité soutenue permet à des acteurs d'en tenir compte dans leurs activités et leur coopération. Les indicateurs environnementaux liés à l'attendu d'un process sont importants dans la prise de décision et participent à la mise en place d'une conscience organisationnelle partagée (Steinfield, Jang et Pfaff, 1999). Cela peut représenter un état (e.g. météorologie), ou la disponibilité de ressource (e.g. la disponibilité d'une salle), ou encore la répartition géographique d'éléments importants (e.g. des collaborateurs) à un moment donné (Voida et al., 2002). L'environnement encapsule par ailleurs une collaboration inter-organisationnelle indirecte en contextualisant une partie du suivi des règles de bon sens de l'activité collaborative dans leur environnement.

Le contexte environnemental est lui-même un contexte très riche qui contient plusieurs fils de contexte, ancrés dans le temps. Ce contexte nécessite une certaine *puissance de représentation*, qui intègre une logique *temporelle* (état du monde à un moment donné et évolution dans le temps).

2.2.2.2 Contexte de l'action

Le contexte de l'action renvoie aux actions réalisées sur le moment (à distance) par d'autres acteurs. Il peut également concerner une information asynchrone, à propos d'évènements passés (Steinfield, Jang et Pfaff, 1999), et permet dans les deux cas la mise en place d'une conscience partagée de l'activité. Dans une situation particulière avec un espace de travail partagé, il est possible de mettre en place une conscience partagée de l'activité périphérique

(c'est à dire au sujet de l'activité des autres utilisateurs) (Hornecker, 2005). Cette conscience partagée peut être recréée dans une situation distribuée en envoyant des informations à des utilisateurs distants. Elle peut être affinée en ne partageant que les activités distantes en lien avec les activités locales. La conscience partagée autour de l'activité peut s'appuyer sur plusieurs caractéristiques de l'action elle-même (outre sa réalisation ou non). Cette conscience partagée peut aussi reposer sur des caractéristiques et des contraintes liées à l'activité, comme des dates buttoirs ou la production associée à cette activité (Ahn et al., 2005).

On peut également mettre dans cette catégorie la conscience du projet, où il s'agit de partager et accéder aux décisions et aux évolutions d'un projet (Klemke, 2000). Pour le suivi de ce contexte par le système, une *représentation* des liens entre activités, indépendamment des acteurs qui les réalisent, est nécessaire. De plus, un suivi *temporel* de la situation doit être fait, dans sa réalisation et son traitement informatique.

Ce contexte ne représente pas différents fils de contexte, mais plutôt un ensemble d'éléments entrant en jeu pour les actions en cours en lien avec les actions passées. Ce contexte sert de *support à l'analyse* de l'activité, ancrée dans le *temps*.

2.2.2.3 Contexte organisationnel

En se superposant au contexte de l'action, le contexte organisationnel s'intéresse à la répercussion des actions sur le collectif. Il s'agit de rajouter une dimension autour de "qui" va être impacté, afin de pouvoir pleinement réaliser une action collaborative. En effet, il n'est ni suffisant d'avoir une connaissance à propos des objets (*what-knowledge*) pour réaliser une action en toute "conscience" de cause, ni d'avoir une connaissance du contexte sur la manière et la raison (*how-* et *why-knowledge*)(Goldkuhl et Braf, 2001).

Les connaissances sur l'organisation peuvent être utilisées soit dans un système d'aide, où il s'agit de fournir activement une connaissance sur l'organisation et le contexte de l'activité, soit comme un espace permettant d'organiser les connaissances sur l'activité selon le contexte de l'activité (Klemke, 2000). Ce contexte s'appuie sur la connaissance de la situation (actuelle et passée). Une partie de la gestion de ce contexte peut être apprise grâce à l'expérience, ce qui indique l'intérêt d'un soutien évaluatif.

Ce contexte organisationnel est un ensemble d'éléments au cœur de l'*analyse* du soutien évaluatif, dans la logique *temporelle* de l'activité.

Ce contexte organisationnel n'aborde pas les logiques multi-organisationnelles. Dans nos lectures, une seule organisation est considérée comme impliquée dans cette activité collaborative. Pour passer à l'échelle multi-organisationnelle, il faudra nous pencher sur l'intégration d'une et de plusieurs organisations dans les collecticiels, et ajouter une puissance de *représentation* pour rendre compte de ces différents fils de contexte organisationnels.

2.2.3 Contexte dans la gestion de l'interaction

Le deuxième élément de contexte à prendre en compte dans une activité collaborative est le contexte qui s'applique à l'interaction qui supporte l'activité collaborative. Nous proposons de traiter cet aspect au même niveau que celui de l'interaction soutenue, en lien avec une vision socio-technique d'un collecticiel où le rôle du système est un rôle à part entière. Ainsi, en plus de l'interaction Humain-Humain, nous considérons l'interaction Humain-Machine et Machine-Humain.

2.2.3.1 Vision globale

Il est nécessaire de rendre intelligible les actions des utilisateurs pour le système, tout en maintenant une flexibilité. L'interaction en général, et tangible en particulier, nécessite d'être comprise dans son contexte (1) vis-à-vis des autres éléments d'interactions présents, dans notre cas les autres objets tangibles et les retours virtuels, pour définir les combinaisons possibles, (2) vis-à-vis des éléments numériques représentés sur l'interface, dans notre cas le fond de cartes et les éléments de l'environnement, pour définir l'élément auquel l'interaction se réfère, et (3) vis-à-vis des éléments nécessaires pour interpréter l'interaction, dans notre cas la correspondance d'un objet tangible avec une fonctionnalité.

2.2.3.2 Contexte de l'interaction Humain-Humain

Dans un contexte distribué, il faut faire le lien entre des interfaces multiples et distantes mais connectées en réseau, afin de développer dans un premier temps une interaction Humain-Humain médiée par la machine.

L'interaction présente des aspects conversationnels situé dans un contexte qui doit être partagé dans le cadre d'une interaction Humain-Humain-médiée par la machine. L'interprétation peut être réalisée dynamiquement en s'appuyant sur une logique de dialogue, car présentant de nombreuses références au contexte (Xuereb et Caelen, 2004). Il s'agit dans ce cas de faire un lien direct (notamment temps réel) entre une action d'interaction, et l'affichage à distance, ce qui nécessite un *représentation* du contexte et de l'activité dans le *temps*.

Pourtant, considérer uniquement l'interaction Humain-Humain dans un collecticiel limite le rôle du système à un rôle de "catalyseur" de l'activité humaine. En cohérence avec la vision d'un système socio-technique dans le cadre d'un soutien évaluatif, le système a un rôle actif, dans le sens où il fournit un retour réflexif à l'utilisateur. En ajoutant une interface, l'interaction Humain-Humain médiée par la machine est la combinaison d'une interaction Humain-Machine et Machine-Humain.

2.2.3.3 Interaction Humain-Machine et Contexte individuel

Le contexte individuel correspondant à l'activité interactive réalisée par un utilisateur en temps réel est important pour personnaliser l'interaction avec l'utilisateur. Le maintien d'un tel contexte implique que le système suive individuellement chaque utilisateur (Fischer et Ye, 2001). La personnalisation et la contextualisation permet de condenser l'information, et d'éviter ainsi la surcharge informationnelle en améliorant la qualité des informations (Klemke, 2000). Nous souhaitons en revanche appuyer le fait que le but d'un système évaluatif n'est pas dans la personnalisation de l'interaction et de l'activité à un apprenant particulier. En revanche, le suivi "individuel" peut s'envisager pour chaque interface (c'est à dire pour chaque table tangible).

Dans notre cadre de l'interaction tangible, il s'agit de prendre en compte l'utilisateur individuellement, les interactions entre utilisateurs, de l'utilisateur vers le système et finalement du système vers l'utilisateur. Une tâche réalisée à travers un collecticiel utilise une interface et ajoute ainsi un contexte d'activité (Maus, 2001). Dans les systèmes socio-techniques, il est important de préserver l'autonomie d'action des utilisateurs notamment dans l'interaction, afin qu'ils puissent réagir face à un environnement complexe et changeant (Singh, 2013). Le contexte d'une application interactive peut se définir par l'activité de l'Interface Humain-Machine (Calvary et al., 2004). L'application peut disposer du contexte sur l'utilisateur, de l'environnement de l'application et de la plateforme de déploiement (Calvary et al., 2004). Par ailleurs, les retours aux utilisateurs sont situés dans un contexte, qu'il faut maintenir afin de fournir des retours pertinents.

Outre une adaptation du système à l'utilisateur, un suivi individuel est nécessaire pour interpréter l'interaction. La table TangiSense que nous utilisons est un support interactif multi-utilisateurs, où les interactions peuvent avoir un sens par utilisateur (Lebrun, 2012). Ce contexte individuel peut être étendu et appliqué aux utilisateurs individuels ainsi qu'aux supports interactifs individuels, pour chaque table TangiSense en réseau. En effet, chaque table représente un élément répondant à des propres process de gestion de l'interaction, en collaboration avec les autres tables pour l'envoi et l'affichage d'information.

Face à l'activité collaborative distribuée selon plusieurs schémas (interaction d'un utilisateur, de plusieurs utilisateurs en parallèle, de groupe d'utilisateurs) et au sens que peut porter l'interaction, une bonne puissance de *représentation* et d'*analyse* du contexte interactif entrant est nécessaire. De plus, plusieurs objets pouvant être utilisés en même temps, et un même objet à plusieurs moments, la dimension *temporelle* est une composante indispensable.

2.2.3.4 Contexte de l'interaction sortante Machine-Humain

En plus de l'acquisition de l'activité utilisateur, le système informatique va fournir des retours à l'utilisateur afin d'enrichir sa *représentation* de la situation. Un outil informatique peut communiquer à l'utilisateur son analyse de l'activité en cours à travers un retour virtuel. Le système informatique peut alors enrichir les actions de l'utilisateur avec des retours virtuels.

Les retours informés sont alors situés dans l'activité de l'utilisateur, favorisant un conscience partagée augmentée. Cela a déjà été appliqué à des notifications, non pas en périphérie de l'activité, mais situées au niveau de l'élément qu'elles concernent. Ainsi, la conscience du contexte de l'activité est améliorée (Carroll et al., 2003), dans Virtual School. L'interface a été proposée par les auteurs pour collaborer entre élèves sur la construction d'un projet scientifique, et les notifications apparaissent à l'endroit de la fenêtre qui est concerné par la notification, et non pas en bas de la fenêtre de l'interface utilisateur. Dans notre cas il est possible de produire directement au niveau de l'objet tangible (lié à l'activité qu'il incarne) des retours sur l'analyse de l'activité.

Plusieurs adaptations peuvent être proposées à l'utilisateur pour l'amélioration de la collaboration et de la conscience partagée par l'enrichissement des contextes, comme des retours informés en périphérie qui permettent de mettre en place une conscience du contexte sans rediriger l'attention vers un élément spécifique. En bénéficiant d'un arrangement bien structuré d'informations liées entre elles, il est possible de réduire les efforts cognitifs nécessaires pour les utilisateurs.

Il faut pour cela également considérer les informations ayant un fort contexte temporel. Cela nous amène à considérer deux types d'interaction : la mise en place de retours informés de manière passive (le système les affiche) et la mise en place de manière active (les utilisateurs doivent agir pour consulter les retours). La première forme est plus adaptée aux retours avec une forte composante *temporelle*, mais peut mener à une trop grande abondance de retours informés. La mise en place active des retours est moins intrusive que la mise en place passive, mais peut mener à une sous-utilisation des informations contextuelles et ajouter de la charge de travail pour le groupe (Steinfield, Jang et Pfaff, 1999). Un filtrage de la mise en place des retours informés, de manière contextuelle, peut être une bonne solution, mais cela nécessite que le système *analyse* l'activité.

2.2.4 Synthèse des besoins liés à la gestion du contexte

Selon Ahn et al., 2005, la situation d'une activité dans un contexte permet d'une part au système de gagner en puissance d'analyse à propos de l'activité de l'utilisateur et d'améliorer la qualité de la connaissance acquise. D'autre part, le système peut fournir un retour de meilleure qualité à l'utilisateur en utilisant efficacement ces connaissances.

2.2.4.1 Gestion de la dynamique temporelle

Pour la compréhension de l'activité soutenue d'un CSCW durant sa réalisation à l'aide un collecticiel, il est nécessaire de comprendre l'état global du système à un moment donné, tant dans son contexte environnemental, d'action, organisationnel (et multi-organisationnel) que dans son contexte interactif individuel, Humain-Humain, Humain-Machine et Machine-Humain. Cela est vrai afin que le système puisse suivre et partager les contextes globaux en temps réel, pour régir face à une action utilisateur en particulier et à un changement

de contexte en général. Une connaissance instantanée du contexte n'est pas suffisante. Nous avons évoqué dans le chapitre précédent que le système doit pouvoir réaliser une analyse, une évaluation et un diagnostic de l'activité dans ces multiples contextes. Pour cela, il faut raisonner sur les états antérieurs à la fois des contextes, de l'activité en cours, voire sur des process régissant l'activité. Il faut donc maintenir dans le système les contextes d'activité et les activités avec une indication temporelle pour pourvoir les analyser par la suite.

2.2.4.2 Puissance de représentation

Cela nous amène à la nécessité de disposer d'une bonne puissance de représentation de l'ensemble des éléments évoqués. Cette représentation doit concerner les contextes (environnement de crise, état des organisations), et les actions (actions réalisées en gestion de crise par les utilisateurs) de l'activité soutenue. Cette représentation doit aussi concerner les contextes (éléments tangibles, retours virtuels), et les actions (actions tangibles réalisées par les utilisateurs, actions d'affichage par le système). En résumé, la puissance de représentation, pour exprimer les variétés de fils de contextes et d'activité, doit concerner l'activité soutenue et l'interaction, et donc l'activité et le contexte d'activité des utilisateurs et du système.

2.2.4.3 Puissance d'analyse

Cette puissance de représentation est une des dimensions nécessaire pour l'évaluation et le diagnostic de l'activité des utilisateurs et du système, en termes d'activité soutenue et d'interaction. Cela nous amène à la nécessité de disposer d'une bonne puissance d'analyse de l'ensemble des éléments évoqués. Cette analyse doit pouvoir porter sur tous les contextes, et les actions de l'activité soutenue et de l'interaction. Il s'agit de disposer d'outils et de mécanismes qui permettent de vérifier le suivi ou non d'attendus, en termes de régimentation de l'activité et du sens commun. Cette puissance doit pouvoir se faire indépendamment sur les variétés de fils de contextes et d'activité, afin de pouvoir croiser les analyses.

Cette mise en contexte nécessite de tracer l'activité et d'en garder un historique informatique.

2.2.5 Piste de mise en œuvre : Les traces

Afin de pouvoir gérer un contexte informatiquement, il est impératif de pouvoir connaitre le contexte en cours ; et son évolution dans le temps doit être gérée dynamiquement, en particulier dans un contexte distribué. Ce contexte doit être également modélisé et numérisé pour permettre une analyse et un retour supporté par un système informatique. Pour nous orienter vers une mise en oeuvre, nous avons choisi une piste selon les propriétés de flexibilité, d'intelligibilité et de suivi évaluatif.

Nous devons pouvoir représenter les différents fils de contexte en jeu. Afin de réaliser

un suivi et une analyse appropriés, nous devons garantir les propriétés d'intelligibilité, de flexibilité et de suivi évaluatif dégagées dans le chapitre 1.

Représenter efficacement et explicitement le contexte permet de répondre à la propriété d'intelligibilité. Un contexte intelligible soutient le suivi évaluatif de l'activité, en particulier si une dimension temporelle est associée. Les traces conceptualisent ces aspects.

2.2.5.1 Gestion de la dynamique temporelle

Du fait leur nature liée à l'activité et son suivi, les traces sont associées à une dimension temporelle et aux modifications que l'activité engendre sur l'environnement (Darwich Akoum, 2014). Une trace se modélise et se structure autour d'éléments observables avec une composante temporelle explicite(Lund et Mille, 2009). Pour reprendre une citation, une trace se définit comme "une suite temporellement située d'observés, qui relève soit d'une interaction entre humains, médiatisée et médiée de diverses façons par ordinateur soit d'une suite d'actions et réactions entre un humain et un ordinateur" (Lund et Mille, 2009).

Cet ancrage est donc temporel et concerne l'activité, soutenue et d'interaction. Cela permet un suivi de l'activité, qui est une base au *suivi évaluatif*.

2.2.5.2 Puissance de représentation

Une trace se définit comme une « empreinte, marque laissée par une action ». Elles peuvent être le résultat d'une manipulation physique, ainsi qu'un élément numérique de suivi. Les traces se caractérisent par leur exploitabilité.

Une trace est construite pour un but où intervient un observateur, et son partage nécessite une forme symbolique ou matérielle.

Une trace exploitable informatiquement, ou M-trace pour trace modélisée, est composée d'une trace et du modèle de M-trace associée à la trace, afin de lui donner du sens. Ce modèle permet de décrire le format de la trace, et ainsi de pouvoir l'exploiter et l'analyser (Lund et Mille, 2009). La dimension *intelligible* de la trace fait partie intégrante du concept de trace.

2.2.5.3 Puissance d'analyse

Dans le cadre de l'interaction, une trace permet d'être un support à l'interprétation, à sa justification voire son exemplification. Appliquée à une situation d'interaction, l'analyse de la trace permet de transformer une observation brute pour en extraire des descriptions utiles. Dans notre cadre applicatif, nous pouvons distinguer les traces tangibles (les objets tangibles à la surface de la table TangiSense), les traces numériques (les représentations informatiques de l'activité) et les traces virtuelles (les retours informés à la surface de la table TangiSense).

Outre la contextualisation de l'activité elle-même (lieu et date de connexion, manipulations de l'environnement etc.), les traces permettent d'adapter l'interaction à l'utilisateur. En effet, les données enregistrées dans les traces sont dirigées par un but, qui oriente l'exploitation des traces (Darwich Akoum, 2014). Les traces brutes (d'activité soutenue et d'interaction) sont difficilement exploitables car elles ne sont pas structurées à l'enregistrement (Darwich Akoum, 2014). Leur utilisation nécessite alors des traitements complexes, comprenant plusieurs étapes (Cram, Jouvin et Mille, 2007). Les traces, numériques en particulier, doivent être modélisées en éléments ayant du sens dans l'activité observée et selon l'objectif de l'enregistrement de l'activité, qu'il s'agisse d'analyse ou d'assistance de l'activité (Settouti et al., 2006). Une des possibilités d'architecture d'un système à base de trace est composée d'un système de collecte, d'un système de transformation et d'un système de visualisation. L'approche MUSETTE (Champin, Prié et Mille, 2003) présente un modèle d'utilisation et un modèle d'observation permettant d'orienter le tri des données récoltées pour fournir un retour d'expérience. Les éléments à observer sont définis dans le modèle d'utilisation, alors que le modèle observation indique comment traiter les traces afin d'extraire les éléments pertinents (Darwich Akoum, 2014). Cette approche est intéressante pour séparer l'interprétation de l'interaction et l'analyse de l'activité, ce qui apporte une certaine *flexibilité*. Cependant, notre vision socio-technique nous pousse à considérer les étapes de l'interaction entrante, l'activité soutenue et l'interaction sortante comme étant des étapes à part entière, et à réaliser un *suivi évaluatif* à chaque fois (afin que notre système dépasse le rôle de catalyseur de l'activité humaine soutenue).

Les traces, organisées, semblent être un bon outil de suivi de l'activité. Elles peuvent être locales et permettre d'enregistrer un point de vue particulier, et permettre le suivi d'activité localement. Ces traces doivent être intégrées dans un système plus global, l'analyse et l'enrichissement des traces à travers un modèle des éléments à observer. Nous souhaitons tout particulièrement observer, analyser et diagnostiquer des process organisationnels (activité de crise), les règles de sens commun (critères pour une bonne réponse de crise) et d'interaction (interaction tangible et retours virtuels).

2.3 Représentation et gestion des process et Collecticiels

Nous venons de voir les différents fils de contextes et comment ils peuvent être suivis dans les traces, pour l'activité soutenue et pour l'interaction. Nous allons maintenant aborder la représentation et la gestion des process (verrou identifié dans la section 1.4.2) afin de représenter les attendus d'une activité multi-organisationnelle et multi-critères, associés à des règles d'interaction pour un suivi de l'activité soutenue et de l'interaction. Il s'agit de disposer d'un outil de modélisation de l'activité attendue (pour l'activité soutenue et l'interaction), qui servira également de support à l'analyse de l'activité. Nous allons maintenant nous pencher sur la manière de représenter et de manipuler ces process numériquement. Cette représentation des process doit permettre d'apporter la flexibilité nécessaire à notre système.

Les process dans les collecticiels sont présents sous plusieurs formes. Nous retrouvons

notamment les ontologies, les workflows, et la représentation de rôle. Nous allons voir dans cette section comment les process sont utilisés pour supporter l'activité soutenue et l'interaction. Nous nous pencherons sur les organisations normatives, en particulier avec le modèle MOISE, comme support à la représentation des process et à l'analyse de l'activité à travers le prisme de ces process.

2.3.1 Représentation et gestion des process pour l'activité soutenue

Proposer des indicateurs orientés métiers en évaluant le fonctionnement des collectifs de travail est un apport pour l'analyse de l'activité collaborative. Ainsi, la modélisation des process prescrits permet dans ce cadre une mise en lumière l'utilisation dynamique conjointe d'artefacts [1] (de ressources) et de nouveaux moyens de communication réels modifiant les caractéristiques attendues de l'activité collaborative (enregistrement des conversations via le téléphone VS communications directes en cas d'urgence) (Couthon, Martineau et Salembier, 2014).

La partie des process, correspondant à des règles fixées, peut être retranscrite dans un système informatique, en s'appuyant sur une formalisation des connaissances. La définition de l'organisation dans un collecticiel est basée sur une ontologie représentant les procédures et les structures de l'organisation (Klemke, 2000). En ce qui concerne l'organisation des procédures, l'accent est placé sur l'ordonnancement des tâches et sous-tâches dans une activité collaborative (Steinfield, Jang et Pfaff, 1999). A notre connaissance, jusqu'ici, une seule organisation est considérée comme impliquée dans l'activité collaborative. Pour passer à l'échelle multi-organisationnelle, il faudra nous pencher sur l'intégration indépendante de plusieurs organisations dans les collecticiels. En premier lieu, comme pour un contexte organisationnel, l'ontologie de chacune des organisations impliquées doit être définie dans le système informatique. Dans un contexte multi-organisationnel, chaque organisation doit être représentée et spécifiée, mais doit également être suivie dynamiquement.

En effet, il faut pouvoir disposer d'une vision organisationnelle à un moment donné pour chaque organisation. Une spécification statique de l'organisation ne suffit pas. Pour le suivi de ce contexte par le système, une représentation qui prend en compte les procédures, les structures et le contexte organisationnel est nécessaire. Le suivi dynamique des actions est également à prendre en charge, dans leurs interdépendances et leurs liens avec les acteurs, les autres actions et les multiples organisations.

Le modèle MMASS propose de créer un espace stratégique, qui implémente notamment des tâches dans un workspace (Bandini, Manzoni et Simone, 2002). Des ontologies également ont été utilisées pour représenter les process dans les CSCW, par exemple dans le SMArt Personal Assistant (SPA) (Paraiso et Tacla, 2009) où un contrôleur de dialogue basé sur une ontologie de la tâche à réaliser. Il s'agit d'aider les utilisateurs humains à réaliser des tâches bien définies, demandant un certain nombre d'étapes (i.e. faisant appel à une bonne organisation, à une certaine mémoire, ou à une dépendance entre les tâches). En suivant leur

1. au sens *outil*

utilisateur, l'agent personnel animé peut dans un même temps apprendre au sujet du profil de l'utilisateur, et utiliser les données des activités de l'utilisateur pour partager la connaissance à travers les utilisateurs. En se reposant sur une ontologie, cette architecture permet de réagir selon les demandes des utilisateurs et limite les actions hors contexte. Cependant, les workflows et les ontologies ne sont pas adaptés au suivi d'une activité soutenue nécessitant de transgresser certains attendus et process.

Ainsi, il est possible de considérer de manière pertinente un environnement virtuel interactif (EVI) comme reposant sur des connaissances, permettant de raisonner sur des représentations et par l'interaction permettant de représenter ces connaissances, en statique ou en dynamique (Thouvenin, 2009). L'activité de l'utilisateur peut également être considéré comme des connaissances.

Le projet KIVA (Knowledge and Informed Virtual environment for gesture cApitalization) permet d'interpréter des gestuelles métiers. En s'appuyant sur la théorie de l'Enaction et de la cognition située, les auteurs mettent en lumière le fait que l'utilisateur va pouvoir adapter son comportement face à une connaissance dans un système interactif(Jeanne et Thouvenin, 2015). Dans KIVA, deux modules (respectivement ANGORA, et ALPAGA) servent à analyser en contexte un geste (respectivement en reconnaissant de manière automatique un geste, et en le confrontant au contexte personnel de l'utilisateur apprenant). Ils ont été utilisés par les auteurs pour faire apprendre des gestes techniques (grattage, nettoyage de pièces). Un retour évaluatif sur l'activité réalisée et détectée est adapté à la formation d'utilisateur. En considérant un environnement virtuel interactif (EVI) comme reposant sur des connaissances de l'activité soutenue, ce système permet de raisonner sur des représentations des attendus de l'activité soutenue en statique ou en dynamique (Thouvenin, 2009). Cela est intéressant dans le sens où un retour réflexif peut être réalisé à l'apprenant. Cette utilisation du contexe, à travers la gestion de connaissance, est utilisée au cœur d'un système interactif pour soutenir l'apprentissage, pour la réalisation d'activités ou la création collaboratives et participatives. Ce niveau abstrait et la possibilité de modéliser des scénarios se rapprochent des problématiques du soutien évaluatif. Bien que deux niveaux de connaissances soit modélisés, une remise en cause des process de l'apprenant et du geste à apprendre n'est pas réalisée.

KMADe (Sanou et al., 2008) est un système permettant de représenter les process et de les tester en réalisant un arbre de tâches. Associant une décomposition des tâches racines en sous-tâches en séquence, choix ou en parallèle, chaque tâche est liée à un acteur ou un groupe, à un élément déclencheur, ou encore à des objets. L'arbre des tâches peut ensuite être testé en simulation pour en vérifier la cohérence et l'enchainement avec les éléments déclencheurs, les objets etc. Ce modèle est intéressant car il permet de définir les process selon de nombreux éléments. En revanche, il n'est pas très modulaire et cela rend l'analyse difficile pour une activité réalisée en temps réel.

Pour l'activité soutenue, dans les systèmes présentés (workflows, ontologies, arbres des tâches), les process sont utilisés comme référence à l'activité pour aider à la planification des process, au suivi des process durant l'activité et à la reconnaissance automatique de l'activité. La *représentation explicite* des process est important dans toutes les représentations étudiées. Nous soulignons la nécessité d'accepter les *incohérences*, notamment inter-organisationnelles.

2.3.2 Représentation et gestion des process pour l'interaction

Il est possible de gérer le contexte d'interaction grâce à des process d'interaction. Des systèmes à base de rôles ont déjà été proposés pour diriger l'interaction selon des process. Les process, déclarés statiquement et portant sur l'interaction, permettent de spécifier les règles de mise en place de l'interaction Humain-Machine et Machine-Humain.

En complétant le modèle d'organisation AMOMCASYS (Adaptable MOdeling Method for Complex Administrative SYStems) (Adam, Grislin-Le Strugeon et Mandiau, 2008), Lebrun, 2012 propose de lier des agents aux objets manipulés par l'utilisateur à travers des rôles en rapport avec l'interaction. Pour le support d'une table tangible interactive TangiSense, des agents logiciels sont associés *via* des rôles à des objets d'interaction en entrée et à des retours virtuels en sortie du système informatique. Ainsi, chaque objet tangible est géré par un agent, ainsi que chaque retour informé virtuel. Chaque agent est situé, et peut voir son rôle évoluer en fonction de l'environnement dans lequel il se situe, et de l'activité des autres agents. Des agents non liés à des objets sont chargés de gérer le déroulement de l'application en lien avec l'interaction en cours. Cette représentation associant des rôles *explicites* à des objets (physique, numérique ou virtuel) est intéressante car permet aux objets interactifs de collaborer pour mettre en oeuvre l'interaction, comprise indépendamment des utilisateurs. Pour les supports interactifs multi-utilisateurs, il serait intéressant d'ajouter à cette architecture le suivi individuel des utilisateurs.

(Khezami, Otmane et Mallem, 2005) propose une version collaborative d'une activité de contrôle distant d'un robot en centralisant la gestion de l'interaction à distance, répartie ensuite par type d'activité (contrôle du robot, fil de discussion et chat, ...). Ce système utilise des entités logicielles autonomes, des agents, qui, en plus de suivre un profil utilisateur, prennent en compte l'organisation des activités entre utilisateurs. Ce modèle est intéressant car il permet d'organiser l'activité globale du système par type d'activité des utilisateurs, mais il n'intègre pas un rôle explicite de la part du système. En revanche, ce modèle permet de gérer les conflits et les *incohérences* par type d'activité à travers le type d'interaction (pas de manipulation concurrente des éléments du robot, mais une attribution du contrôle d'un élément au premier utilisateur ayant souhaité le contrôler).

Pour l'activité d'interaction, dans les systèmes présentés (normes et rôles, type d'activité), les process sont utilisés pour aider à interpréter l'interaction, et pour réguler une interaction distribuée.

2.3.3 Synthèse des besoins liés à la gestion des process

Nous retenons deux besoins liés à l'étude des systèmes précédents. Le premier est lié à l'activité (soutenue et d'interaction) distribuée et multi-organisationnelle, où il s'agit d'accepter les incohérences dans les process. Le deuxième est lié à la mise en place d'une aide claire, qui repose sur des process explicites.

2.3.3.1 Gestion et représentation permettant les incohérences

La représentation des process doit être compatible avec la représentation des process de l'activité. Dans notre cas, il faut pouvoir définir plusieurs process indépendants, de telle sorte que le système informatique accepte les process mal définis et incohérents (eux-mêmes et entre eux). Cela permet de gérer les aspects distribués (process différents en termes d'interaction et d'activité soutenue selon les sites distribués). En outre, les incohérences entre les différentes organisations ne seront pas bloquantes pour l'utilisation du système. Enfin, le but de notre système de soutien évaluatif est d'améliorer les process de l'activité soutenue. Un tel système est utile dans le cas de process mal définis et incohérents pour l'activité soutenue. Le fait de ne pas suivre les process attendus ne doit pas être bloquant pour le suivi de l'activité.

2.3.3.2 Gestion et représentation explicite des process

La représentation des organisations doit être explicite, pour pouvoir l'utiliser comme support explicite à l'analyse souhaitée pour un soutien évaluatif. Le système de représentation doit permettre des inférences et du diagnostic afin de pouvoir raisonner sur les process. Une représentation statique et une représentation dynamique en contexte de l'activité sont nécessaires.

2.3.4 Piste de mise en œuvre : Les organisations normatives

Nous souhaitons maintenant aller plus loin dans la modélisation, afin de représenter les différents process (issus des organisations de crise et du bon sens à propos de la collaboration pour notre cadre applicatif, politique d'envoi et d'affichage pour le cadre interactif). Il nous faut d'une part un outil nous permettant de représenter déclarativement les process afin de garantir la propriété d'*intelligibilité*. D'autre part, ces process doivent pouvoir être suivis et évalués (*suivi évaluatif*), mais leur non respect ne doit pas bloquer le système, afin de garantir la propriété de *flexibilité*. Il nous faut donc d'une part assurer la représentation statique des process, et d'autre part le suivi de leur état dynamique. Cela correspond à la déclaration "tels quels" des process pour l'activité soutenue et l'interaction d'une part, et au suivi évaluatif même si l'activité ne correspond pas aux attendus des process d'autre part. La combinaison de ces propriétés permet une gestion des diagnostics, sur différents fils de process éventuellement contradictoires et imparfaits.

2.3.4.1 Organisations normatives permettant les incohérences

Le premier besoin que nous identifions est celui d'accepter des incohérences. Nous souhaitons en effet intégrer les dimensions multi-organisationnelle, distribuée et un support à l'activité soutenue et à l'interaction. Nous nous questionnons ici sur les moyens de représenter un process, tout en laissant la possibilité d'en représenter plusieurs en même temps. Ces re-

présentations différentes doivent pouvoir être incohérentes, incohérentes entre elles, présenter une description statique, et maintenir un état dynamique capable de suivre l'état courant de l'activité.

L'organisation a déjà été prise en compte et modélisée dans les collecticiels pour la gestion des process d'activité soutenue et d'interaction, pour contextualiser les informations affichées aux utilisateurs et leur permettre de communiquer de manière située (Klemke, 2000).

Les organisations normatives permettent de définir des attendus au sujet d'une activité n'exigeant pas d'être suivis. Outre la problématique de l'émergence de normes, les organisations numériques et les structures normatives sont adaptées à la gestion d'un système socio-technique dans la mesure où elles peuvent supporter des spécifications non alignées et incohérentes entre elles. Ces mêmes structures offrent une base appropriée pour administrer un système socio-technique tout en préservant l'autonomie et la capacité d'adaptation des agents et des utilisateurs du système (Singh, 2013), à travers la *flexibilité* qu'elles offrent.

A travers la définition des process, les organisations normatives permettent un *suivi évaluatif* en offrant une référence pour l'activité attendue. Dans une vision socio-technique, les organisations normatives doivent être intelligibles et leurs différentes dimensions constitutives explicitement définies afin de pouvoir fournir une aide *intelligible* aux utilisateurs humains.

2.3.4.2 Organisations normatives explicites

Nous nous intéressons dans cette partie aux formalisations normatives qui permettent de modéliser les organisations et les process. Les spécifications organisationnelles et normatives sont nécessaires, et permettent de mettre en perspective les actions d'un utilisateur avec ce qu'attendent les autres utilisateurs, à travers des rôles (Singh, 2013). De nombreux moyens pour la représentation des organisations existent, permettant de garantir l'intelligibilité d'une organisation normative.

Des modèles logiques, comme le framework OperA (Dignum, 2004) sont efficaces pour réaliser des simulations et observer l'émergence de comportements et la réalisation d'objectifs ou évaluer la cohérence pour les communautés simulées (Putten et al., 2008). Cette utilisation, visant à observer les comportements suite au suivi de normes, s'adresse avant tout à des normes bien définies pour une organisation et qui devront être suivies.

Certains systèmes normatifs s'intéressent à la régulation des échanges entre les entités concernées par les normes, sans l'intégrer à l'état interne de ces entités. Singh, 2013 propose ce type de modèle normatif, qui permet d'apporter de la flexibilité en modifiant ce qui était prévu en substance (configuration) et ce qui est prévu selon le contexte (opérationnalisation). Les normes sont dans ce cadre une base pour une cohérence de groupe (qui doit faire quoi dans quel contexte), dont les effets peuvent être relaxés (enlever de manière générale une chose à faire, ou ne plus avoir à la faire dans un certain contexte). Dans d'autres modèles normatifs, la spécification de l'organisation est intégrée intrinsèquement à l'entité concernée, par exemple une entité logicielle autonome appelée Agent. On peut citer par exemple le modèle AGR

(Agent, Groupe, Role) (Ferber, Gutknecht et Michel, 2003). Ces deux derniers types de modèles autorisent le suivi des normes ou non, mais font le choix d'une représentation exclusivement interne ou exclusivement externe des normes. Or, nous souhaiterions un modèle où il est possible de dissocier les entités qui doivent suivre les spécifications organisationnelles de ces spécifications, et liant néanmoins l'activité de ces entités à des normes, afin de pouvoir comparer l'activité attendue et l'activité réalisée sous le prisme des process représentés dans les organisations normatives.

Nous souhaitons pour notre application un système adapté à de multiples organisations mal définies entre elles, afin de pouvoir réaliser un *suivi évaluatif* selon différentes perspectives. Acceptant plusieurs organisations, incohérentes et mal définies, explicitement représentées selon de multiples dimensions, nous nous intéressons par la suite au modèle MOISE. Nous verrons dans la section suivante comment le modèle MOISE est également intégré de manière interne à des agents logiciels Jason dans le framework JaCaMo.

2.3.4.3 Méta-modèle MOISE

Le méta modèle MOISE (Model of Organization for multI-agent SystEms)(Hubner, Sichman et Boissier, 2007) est une ontologie permettant de décrire explicitement une spécification organisationnelle selon des spécifications structurelle, fonctionnelle et normative. La spécification structurelle décrit les rôles, organisés en groupes dans une hiérarchie afin de représenter la structure de l'organisation à modéliser. La spécification fonctionnelle permet de modéliser l'ordonnancement et la décomposition des tâches selon des buts organisés en plans, et regroupés par missions. Enfin, la spécification normative lie les missions à des rôles selon un contexte particulier, selon une valeur déontique (*[qui](structure) a [obligation/permission/interdiction](valeur déontique) de faire quoi [mission](fonction)*) à travers des normes situées dans un contexte organisationnel. Ce modèle permet de modéliser indépendamment les organisations en jeu, sans lien direct les reliant. Les normes ne sont pas associées directement à l'entité (les agents) qui porte le rôle associé, mais l'entité doit activement s'engager sur les normes. Le lien entre organisations et entités passe par la notion de rôle, et l'entité qui adopte le rôle est ainsi liée à l'organisation. Pour autant, l'organisation est définie séparément des entités. Dans MOISE, les situations imprévues peuvent soulever des situations conflictuelles. Il est intéressant pour notre application que les situations conflictuelles soient levées, en termes d'analyse, de diagnostic et de retour d'expérience. Le fait que dans le modèle MOISE les normes puissent être suivies ou non rend ce point non bloquant dans notre cas.

MOISE se définit par trois spécifications organisationnelles : la spécification structurelle qui définit la hiérarchie et les groupes, la spécification fonctionnelle qui définit les plans et l'ordonnancement des tâches, et la spécification normative qui organise les deux spécifications précédentes. Ces spécifications sont utilisées pour décrire l'organisation en statique, et pour décrire l'état courant de l'organisation en dynamique. Cette modularité permet d'appuyer l'*intelligibilité* des process, et donc de réaliser un *suivi évaluatif* plus fin.

La spécification structurelle organise des rôles en groupe. Un rôle va être défini par son

identifiant, et ses relations avec d'autres rôles. Ces relations sont des relations de compatibilité, d'autorité, d'accointance et de communication. Un groupe est un ensemble de rôles. Un groupe est considéré comme bien formé quand toutes les contraintes associées à la présence de rôles sont bien respectées. Ces contraintes sont la cardinalité des rôles ayant rejoint le groupe, et la notion d'héritage.

La spécification fonctionnelle organise les buts entre eux (que l'on pourrait assimiler à des tâches). Un but peut être décomposé en sous buts. Ces sous-buts sont organisés selon un plan, qui précise la manière dont les sous-buts doivent être réalisés pour que le but-père soit considéré comme réalisé. Ainsi, des sous-buts peuvent devoir être réalisés en séquence, en parallèle ou au choix, afin que le but-père soit réalisé. Un plan "racine" est lié à un but "racine", et ils représentent le but et le plan général. Certains buts sont liés à une même activité transversale, même s'ils ne sont pas regroupés au sein du plan racine. Les missions regroupent ces buts et ces sous-buts transversaux.

La spécification normative spécifie les normes, c'est à dire quel rôle doit faire quoi dans quel contexte. Une norme lie un contexte à l'activation d'un opérateur déontique (obligation, permission, interdiction) à propos d'une mission à un rôle dans un groupe. Cette activation dépend d'un évènement déclencheur.

Le méta modèle MOISE prévoit de déployer un outil de suivi de l'état de l'organisation, quand la spécification est liée à des entités qui adoptent des rôles. La description de l'organisation, en XML, est statique. La gestion dynamique de la spécification structurelle est liée séparément de la spécification fonctionnelle et normative. MOISE est associé à un système de détection d'erreur et d'incohérences dans l'état de l'organisation, permettant la mise en place d'un *suivi évaluatif*.

MOISE répond à nos attentes, car il présente une spécification statique et un suivi dynamique des organisations. Il permet de prendre en charge une partie du diagnostic et de l'analyse de l'état de l'organisation. De plus, ce modèle permet de spécifier des organisations indépendamment les unes des autres.

Nous pouvons donc suivre un contexte d'activité soutenue et d'interaction, notamment à travers la modélisation des process. Nous souhaitons maintenant rajouter la possibilité d'articuler analyse locale et analyse globale de l'activité soutenue et de l'interaction, dans une configuration distribuée.

2.4 Articulation entre activité soutenue et interaction et Collecticiels

Nous avons vu comment les contextes et les process, pour l'activité soutenue et pour l'interaction, peuvent être modélisés. Nous allons maintenant aborder notre dernier verrou en étudiant comment articuler l'activité soutenue et l'interaction en particulier, et les différents fils de l'activité en général. Nous aborderons dans un premier temps comment l'articulation des

différents contextes est gérée dans les collecticiels à travers les architectures proposées et les systèmes déjà existants. Nous verrons dans un second temps une synthèse des besoins identifiés, puis dans une troisième partie comment les SMA (Systèmes multi-agents) permettent d'y répondre. Les systèmes normatifs ont été liés à des Systèmes Multi-Agent (SMA). L'utilisation d'un système multi-agent présente l'avantage d'être facilement distribué et d'être un bon support à la conception de système ouvert. La spécification MOISE peut être notamment liée à un Système Multi-Agent (SMA), où les agents adoptent des rôles dans l'organisation MOISE, et peuvent lors s'engager sur des missions selon les normes actives.

2.4.1 Architectures pour l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction dans les collecticiels

Nous avons soulevé dans le chapitre 1, en regard de la définition de Karsenty, deux piliers dans l'activité d'un collecticiel qu'il s'agit d'articuler : le support à l'activité soutenue dans le CSCW, et le support à l'interaction au service du CSCW. Face aux problématiques multiples du déploiement d'outils d'aide à la collaboration, plusieurs modèles d'architecture ont été proposés. Certains sont articulés autour de la gestion de l'activité soutenue (approches fonctionnelles, partie 2.4.1.1), d'autres sont articulés autour de la gestion des données selon une vision interactionnelle, avec une entrée, un traitement et une sortie (approches conceptuelles, partie 2.4.1.2). Certains modèles essaient d'articuler les deux aspects (approches hybrides, partie 2.4.1.3), afin de respecter la logique de conception et la logique d'implémentation informatique (Delomier, 2013).

La problématique d'articulation entre activité soutenue et interaction est également présente dans la définition des tâches. Par exemple KMADe permet, dans un modèle de tâches, d'attribuer des tâches au système interactif à construire. Les tâches peuvent être attribuées à l'utilisateur, au système et à l'interaction de l'utilisateur avec le système. Cela permet d'intervenir en amont pour définir le travail supporté par ordinateur, mais cela ne se penche pas sur l'architecture pour la mise en œuvre du collecticiel correspondant. Nous allons nous pencher dans cette section sur les approches permettant d'opérationnaliser des collecticiels.

2.4.1.1 Approche fonctionnelle, pour la gestion de activité soutenue

Afin de faciliter la conception de collecticiel, et face à la complexité d'une activité collaborative, les modèles fonctionnels proposent d'organiser l'architecture informatique autour de l'activité soutenue par le collecticiel. L'avantage de ces modèles est de penser l'architecture dans l'optique de leur utilisation et dans leur rôle de soutien à une activité.

Une première manière d'organiser les fonctionnalités délivrées par un collecticiel est de les organiser en type de services, c'est à dire par type d'activité. Par exemple, le trèfle du collecticiel (Laurillau et Nigay, 2002a) est un modèle qui définit trois espaces (production, coordination, communication) pour les collecticiels qui organisent les différents services selon une typologie des activités en faveur du travail collaboratif (à gauche de la figure 2.8). Ainsi,

trois espaces renvoient à trois activités collaboratives, à savoir l'activité métier au cœur de l'utilisation du collecticiel, l'activité liée à l'organisation collective et la répartition des rôles et des efforts, et l'activité de communication pour les échanges directs entre utilisateurs. L'espace de production gère directement les fonctionnalités liées à l'activité pour laquelle le système est conçu (par exemple programmer pour un système collaboratif de développement logiciel). L'espace de coordination gère les éléments liés à la logistique du collectif d'utilisateurs (par exemple la connexion des utilisateurs, leurs droits d'accès ou la gestion des groupes). L'espace de communication gère la communication entre utilisateurs (par exemple le chat). En modélisant ainsi l'action et l'interaction Humain-Humain, ce modèle formalise de manière intéressante les différentes types de tâches d'une activité collaborative. Le modèle Clover est enrichi par Ferraris et Martel, 2000 avec un espace de régulation, orthogonal aux trois autres espaces. Cette version du modèle a l'avantage de permettre un lien entre les autres espaces, en explicitant les règles du fonctionnement des groupes d'acteurs par un modèle de participation. Cela permet d'articuler les différentes tâches et de les répartir à travers les acteurs.

Ce modèle permet aux utilisateurs de suivre les process de l'activité soutenue selon le contexte de l'activité soutenue, selon le contexte d'interaction : les éléments d'interaction utilisés (de production, de coordination et de communication) encapsulent des politiques spécifiques de l'interaction associées. Le cycle d'exécution va se faire selon l'espace d'activité auquel appartient l'élément interactif utilisé.

Le modèle Clover en particulier, et les modèles par services en général, ont l'avantage d'articuler l'interaction selon le type d'action (par exemple, par l'envoi direct de message en communication). Cela facilite la compréhension de l'architecture en fonction de l'activité soutenue. L'avantage, et l'inconvénient, est de ne pas spécifier directement le rôle du système dans la dimension Machine-Humain. Ainsi, les auteurs utilisent d'autres modèles comme le modèle Dewan pour le programmer, une fois réalisée la phase de spécification fonctionnelle du collecticiel (Laurillau et Nigay, 2002b).

Les modèles fonctionnels en couches intégrant un contrôleur de dialogue précisent davantage la manière d'opérationnaliser l'interaction Humain-Machine en entrée et en sortie en fonction de l'activité conceptuelle.

Le modèle ARCH sépare la représentation de l'activité à soutenir dans l'application (noyau fonctionnel) et l'interaction (composant physique d'interaction)(Kolski et Le Strugeon, 1998). Un contrôleur de dialogue est chargé de faire le lien entre ces deux modules. Afin d'assurer le lien entre les composantes présentées au Contrôleur de dialogue, deux niveaux intermédiaires sont ajoutés. L'Adaptateur du Noyau Fonctionnel permet de faire le pont avec le contexte dans lequel prend place les éléments du Contrôleur de dialogue. Quant au Composant Logique d'Interaction, il est en charge de faire le pont entre la représentation numérique des éléments issus du Contrôleur de Dialogue, et l'affichage effectif sur un support particulier (figure 2.1). Ce modèle définit le contexte et les process de l'activité soutenue (partie fonctionnelle), qu'il articule dans un contexte d'interaction (physique et logique) mis en contexte de l'activité soutenue par le contrôleur de dialogue. En revanche, les process d'interaction ne sont pas clairement définis.

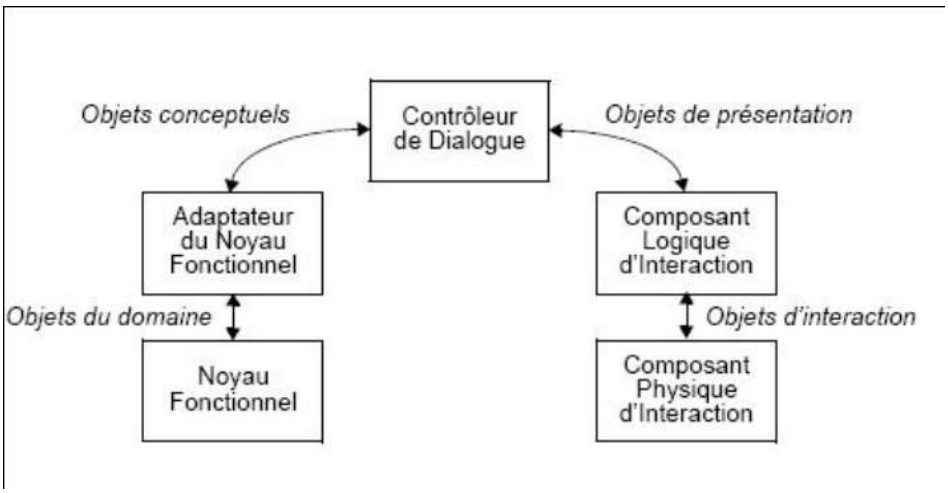


FIGURE 2.1 – Illustration du modèle ARCH. Les activités à soutenir dans l'activité sont définies, en bas à gauche, dans le noyau fonctionnel. En haut à gauche, le suivi de l'activité soutenue est réalisé dans l'adaptateur de noyau fonctionnel, qui fait le lien avec le noyau fonctionnel. Au milieu, le contrôleur de dialogue concilie explicitement activité soutenue et interaction. A droite, de haut en bas, la représentation numérique de éléments d'interaction dans le composant logique d'interaction sont instanciés dans une interface dans le composant physique d'interaction. La logique inverse (de l'interaction au noyau fonctionnel) fonctionne également.(figure issue de "GI81 : Réseaux et Travail Collaboratif, Partie I : Travail Collaboratif (M1 GEII et M1 RVSI)")

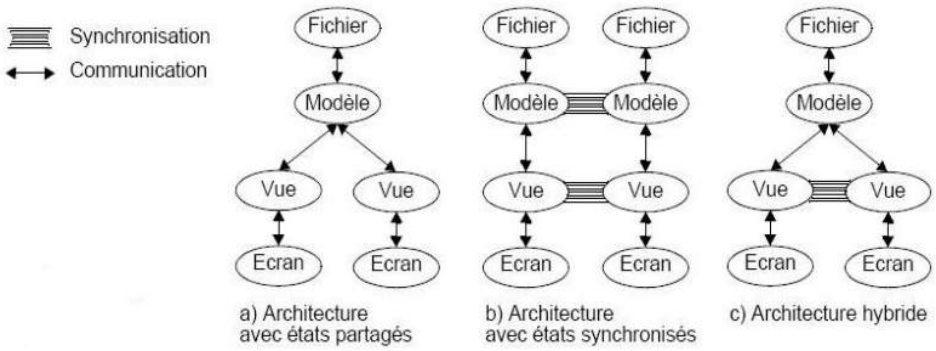


FIGURE 2.2 – Le modèle Zipper organise l'activité soutenue (modèle et fichier en haut) avec l'interaction (vue et écran en bas) en gérant les différentes modalités de partage du contexte et de l'activité avec les autres utilisateurs et espaces partagés. (figure issue de "GI81 : Réseaux et Travail Collaboratif, Partie I : Travail Collaboratif (M1 GEII et M1 RVSI)")

Le modèle Zipper propose d'orienter la gestion dans la collaboration autour de la manière dont chaque élément d'un utilisateur particulier va être lié avec un autre utilisateur, par le partage, la communication entre les éléments et la synchronisation de données (PATTERSON, 1995). Ce modèle permet de gérer des activités et des contextes d'activités en lien avec les activités des autres utilisateurs (figure 2.2). Le modèle Dewan s'inspire des modèles ARCH et Zipper, et explicite les informations partagées, synchronisées ou non selon les couches (DEWAN, 2001). Ici, la partie modèle concerne l'activité soutenue et ses process, et le contexte de l'interaction est défini en fonction des autres éléments, ce qui pourrait correspondre à des process d'interaction de manière indirecte.

L'intérêt de ces modèles est de pouvoir lier une activité globale à des utilisateurs distribués ou non. De plus, le cycle de vie de l'interaction vers le traitement de l'activité jusqu'au retour informé est bien défini.

Les modèles fonctionnels présentés sont intéressants par la manière avec laquelle l'interaction est contextualisée dans l'activité soutenue. En effet, l'interaction est pensée comme intégrée dans les activités du système. Un élément de contexte supplémentaire est ajouté en prenant en compte la régulation, en rendant explicite et intelligible le lien entre activité dans un contexte et l'interaction, notamment distribuée, à mettre en place. Dans un même temps, représenter explicitement l'interaction facilite l'implémentation, en particulier en représentant les process d'interaction.

2.4.1.2 Approche conceptuelle, pour la gestion de l'interaction

Les modèles conceptuels proposent d'expliciter en particulier les mécanismes d'interaction Humain-Machine, afin d'expliciter le cycle de vie de l'utilisation du système.

Une problématique en génie logiciel pour un collecticiel est la gestion du rapport entre les interactions Humain-Machine et le traitement numérique associé. Le modèle PAC encapsule l'interaction en entrée et en sortie sous le P (pour présentation), le traitement numérique est encapsulé sous l'appellation A (pour application), et la cohérence entre le P et le A est assurée et maintenue par le C (pour contrôle) (Coutaz, 1987) (figure 2.5). La Présentation renvoyant à l'aspect de l'interaction, et l'Abstraction renvoyant à la représentation numérique de éléments et leur gestion ("domain dependent functions"), nous retrouvons clairement les contextes d'activité d'interaction (physiques dans P et numériques dans A) et les process d'activité d'interaction (physiques dans P, numériques dans A et le lien explicite entre le physique et le numérique dans C). Dans cette architecture, les éléments liés à l'application sont liés directement à la mise en place de l'interaction, selon une perspective de programmation orientée objet (Coutaz, 1988). L'avantage de ce modèle est un cycle d'exécution clair.

Afin de gérer l'interaction impliquant différents acteurs distribués, le modèle ALV (pour Abstraction, Lien et Vue) gère différents affichages personnalisés selon les utilisateurs (la facette Vue), renvoyant à une représentation centralisée des éléments partagés par tous les utilisateurs (la facette Abstraction), ces facettes étant liées entre elles (la facette Lien) (Hill, 1992)(figure 2.3). La prise en charge des contextes locaux et globaux de l'activité interactive est intéressante, et est associée à une activité globale. Ainsi, les contextes et les process de l'activité d'interaction sont distribués, et associés à un contexte d'activité partagée. Il existe une possibilité de définir des process d'activité soutenue à ce niveau, correspondant à une organisation. En revanche, il n'y a pas de gestion locale de l'activité soutenue.

Une autre approche, le modèle AMF, s'inspire de et enrichit le modèle PAC grâce à une approche par facettes. Ainsi, les éléments P, A et C peuvent être définis comme plusieurs facettes qui précisent les éléments constituants. Par exemple, l'entité Contrôle peut être affinée avec des mécanismes de contrôle, l'entité Présentation peut être différentiée selon différentes modalités (par exemple avec une facette pour les écrans, une pour les tablettes), et l'entité Application peut être améliorée (par exemple en ajoutant un modèle utilisateur) dans les facettes des agents (Ouadou, 1994). Ces finesses permettent de mieux définir les process d'activité d'interaction.

Plus particulièrement orienté pour les applications collaboratives, le modèle AMF-C propose de fragmenter les agents (selon les facettes) sur différents sites distants. Un agent peut alors être "éclaté", les différentes facettes le composant étant réparties dans un contexte distribué. Ainsi un agent peut détecter l'interaction d'un ordinateur A (*via* une facette) et peut réaliser un retour sur un ordinateur B via une autre facette (Tarpin-Bernard, David et Primet, 1999). Les retours distants sont donc gérés par le même agent qui perçoit une activité (figure 2.4). Les process d'interaction distribuée sont très clairs en termes de cycle d'exécution, et dans la manière de les articuler avec un contexte distribué. En revanche, le cycle de gestion de l'activité soutenue est moins lisible.

Pour la gestion de l'interaction en général, il est intéressant de découpler l'interaction en entrée, l'activité du système et l'interaction en sortie. De plus, la personnalisation selon des utilisateurs distants est intéressante, car elle permet de prendre en compte des politiques de confidentialité distantes et d'affichage locales. Il est également possible de concevoir les retours

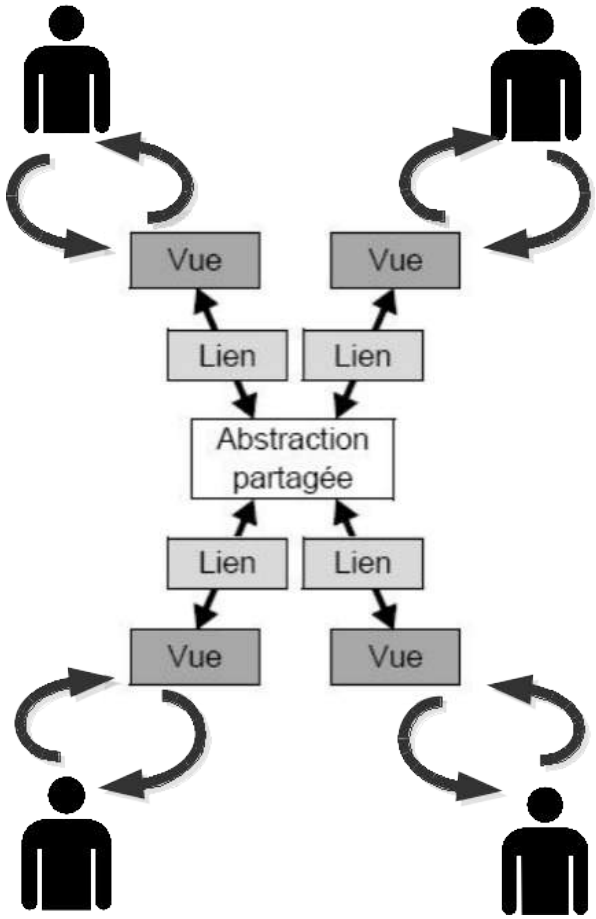


FIGURE 2.3 – Présentation du modèle ALV. Au centre, le contexte global et les éléments partagés sont représentés dans l'Abstraction. A l'extérieur, l'interaction est déclinée selon chaque support d'interaction distant (Vue), et les vues individuelles sont en Lien avec le contexte global de l'Abstraction partagée. (figure créée à partir de "GI81 : Réseaux et Travail Collaboratif, Partie I : Travail Collaboratif (M1 GEII et M1 RVSI)")

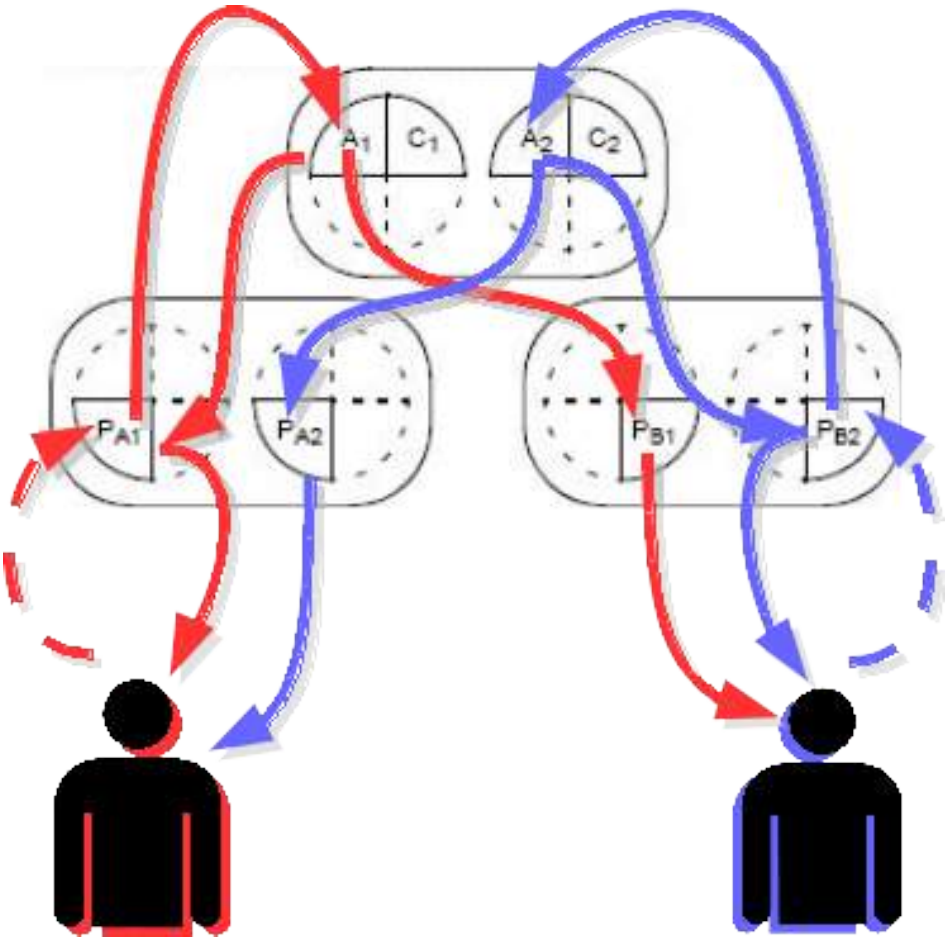


FIGURE 2.4 – Le modèle AMF-C s'inspire du modèle AMF, c'est à dire que le P de PAC peut être constitué de deux mécanismes d'affichages dans une interface. La particularité de l'AMF-C par rapport à l'AMF est d'éclater les facettes sur différents espaces partagés d'interaction. Ainsi, en haut sur le schéma, la cohérence du contexte global C et le traitement des informations issues de l'interaction A sont centralisés, et sont liés à des utilisateurs distribués. L'affichage (cycle en rouge) lié à l'activité de l'utilisateur A (en pointillés rouges) est réalisé en local (P_{A1}) et à distance à l'utilisateur B (P_{B1}) après un traitement en A_1. L'affichage (cycle en bleu) lié à l'activité de l'utilisateur B (en pointillés bleus) est réalisé en local (P_{B2}) et à distance (P_{A2}) après un traitement en A_2. (figure créée à partir de "GI81 : Réseaux et Travail Collaboratif, Partie I : Travail Collaboratif (M1 GEII et M1 RVSI)")

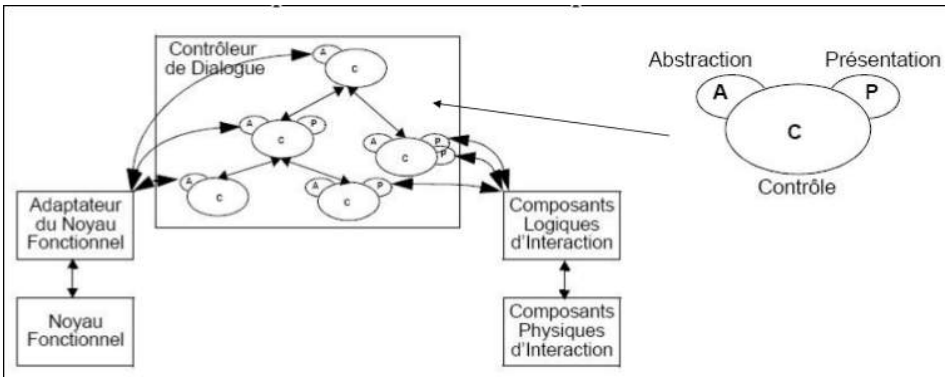


FIGURE 2.5 – A droite, le modèle PAC, et à gauche le modèle PAC-Amodeus. Cette architecture est un modèle fonctionnel ARCH auquel s'intègre le modèle conceptuel PAC dans l'articulation entre activité soutenue et interaction.(figure issue de "GI81 : Réseaux et Travail Collaboratif, Partie I : Travail Collaboratif (M1 GEII et M1 RVSI)")

informés locaux et distants par la même entité, afin d'assurer une cohérence globale.

Nous voyons l'intérêt de représenter la mise en place de l'interaction pour l'articuler avec l'activité pour laquelle le système est conçu. Il y a une certaine flexibilité entre l'activité du système et l'activité d'interaction, et dans le suivi de l'interaction distribuée.

2.4.1.3 Approche hybride pour l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction

Afin de pouvoir faire apparaitre à la fois les éléments de l'activité soutenue et de l'interaction, des modèles hybrides ont été proposés. Ils permettent d'allier conception (avec les modèles fonctionnels) et implémentation (avec les modèles conceptuels).

Le modèle PAC-Amodeus présentent une approche hybride car il combine une approche fonctionnelle, proche des besoins utilisateurs, à un modèle conceptuel, proche de l'implémentation, pour articuler activité soutenue et interaction. Ainsi, le modèle PAC-Amodeus reprend la structure d'un modèle fonctionnel avec le contrôleur de dialogue, lui-même conçu selon le modèle PAC. Ce modèle définit le contexte et les process de l'activité soutenue (partie fonctionnelle), qu'il articule dans un contexte d'interaction (physique et logique) mis en contexte de l'activité soutenue par le contrôleur de dialogue où les process d'activité d'interaction encapsulant l'activité soutenue sont ajoutés par le modèle PAC.

Selon une autre perspective, le modèle AMF-hybrid combine deux approches conceptuelles pour se rapprocher d'un modèle fonctionnel. Plus précisément, le modèle AMF-hybrid suit une architecture AMF avec le modèle PAC, où des facettes Présentation prenant en charge l'interaction, des facettes Abstractions prenant en charge la partie plus fonctionnelle et où l'entité Contrôle suit une structure PAC (SAMAAN et TARPIN-BERNARD, 2004). Ainsi, une architecture reprenant le modèle ARCH est créé : deux niveaux d'interaction existent (les facettes

Présentation AMF et celle de PAC), deux niveaux d'activité soutenue existent (l'Abstraction de PAC et les facettes Abstraction d'AMF), et l'équivalent du contrôleur de dialogue de ARCH est représenté par le Contrôle de PAC.

En explicitant ainsi les contextes et les process en activité soutenue et en activité d'interaction, ces modèles présentent à la fois les aspects fonctionnels et conceptuels. En revanche, il n'y a pas de séparation stricte entre des aspects fonctionnels et conceptuels, réalisée par un module intermédiaire. La gestion des différents niveaux locaux et globaux devient difficile, notamment dans un contexte distribué de l'interaction et de l'activité soutenue. En nous tournant vers les modèles et les architectures existantes dans les CSCW, nous avons identifié l'intérêt de contextualiser l'interaction dans les activités dans lesquelles elles sont impliquées, tout en l'articulant explicitement avec l'activité soutenue pour laquelle le système est conçu. Le découplage des entités liées à l'interaction et à l'activité soutenue est intéressant, en plus d'offrir la possibilité de maintenir explicite le contexte et les process. Il faut préserver une mise en contexte de l'activité malgré ce découplage, et nous allons tenter d'identifier les éléments pour proposer une architecture appropriée. En résumé, il faut préserver l'intérêt de pouvoir suivre le lien entre l'interaction et l'activité des modèles fonctionnels, tout en préservant une flexibilité en découplant interaction et activité du système informatique des modèles conceptuels.

2.4.2 Synthèse des besoins l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction

L'articulation entre activité soutenue et interaction nécessite de séparer les différents contextes et process associés selon l'étape d'analyse du système (interaction entrante/activité/interaction sortante), selon les échelles locales et globales, tout en assurant le cycle d'exécution de l'utilisation du système.

2.4.2.1 Suivi du contexte et suivi des process

Chaque étape du cycle de vie est ancrée dans ses propres contextes et process, qu'il faut maintenir afin de suivre l'activité, dans sa dimension interactive et dans sa dimension activité soutenue. Chaque étape fonctionnelle et conceptuelle doit donc présenter ses propres contextes et process, afin d'analyser les actions des utilisateurs dans toutes ces dimensions.

2.4.2.2 Suivi local et global

Notre système doit prendre en charge une interaction distribuée. Il faut, pour chaque étape du cycle de vie, définir le lien entre activité locale et distante selon les modalités propres à chaque étape, à chaque contexte et à chaque process.

2.4.2.3 Suivi du cycle d'exécution

Bien que chaque étape du cycle de vie réponde à ses propres process, contextes et gestion du suivi local et global, un lien doit exister entre ces étapes du cycle de vie. En effet, les retours informés dépendent de l'analyse de l'activité locale et distante, qui est interprétée à partir de l'interaction entrante. L'interaction entrante peut être elle-même interprétée à partir des retours informés présents (interaction sortante). Une analyse de l'activité locale peut être modifiée suite à une action distante.

2.4.3 Piste de mise en œuvre : Les SMA

Face à la richesse des contextes sur les aspects de l'activité soutenue et de l'interaction, et au besoin de situer l'activité de chaque utilisateur et élément d'interface dans les process, un outil permettant une puissance de représentation et d'analyse est nécessaire. Face à l'activité multi-organisationnelle (pour l'activité de crise mais aussi pour l'interaction distribuée), une bonne représentation organisationnelle permettant un suivi et un diagnostic des process est requis. Le contexte de l'analyse du comportement des acteurs, dans une activité multi-organisationnelle, et de l'interaction, avec des espaces collaboratifs à la fois centralisés et distribués, nécessitent un suivi global et local. Nous souhaitons articuler différents points de vue, en plus des fils de lecture et de contexte de l'activité. En particulier, nous notons le besoin d'un suivi local et global pour l'activité soutenue et pour l'interaction. Dans notre cadre applicatif, nous souhaitons suivre les utilisateurs individuellement (pour suivre leurs comportements) et l'organisation (pour évaluer les process). Dans notre cadre technologique, nous souhaitons suivre les environnements interactifs individuellement (pour analyser l'utilisation de chaque table TangiSense) et en réseau (pour partager les éléments sur les tables TangiSense en réseau). En structurant explicitement ces différents niveaux, les SMA répondent au besoin d'intelligibilité et de suivi évaluatif.

En effet, les SMA permettent une flexibilité dans les interactions entre entités, et ils permettent la représentation de structures organisationnelles (Hmida, 2013).

2.4.3.1 Les Systèmes multi-agents

Un SMA (Système multi-agent) est un système composé d'agents interagissant entre eux. Un agent (logiciel) est une entité autonome agissant selon des perceptions de l'environnement. Parmi les caractéristiques des agents (Boissier, Gitton et Glize, 2004), on note l'autonomie des agents dans leurs perceptions, leurs raisonnements, leurs planifications et leurs actions. Les systèmes multi-agents ont un sens dans les cas de distribution géographique et/ou de distribution des tâches. Ainsi, la distribution est une autre de ces caractéristiques, et elle indique un partage de connaissances et de traitements, dont l'acquisition (e.g. la possibilité d'observation) et l'exécution (e.g. la disponibilité des ressources) peuvent être distribuées. La réalisation d'un objectif commun face à cette décentralisation et l'autonomie des agents nécessitent une répartition de la résolution du problème et du contrôle des agents, à travers la

caractéristique de décentralisation. La mise en œuvre de cette répartition peut nécessiter le déploiement d'une caractéristique de communication, directement (Agent-Agent) ou indirectement (Agent-Environnement [2]-Agent). La communication est un support à la caractéristique d'interaction, implémentant des stratégies de gestion de l'activité de groupe (e.g. coopération, compétition, etc.). Une partie des schémas d'interaction peut être régie par une caractéristique d'organisation, qui définit les liens entre les agents d'une même "communauté", tant à propos de l'activité à réaliser (actions, plans, buts) que à propos des liens entre les agents (rôles)(Hmida, 2013).

Le découplage environnement/organisation dans un SMA a par ailleurs déjà été utilisé afin de favoriser l'auto-organisation dynamique et la flexibilité dans la gestion de capteurs soumis à des situations dégradées (Jamont et Occello, 2006).

2.4.3.2 SMA et collecticiels : Systèmes déjà existants

Selon Paraiso et Tacla, 2009, les SMA ont déjà été utilisés pour le développement de CSCW, du fait de l'utilisation dans un SMA de plusieurs entités hétérogènes, les agents, qui œuvrent pour un but commun. Articulant buts locaux, distribution et environnement partagés, les Sytèmes Multi-Agents (SMA) proposent de faire oeuvrer des Agents autonomes pour un objectif global à travers des interactions (Hubner, Sichman et Boissier, 2002). Les systèmes multi-agents sont à la fois capables de mettre en œuvre une activité de suivi, de faire interagir de manière complexe l'activité locale, l'activité distante et l'environnement, et de soutenir des systèmes normatifs pour rendre compte d'obligations de manière flexible.

Des collecticiels existants proposent déjà d'articuler les contextes et les process d'activité soutenue et d'interaction en utilisant des Systèmes Multi-Agents, dont certains que nous avons déjà évoqué pour la représentation et la gestion des contextes et des process.

Afin d'ancrer les process dans une situation collaborative et un contexte, le modèle MMASS propose de créer deux niveaux ou plus dans les systèmes multi-agents, afin de créer des agents situés en modélisant deux espaces dans lesquels les agents évoluent : un espace avec une dimension spatiale, géographique ou territoriale et un espace stratégique, qui implémente par exemple des tâches dans un workflow. Ces deux niveaux permettent lier les actions des agents à des éléments spatiaux. Les effets de perception et de propagation de l'information peuvent être pris en charge à ce niveau, afin de favoriser la conscience partagée de l'information dans les CSCW (Bandini, Manzoni et Simone, 2002).

En proposant le SMArt Personal Assistant (SPA), Paraiso et Tacla, 2009 utilisent un agent BDI [3] de coordination centralisé WebAnima. Le modèle BDI a été choisi, car il est possible de proposer un comportement intelligent en implémentant explicitement des compétences, plus que des tâches. L'architecture proposée repose sur un agent qui s'articule selon une interface utilisateur (dans le cas de l'étude, un personnage 2D animé reposant sur des

2. objet de perception ou d'action
3. Believe-Desire-Intention, qui sera décrit dans la sous-section suivante

technologies web), un contrôleur de dialogue basé sur une ontologie, et une partie indépendante de l'application appelée Kernel. Enfin, la communication et l'articulation entre ces trois blocs sont supportées par un module de contrôle. Il s'agit d'aider les utilisateurs humains à réaliser des tâches bien définies, demandant un certain nombre d'étapes (i.e. faisant appel à une bonne organisation, à une certaine mémoire, ou à une dépendance entre les tâches). Pour cela, le résultat de l'Agent est orienté tâches. En suivant leur utilisateur, l'agent personnel animé peut dans un même temps apprendre au sujet du profil de l'utilisateur, et utiliser les données des activités de l'utilisateur pour partager la connaissance à travers les utilisateurs. En se reposant sur une ontologie, cette architecture permet de réagir selon les demandes des utilisateurs et limite les actions hors contexte.

Khezami, Otmane et Mallem, 2005 proposent un SMA pour la collaboration, afin de proposer une version collaborative d'une activité de contrôle distant d'un robot. Il s'agit alors, en plus de suivre un profil utilisateur, de prendre en compte les communications entre utilisateurs. Ce modèle reprend le trèfle du collecticiel en proposant des agents de production, de communication et de coordination, auxquels s'ajoute un agent de collaboration pour chapeauter les trois autres agents et assurer leur collaboration. Les process d'interaction entre groupements d'agents régulent la gestion de l'interaction du CSCW, et sont chapeautés par les agents de collaboration, qui redirigent les interactions d'un type d'agent (production, communication, coordination) vers le même type d'agent.

Les Institutions Artificielles Situées (ou SAI en anglais) permettent de situer des (communautés d') agents cognitifs dans un environnement (De Brito, Hübner et Boissier, 2014). L'environnement est interprété dans des concepts faisant du sens pour l'agent, par delà sa réalité physique. A titre d'exemple, un muret peut définir le contour d'une propriété privée. D'un point de vue strictement physique, ce muret est un obstacle franchissable. Pourtant, ce muret incarne le concept de propriété privée, et il ne doit pas être franchi sans l'accord des propriétaires. Les SAI permettent de modéliser ces éléments, en faisant le lien entre un fait de l'environnement (un muret), interprété à travers une *count-as rule* comme un fait constitutif (limite de propriété privée) ayant un sens *institutionnel* (il ne faut pas pénétrer dans une propriété privée sans l'autorisation du propriétaire). Les agents peuvent également disposer d'une dimension sociale, afin d'organiser les actions d'un agent vis-à-vis des actions des autres agents. Une telle articulation entre organisation d'agents et environnement est intéressante. En effet les agents situés sont souvent considérés dans une représentation explicite de l'environnement (Afoutni, 2015), or cela n'est pas toujours le cas dans une organisation.

2.4.3.3 SMA : intérêt pour le suivi du contexte et des process

Classiquement, les SMA se décrivent selon le modèle VOWELS (voyelles), c'est à dire par A, E, O, I et U pour des agents (A), de l'environement (E), de l'organisation (O), des interactions entre ces éléments (I), auxquels peut s'ajouter l'utilisateur (U) qui, bien que non défini, influence un système en interaction avec celui-ci. (Da Silva et Demazeau, 2002)

Le contexte peut être encapsulé dans l'Environnement (dimension E) et les process dans

l'organisation (dimension O).

Pour agir en lien avec l'environnement, les agents d'un SMA peuvent être situés dans l'environnement de manière cognitive ou réactive.

Les agents cognitifs (interprétation selon des connaissances, de l'agent lui-même ou d'autres agents, pour une action basée sur un raisonnement) présentent une propriété d'intelligibilité qui permet une explicitation des raisonnements, notamment pour les raisonnement multi-niveaux. Les agents réactifs (régissant de manière directe à un état de l'environnement à la manière d'un automate) peuvent aussi offrir un raisonnement multi-niveau avec une architecture de subsomption (Afoutni, 2015). Les deux systèmes (cognitifs et réactifs) peuvent être combinés (Andriamasinoro et Courdier, 2004) afin d'associer une planification, grâce à un système cognitif, à une action fortement liée à un contexte particulier.

Ces caractéristiques rendent les SMA appropriés pour le suivi (monitoring) d'une activité distribuée au sein d'un environnement, en modélisant voir en simulant des systèmes complexes en interaction avec les Utilisateurs, permettant à un agent de raisonner sur plusieurs niveaux. Les applications des SMA peuvent être dédiées à la résolution d'un problème complexe, à l'intégration de logiciels, d'humains et de systèmes mécaniques en une interprétation cohérente (Boissier, Gitton et Glize, 2004).

En plus de présenter une composante environnementale qui permet d'encapsuler le contexte, les SMA s'intègrent facilement avec des systèmes normatifs pour définir la composante organisationnelle qui permet d'encapsuler les process.

En articulant le modèle KROM (Knowledge Reuse Organisational Model) avec un SMA, Monticolo, 2015 a développé l'approche DOCK pour gérer des connaissances hétérogènes dans une organisation. L'approche proposée est de combiner l'utilisation de représentation organisationnelle pour (1) l'ingénierie des connaissances modélisant l'organisation humaine (ce qui peut être utilisé pour soutenir l'activité humaine) et (2) la conception d'un système en modélisant les mécanismes d'interaction entre les agents (ce qui peut être utilisé pour mettre en oeuvre l'interaction). En plus de la gestion de connaissances hétérogènes et distribuées, la gestion de process et d'organisation hétérogènes et distribuée serait intéressante à développer pour le soutien évaluatif.

Il existe des modèles orientés Multi-Agent intégrant la notion d'organisation. Par exemple, le projet INGENIAS (Gomez-Sanz et al., 2008), de PASSI (Process for Agent Societies Specification and Implementation) (Chella et al., 2004), et d'OMNI (Dignum, Vázquez-Salceda et Dignum, 2004). Notre système doit pouvoir avoir une forte puissance de modélisation des rôles individuels, et des niveaux d'abstraction assez symboliques pour fournir une analyse et des retours informés intelligibles par les utilisateurs. Nous présenterons plus en détail JaCaMo (Boissier, Hübner et Ricci, 2016) dans la partie 2.4.3.6, qui intègre le modèle MOISE, présenté précédemment pour la représentation des process, dans un SMA.

2.4.3.4 SMA : intérêt pour le suivi local et global

Le caractère situé d'un agent seul dans l'environnement ne suffit pas dans un Système Multi-Agent, et des mécanismes servent à articuler le niveau local et le niveau global. En effet, les agents sont distribués et n'ont qu'une vision parcellaire locale de leur environnement global. L'activité entre agents doit être organisée pour gérer les éléments pertinents du contexte local pour le contexte global, et inversement. Les communautés d'agents sont adaptés à cette problématique, car ils offrent différentes modalités de gestion des groupes d'agents distribués afin d'analyser et d'agir dans un environnement. Cela permet de mettre en œuvre des raisonnements complexes pour aboutir à des résultats cohérents, selon Jennings, 1996 cité dans (Afoutni, 2015).

Plusieurs objectifs d'interaction sont identifiables dans la mise en place d'une interaction entre agents pour le niveau global (Afoutni, 2015) :

— la gestion des dépendances entre les actions de manière générale, qui peut référer à l'une des interactions suivantes
— la répartition des tâches
— l'achèvement d'un but commun à tous les agents
— la réalisation de buts individuels si possible de manière compatible avec les buts des autres agents

Les aspects présentés ci-dessus permettent d'utiliser efficacement des SMA dans les situations de décentralisation, et la simulation de processus sociaux(Hmida, 2013).

2.4.3.5 SMA : intérêt pour le suivi du cycle d'exécution

Les SMA ont également déjà été utilisés pour faire le lien entre interaction et activité soutenue, notamment en précisant les liens Machine-Machine.

Le système proposé par Lebrun, 2012 pour l'interaction tangible lie les agents au cycle de vie à travers de multiples interactions : interactions entre agents liés et ceux non liés à des objets, interactions entre les agents liés aux interactions en entrée (tangibles) et en sortie (virtuelles), celles liées à l'activité matérielle en entrée (détection d'objets) et en sortie (affichage), celles liées à l'activité des utilisateurs qui manipulent l'interface (objets tangibles), celles liées à la subordination de la position d'un objet par rapport à celle d'un autre objet. L'ancrage de l'activité des agents dans l'environnement dynamique est assuré en attribuant dynamiquement les rôles en s'appuyant sur un graphe orienté. Dans ce modèle, l'intelligibilité des process et du contexte de l'activité d'interaction est clairement définie dans les rôles des agents associés à des éléments d'interaction. En revanche, les dimensions de l'activité soutenue par le collecticiel sont moins intelligibles, et sont définies indirectement via l'interaction.

Cheaib, 2010 choisit un système multi-agent, qui soutient une communication entre entités distribuées, où il suffit de connaitre leur identité, et où l'adresse n'est pas nécessaire. Le système proposé repose sur des phases de communication, de coordination puis de production. Deux types de collaborations sont considérés : machine-machine et humain-humain. La collaboration

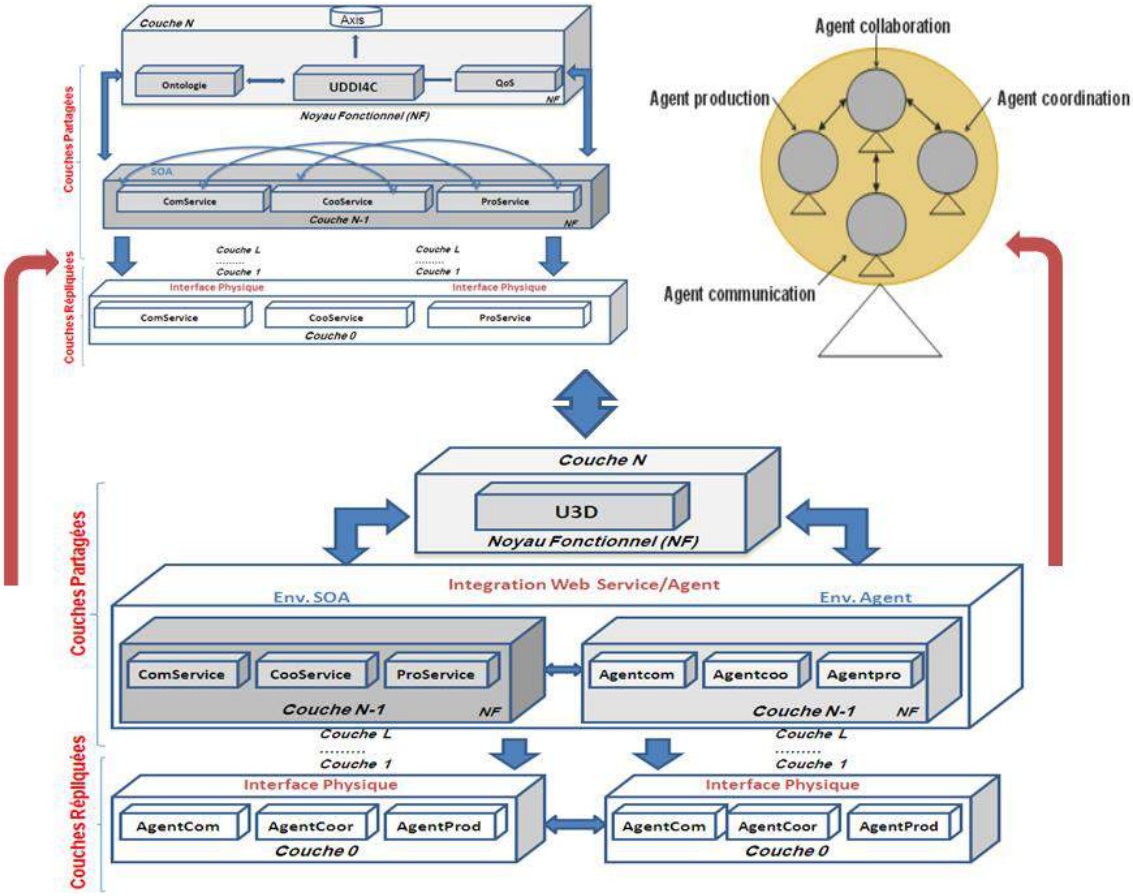


FIGURE 2.6 – Présentation du modèle proposé par CHEAIB, 2010, avec l'architecture générale selon le modèle Dewan (en haut à gauche), l'architecture globale (en bas) et l'organisation des agents (en haut à droite).

Machine-Machine est transparente pour les utilisateurs, et permet la collaboration humain-humain. L'organisation de cette architecture repose sur le modèle Dewan pour l'ensemble du système (figure 2.6 en haut à gauche) où des couches sont partagées (centralisées) ou répliquées (dupliquées). Le couches partagées font le lien entre les Agents et les services, alors que les couches répliquées renvoient à des agents séparés. La couche supérieure (la couche N) est le noyau fonctionnel. Les étapes de l'interaction et du cycle de vie sont séparées entre agents de production, coordination et communication (comme les espaces d'activité du modèle Clover), et le lien entre les différentes entités (distribuées) est réalisé par un agent de collaboration (comme proposé par KHEZAMI, OTMANE et MALLEM, 2005), illustré en haut à droite de la figure 2.6 . Chaque agent d'une couche répliquée va capter une activité et va exécuter localement cette activité selon services collectifs associés (dans les couches partagées), comme illustré en bas de la figure 2.6. Finalement, les agents s'organisent comme dans une architecture ARCH, en contrôlant le dialogue entre l'interaction (logique pour la partie numérique, et physique pour la partie matérielle) et le noyau fonctionnel.

Dans ce modèle, l'intelligibilité des process et du contexte de l'activité soutenue est claire-

ment définie dans le noyau fonctionnel. En revanche, les différentes couches et leur articulation avec l'activité rendent moins intelligibles la gestion du contexte et des process de l'activité d'interaction.

2.4.3.6 SMA normatif avec JaCaMo

Afin de proposer un outil pour développer notre modèle et notre architecture, nous nous baserons sur le framework de programmation orienté multi-agent JaCaMo (MAOP), qui reprend la structure A, E, I, O.

Le framework JaCaMo intègre les Agents Jason (Bordini, Hübner et Wooldridge, 2007) suivant un modèle BDI (pour Belief-Desire-Intention), un Environnement encapsulé par des artefacts Cartago (Ricci, Viroli et Omicini, 2007) et une Organisation MOISE. Les interactions entre les agents sont directes ou indirectes (via l'Environnement, ou via l'Organisation MOISE). JaCaMo gère séparément l'organisation et les agents, et dispose d'un environnement pour y lier éventuellement les normes. JaCaMo a déjà été expérimenté pour la gestion de composants situés dans l'environnement (smart building) et la simulation de phénomènes sociaux (confiance dans les communautés virtuelles)(Boissier, Hübner et Ricci, 2016).

Les agents Jason suivent une architecture BDI, dans un formalisme Prolog-Like développée en Java. Ces agents disposent de croyances, ayant une origine interne ou externe (par exemple venant d'autres agents), de plans qui organisent les actions des agents. Les agents Jason maintiennent et mettent à jour un ensemble de buts en fonction de leurs croyances, qu'ils peuvent réaliser à l'aide des plans définis. Les agents Jason, dans JaCaMo, intègrent à leurs croyances et à leurs buts les éléments de la spécification organisationnelle (obligation de réaliser un but par exemple). Cela se met à jour dynamiquement en fonction des rôles que l'agent adopte dans les organisations MOISE, et des missions sur lesquelles il s'engage (en haut de la figure 2.7). Chaque agent peut faire évoluer l'état de l'organisation en adoptant ou quittant un rôle, en joignant ou partant d'un groupe, en s'engageant sur une mission ou non.

Dans JaCaMo, la dimension environnement est encapsulée dans les artefacts Cartago. Ces artefacts, implémentés comme des objets Java, se décrivent par leur état interne, les éléments de cet état qui sont observables par les Agents (les propriétés observables), et les actions que peuvent réaliser les agents pour modifier l'état de l'artefact et avoir un effet sur l'environnement (les opérations), voire indirectement dans l'organisation comme signifié en bas de la figure 2.7.

La présence de la dimension de l'environnement peut être intéressante pour gérer les contextes, voire y lier la notion de trace. La présence de la dimension organisation est intéressante pour y lier les process.

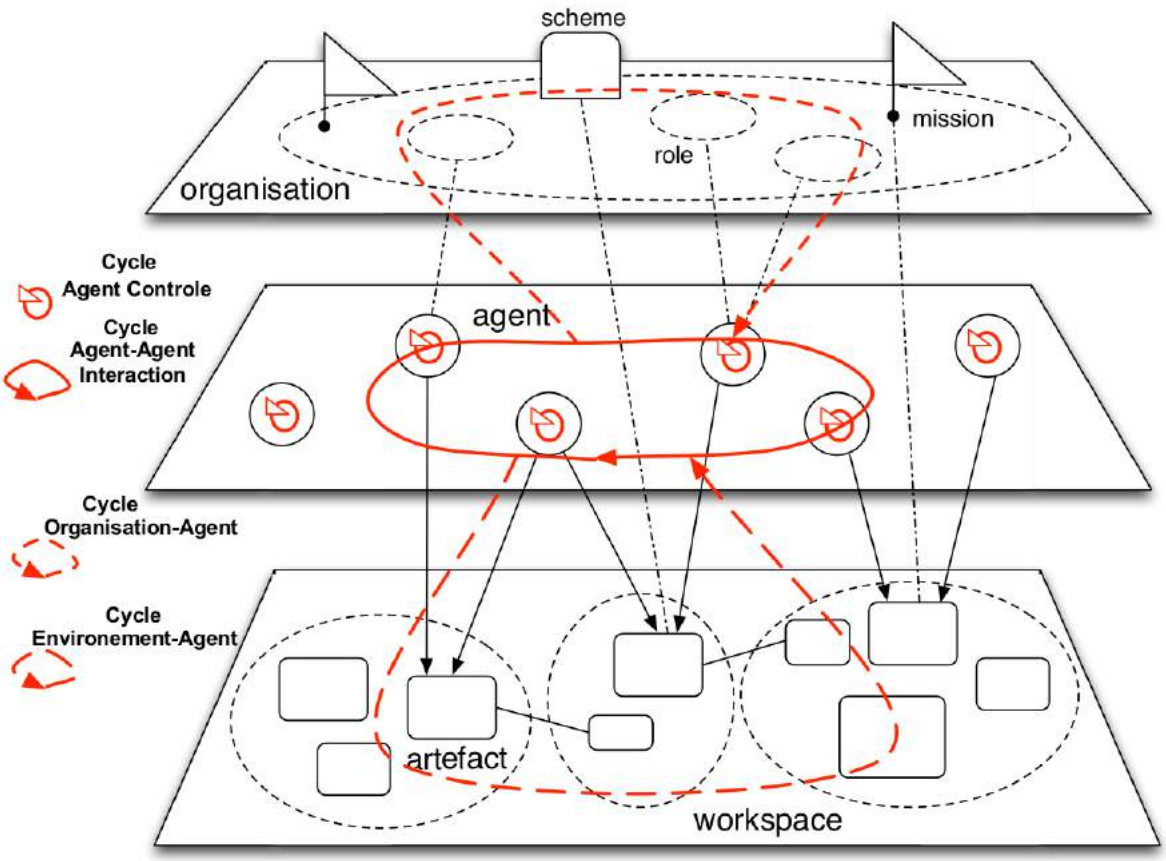


FIGURE 2.7 – Méta-modèle simplifié du moteur de JaCaMo. En bas, les Agents observent les propriétés observables et utilisent les opérations des Artefacts de l'Environnement. Au milieu, les Agents peuvent utiliser des interactions directes entre Agents. En haut, les Agents sont liés à des rôles et à des missions, qui sont observables et inscrit dans l'environnement.

2.5 Conclusion et pistes retenues

Nous allons maintenant conclure en rappelant la problématique, puis les éléments dégagés de l'étude des collecticiels avant de présenter les premiers éléments de la solution proposée.

2.5.1 Rappels sur la problématique

Nous souhaitons mettre en œuvre un soutien évaluatif d'une activité collaborative, en proposant un retour sur les actions et sur les process qui régissent cette activité. Après avoir vu dans le chapitre précédent les problématiques liées à la conception d'un système d'aide à la préparation à la gestion de crise supporté par l'interaction tangible, nous rappelons nos besoins. Le système doit pouvoir, en terme d'activité collaborative soutenue et d'interaction :

— gérer et représenter les différents contextes,
— gérer les différents process,
— articuler activité soutenue et interaction.

Nous en avons déduit les propriétés de flexibilité, d'intelligibilité et de suivi évaluatif. Ces propriétés peuvent être appliquées à l'activité soutenue, et à l'interaction. En déployant ces propriétés, il est possible de proposer une action et une interaction située dans l'activité et les process qui la sous-tendent, et ainsi supporter une conscience partagée. L'intégration d'un contexte multi-organisation permettrait ainsi la mise en place d'une conscience partagée multi-organisationnelle.

2.5.2 Étude des collecticiels

Nous avons étudié dans l'état de l'art le verrou de la gestion et la représentation du contexte en tant que verrou dans les collecticiels, et synthétisé les besoins associés comme étant :
— la gestion de la dynamique temporelle,
— la puissance de représentation,
— et la puissance d'analyse.
En lien avec les propriétés de flexibilité, d'intelligibilité et de suivi évaluatif, nous avons présenté les Traces comme élément intéressant pour une mise en œuvre.

Nous avons ensuite étudié le verrou de la gestion et la représentation des process en tant que verrou dans les collecticiels, et synthétisé les besoins associés comme étant :
— la gestion et la représentation permettant des incohérences,
— la gestion et la représentation explicite des process.
En lien avec les propriétés de flexibilité, d'intelligibilité et de suivi évaluatif, nous avons présenté les Systèmes normatifs, et MOISE en particulier, comme élément intéressant pour une mise en œuvre.

Nous avons enfin étudié le verrou de l'articulation des process de l'activité soutenue et

de l'activité d'interaction en tant que verrou dans les collecticiels, et synthétisé les besoins associés comme étant :

— le suivi du contexte et le suivi des process,
— le suivi local et global,
— le suivi du cycle d'exécution.

En lien avec les propriétés de flexibilité, d'intelligibilité et de suivi évaluatif, nous avons présenté les Systèmes Multi-Agents normatifs, et JaCaMo en particulier, comme élément intéressant pour une mise en œuvre.

2.5.3 Éléments de réponse à la problématique

A travers un SMA normatif et une programmation orientée multi-agent, il est possible d'encapsuler les contextes dans la dimension Environnement et les process dans la dimension Organisation, l'articulation étant réalisée par les Agents pouvant observer et agir sur l'Environnement et l'Organisation. Nous mettons donc en œuvre les Traces dans l'Environnement d'un SMA, et un Système normatif dans l'Organisation.

Afin de répondre aux exigences de la gestion de contexte, la Trace, associée à ses éléments temporels et au modèle de trace, est une piste intéressante, assurant suivi et intelligibilité.

Nous utilisons JaCaMo pour déployer des Agents cognitifs Jason, pour consulter, créer et modifier des Traces déployées dans des Artefacts Cartago (qui correspondent à l'Environnement) et des organisations normatives de MOISE.

Ces éléments structurent à la fois l'activité soutenue et l'interaction, dont les étapes successives s'organise selon le cycle d'exécution du système. Le traitement de l'information se propage entre ces étapes (l'interaction de l'humain vers la machine à l'activité soutenue et à l'interaction de la machine vers l'humain).

Une propagation de l'information entre interaction et action doit être mis en place, en plus du découplage entre les étapes d'interaction et d'activité soutenue. Dans un même temps, il est nécessaire proposer une correspondance entre éléments fonctionnels et conceptuels.

Nous avons évoqué une approche socio-technique. Les utilisateurs doivent communiquer entre eux, et avec le système. La conversation étant une des pierres angulaires de la collaboration, pour négocier, réfléchir, argumenter, planifier, ou encore mettre en œuvre un remue-méninge (brainstorming), certains CSCW s'inspirent du modèle conversationnel pour organiser l'activité, comme le projet Compendium pour organiser les documents (Klemke, 2000).

En reprenant la métaphore de la conversation, nous considérons une conversation entre utilisateur et système technique, tous les deux émetteurs et destinataires d'éléments conversationnels. Nous revisitons alors le modèle Clover, qui propose une conversation Humain-Humain, selon un cycle de réception-traitement-émission de signal conversationnel. Cela permet d'expliciter l'analyse du système (fonctionnel) et l'interaction Humain-Machine et Machine-Humain (conceptuel) (figure 2.8). Notre approche de soutien évaluatif amène à décliner les mêmes

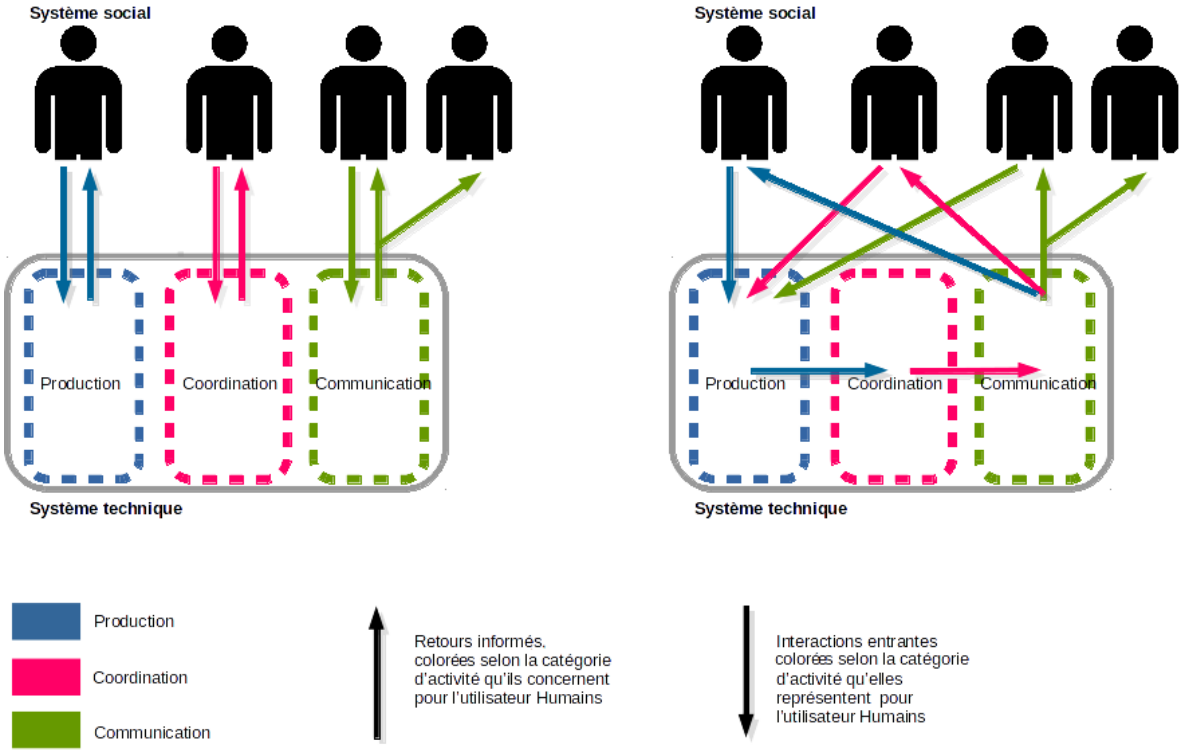


FIGURE 2.8 – Réorganisation des espaces d'activité de Production, Coordination et Communication, non plus comme des services en miroir de l'activité Humaine à gauche sur l'image, mais selon l'activité du système informatique (la partie technique du système OrA) à droite sur l'image

propriétés sur l'ensemble des éléments du modèle et fait donc de pouvoir proposer la même architecture.

Nous décrirons dans la section suivante notre proposition de modèle OrA. Nous évoquerons comment nous apportons un découplage entre interaction et activité soutenue en s'inspirant du modèle Clover. L'utilisation de traces permettra de situer l'interaction en représentant intelligiblement les différents contextes (de l'activité humaine et système) et en propageant ce contexte pour réaliser un suivi. Un système normatif permettra de représente de manière intelligible et flexible les spécifications organisationnelles et les politiques d'interaction. Un SMA, lié à ces spécifications, permet de déployer de manière flexible une application distribuée, tout en préservant une intelligibilité du raisonnement des agents cognitifs.

L'espace de Production réfère aux *objets collaboratifs* produits durant l'utilisation du collecticiel, l'espace de coordination aux activités liées à l'organisation collaborative et l'espace de communication aux actions de communication Humains-Humains. Dans l'approche originelle, les auteurs réalisent un isomorphisme entre le type actions utilisateurs (humaines), et l'activité du système. En effet, l'approche Clover est orientée service, et une action de production sera traitée par l'espace de production du système informatique, l'action utilisateur de coordination par l'espace de coordination du système informatique, et l'action utilisateur de

communication par l'espace de communication dans notre système informatique, par exemple l'envoi d'un message. Pour notre problématique, la collaboration à distance définie selon un ensemble de normes est précisément l'*objet d'utilisation d'un collecticiel*. Dans ce cadre, l'acte d'envoi de message peut faire partie des normes et donc entrer dans l'espace de Production [4], au lieu de la communication. Cela nous amène à faire un glissement conceptuel. Dans notre approche, ces espaces ne se réfèrent pas aux actions humaines de production, de coordination et de la communication, car l'activité humaine est réalisée à travers des objets tangibles dédiés. Dans notre cas, ces espaces de Production, de Communication et de Coordination se réfèrent aux différents espaces d'activité exécutés par le système technique. L'espace de Production fait référence à l'activité d'interprétation de l'interaction *entrante* (e.g. tangible) par le système informatique. L'espace de Coordination fait référence à l'activité d'analyse de l'activité humaine par le système informatique. L'espace de Communication fait référence à l'activité de mise en place de l'interaction *sortante* (e.g. la mise en place des retours informés) par le système informatique.

4. Nous utilisons les majuscules pour désigner les éléments selon notre vision

Chapitre 3

Modélisation du système OrA

Sommaire

3.1 Approche générale 94
3.1.1 Principes fondateurs de OrA 95
3.1.2 Modèle OrA 97
3.1.2.1 Sous-système humain et sous-système technique 97
3.1.2.2 Espaces de Production, Coordination, Communication 98
3.1.2.3 Systèmes normatifs, Traces, Agents et Connaissances 100
3.2 Perspective multi-agent du système OrA 103
3.2.1 Vue d'ensemble 105
3.2.2 SMA pour le système Humain 105
3.2.3 SMA pour le système Technique 107
3.2.3.1 Espace de Production 107
3.2.3.2 Espace de Coordination 109
3.2.3.3 Espace de Communication 110
3.2.4 Dynamique entre les espaces 110
3.2.4.1 Données en entrée 111
3.2.4.2 Traduction 112
3.2.4.3 Analyse 113
3.2.4.4 Données en sortie 113
3.2.4.5 Distribution 114
3.3 Architecture du système OrA 114
3.3.1 JaCaMo 115
3.3.1.1 Agent 115
3.3.1.2 Environnement 117
3.3.1.3 Organisation 118
3.3.1.4 Interaction 119
3.3.2 Vision globale de l'Architecture 120
3.3.2.1 Environnement, Agents, Organisation 120
3.3.2.2 Implémentation de l'Espace de Production 123
3.3.2.3 Implémentation de l'Espace de Coordination 125
3.3.2.4 Implémentation de l'Espace de Communication 128
3.4 Exemple récapitulatif 131
3.4.1 Exemple d'illustration orienté Machine : de T_{-1} à T_0 131
3.4.1.1 Initialisation 131
3.4.1.2 Interaction de Production 133

3.4.1.3 Interaction de Coordination 134
3.4.1.4 Interaction de Communication 134
3.4.2 Exemple d'illustration orienté Humain : de T_0 à T_6 135
3.4.2.1 Temps T_0 136
3.4.2.2 Temps T_1 136
3.4.2.3 Temps T_2 136
3.4.2.4 Temps T_3 137
3.4.2.5 Temps T_4 138
3.4.2.6 Temps T_5 138
3.4.2.7 Temps T_6 139
3.5 Conclusion 139

Nous avons présenté dans les chapitres précédents le cadre applicatif (chapitre 1) et un état de l'art (chapitre 2) sur les verrous et les pistes pour concevoir un système de soutien évaluatif œuvrant selon une perspective organisationnelle.

Nous soutenons dans cette thèse qu'un tel système doit observer des propriétés d'intelligibilité de flexibilité, et de suivi évaluatif, telles que définies dans le chapitre 1.

Dans ce chapitre, nous verrons dans un premier temps comment nous déclinons les propriétés de flexibilité, de suivi évaluatif et d'intelligibilité propres à notre modèle (section 3.1). Nous proposerons ensuite une première formalisation de notre modèle dans la section 3, que nous déclinerons dans la partie suivante selon un formalisme multi-agent. Nous présenterons par la suite une architecture logicielle implémentée à partir de cette formalisation en section 3.3. Nous proposerons ensuite un exemple récapitulatif (section 3.4) avant de conclure.

3.1 Approche générale

Nous proposons dans ce chapitre le modèle OrA pour concevoir notre système de soutien évaluatif [1]. Notre système présente une composante sociale humaine (les utilisateurs) et une composante technique (le matériel et le système informatique). Le système social (les utilisateurs) est une composante nécessaire, et donc formalisée, mais non modélisée en substance. Le système technique est lui plus détaillé. En adaptant le modèle du trèfle du collecticiel, nous proposons de séparer l'étape d'acquisition des actions des utilisateurs (Production) de l'analyse de l'activité (Coordination) et des retours informés (Communication). Cela permet en premier lieu de ne pas limiter les actions réalisées (en Production) aux actions prévues (en Coordination) en les découplant. De plus, cela permet de respecter les problématiques de gestion des échelles locales et globales, et de respecter les différentes perspectives en jeu. En effet, les actions réalisées localement (Production) sont analysées à un niveau global selon différents

1. Afin de ne pas confondre les éléments de notre modèle avec les éléments de l'état de l'art ou une instanciation, nous utiliserons les majuscules. Ainsi, l'espace de **p**roduction (CLOVER) sera différencié de l'espace de **P**roduction (OrA) et le concept de **T**race sera différencié de la **t**race instanciée T_1

points de vue en présence (Coordination), puis ces informations sont envoyées à distance selon la politique de confidentialité locale et affichées à distance selon les politiques de gestion de l'information suivies à distance (Communication).

Afin de décrire davantage notre modèle, nous déclinons notre système comme un système multi-agent. Cela permet, en développant une approche orientée multi-agent, de proposer une architecture qui intègre une adaptation au contexte et aux informations acquises (grâce aux Artefacts qui modélisent l'environnement), une modélisation efficace des règles et procédures en jeu autrement que sous forme de contraintes (grâce aux Organisations normatives explicites), et une gestion explicite des actions du système (grâce aux Agents cognitifs). Ces éléments sont organisés de manière distribuée (grâce aux Workspaces), et disposent d'une certaine flexibilité et intelligibilité. Ainsi, leur utilisation à des fins d'évaluation n'est pas contraignante.

3.1.1 Principes fondateurs de OrA

Nous avons abordé dans les deux chapitres précédents les verrous à propos de l'articulation de l'interaction et de l'activité soutenue, et à propos de la gestion des contextes et des process. Nous proposons d'utiliser les espaces de Production, de Coordination et de Communication pour répondre au premier verrou, et d'utiliser une architecture avec des Organisations, des Agents et des Traces pour articuler et gérer les process et les contextes.

Nous aborderons alors notre système selon deux logiques. La première, que nous appelons **articulation interaction/activité soutenue**, correspond au suivi de l'activité selon le cycle complet d'exécution. Cette articulation se fait entre toutes les étapes d'interaction et de l'activité soutenue. Il s'agit de la logique horizontale sur la figure 3.1 (flèche de gauche à droite).

La deuxième, que nous appelons **articulation process/contexte**, correspond au suivi de l'activité au sein de chacune des étapes d'interaction et de l'activité soutenue. Il s'agit de la logique verticale sur la figure 3.1 (flèche de haut en bas).

L'articulation interaction/activité soutenue concerne le cycle d'exécution de l'utilisation du système, depuis l'action interactive tangible jusqu'à l'affichage de retours informés. Dans notre cas, il s'agit des liens entre espaces de Production, de Coordination et de Communication. Cette logique se rapproche des logiques conceptuelles (section 2.4 du chapitre 2).

L'articulation process/contexte concerne l'organisation de chaque étape du cycle d'exécution. Dans notre cas, il s'agit des interactions au sein de chacun des espaces de Production, de Coordination et de Communication. Cette logique pour l'espace de Coordination se rapproche des approches fonctionnelles (section 2.4 du chapitre 2), qui traite de l'activité soutenue par le système. Nous rajoutons cette articulation process/contexte également pour l'interaction entrante et pour l'interaction sortante, respectivement dans l'espace de Production et de Communication.

Nous déclinons les trois propriétés définies selon les deux logiques d'articulation que nous

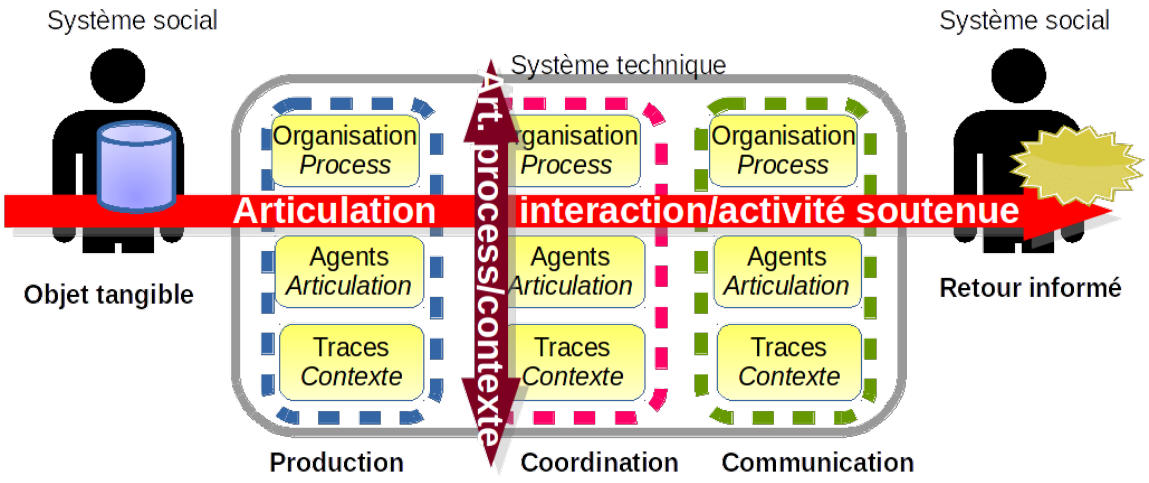


FIGURE 3.1 – Nous considérons deux logiques auxquelles s'appliquent nos propriétés de flexibilité, d'intelligibilité et de suivi évaluatif : (flèche orange de droite à gauche) l'articulation interaction/activité soutenue correspond à la logique horizontale sur la figure, qui représente le cycle d'exécution du système, de la pose d'un tangible jusqu'au retour informé, et (de haut en bas en bordeaux) l'articulation process/contexte correspond à la logique verticale sur la figure, pour chaque étape de ce cycle d'exécution.

venons de présenter.

Nous abordons la **flexibilité** à travers deux principes : le **découplage** et la **préservation de l'autonomie**. Du point de vue de l'articulation interaction/activité soutenue, les trois espaces de Production, Coordination et Communication sont découplés, ce qui permet une autonomie au sein de chaque étape du cycle d'exécution. Du point de vue de l'articulation process/contexte, les dimensions de l'Organisation, des Traces et des Agents sont découplées, ce qui permet une autonomie au sein de chaque étape du cycle d'exécution des process, des contextes, et de leur articulation.

Nous abordons le **suivi évaluatif** à travers deux principes : la **propagation** et **le fait de donner une appréciation**. Du point de vue de l'articulation interaction/activité soutenue, l'information se propage entre les trois espaces de Production, Coordination et Communication, ce qui permet une appréciation de l'activité sur toutes les étapes du cycle d'exécution. Du point de vue de l'articulation process/contexte, l'information se propage entre l'Organisation, les Traces et les Agents, ce qui permet une appréciation de l'activité au sein de chaque étape du cycle d'exécution.

Nous abordons l'**intelligibilité** à travers deux principes : la **description** et la **modularité**. Du point de vue de l'articulation interaction/activité soutenue, les trois espaces de Production, Coordination et Communication sont modulaires, ce qui permet une description à chaque étape du cycle d'exécution. Du point de vue de l'articulation process/contexte, les process dans l'Organisation, les contextes dans les Traces et l'articulation via les Agents sont modulaires, ce qui permet une description au sein de chaque étape du cycle d'exécution.

A travers la modularité et la description, chaque élément en jeu dans une action est situé dynamiquement dans différents niveaux d'analyse et au sein d'un cycle complet.

En couplant ces propriétés, le système proposé pourra laisser la liberté aux utilisateurs Humains de réaliser leur activité pour pouvoir l'analyser (flexibilité et suivi évaluatif), et pourra proposer un diagnostic en garantissant une intelligibilité du raisonnement du système. L'activité des Humains peut être transmise au système grâce à une interaction intelligible et flexible (comme l'interaction tangible), et le système pourra transmettre de manière intelligible son suivi évaluatif (grâce à des retours virtuels informés).

3.1.2 Modèle OrA

Dans cette section, nous décrivons le modèle de l'architecture OrA globale proposée pour réaliser un système socio-technique de soutien évaluatif. Nous fournissons d'abord un modèle global et abstrait de OrA se concentrant sur ses composants socio- (i.e. les humains) et techniques répondant aux critères exposés dans la section précédente. Nous verrons comment la flexibilité, le suivi évaluatif et l'intelligibilité dans l'articulation interaction/activité soutenue sont mis en place à travers une structuration en espaces de Production, de Coordination et de Communication inspirés par le modèle de collecticiel CLOVER. Puis nous verrons comment la flexibilité, le suivi évaluatif et l'intelligibilité dans l'articulation process/contexte sont mis en place à travers une structuration selon des normes (les process, qui portent les attendus de l'activité), des traces (les contextes, qui représentent les dimensions de la situation courante), des connaissances (lien entre un élément de contexte et un élément de contexte ayant un sens organisationnel) et des espaces de travail (contexte distribué) grâce aux actions des Agents. A partir de cette description globale montrant comment l'interaction socio-technique a lieu, nous proposons un modèle de structuration orientée multi-agent du système technique reprenant en détail les trois espaces dans la section suivante. Enfin, nous expliquons comment un tel système est déployé et utilisé dans une configuration distribuée illustrée selon deux exemples, avant de conclure.

3.1.2.1 Sous-système humain et sous-système technique

Le système OrA proposé est un système socio-technique, et la composante sociale (Humaine) ainsi que la composante technique (système informatique) y sont représentées. Comme illustré dans la figure 3.2, le lien est établi entre les deux systèmes par l'ensemble des interactions *entrantes* des utilisateurs Humains vers le système technique et par l'ensemble des interactions *sortantes* du système technique vers les utilisateurs Humains :

$$S = \langle S_H, S_{Tech}, i_{H2Tech}, i_{Tech2H} \rangle \tag{3.1}$$

Dans le modèle OrA, nous modélisons le système socio-technique S comme étant composé

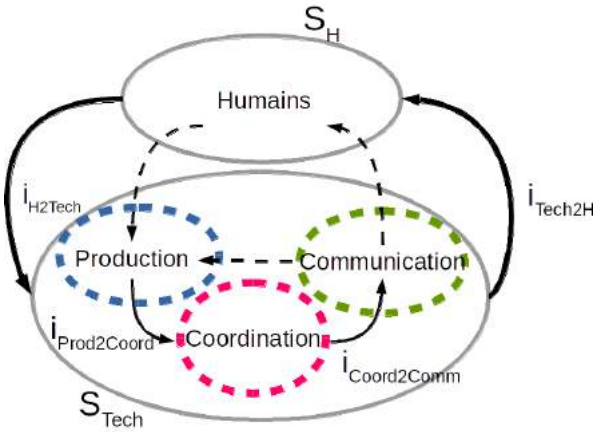


FIGURE 3.2 – Sous-systèmes humain (en haut) et technique (en bas) en interaction : le système fait le lien de l'humain vers le système technique via l'espace de Production (en bas à gauche), analyse cette activité selon les connaissances et les fonctionnalités de l'activité de soutenue dans l'espace de Coordination (en bas au milieu), puis fait le lien du système technique vers l'humain via l'espace de Communication (en bas à droite).

de S_H, le sous-système *social* (ci-après également appelé système *humain*) et de S_{Tech} le sous-système *technique*, ainsi que des interactions entre les deux sous-systèmes (équation 3.1). Le système technique, présentant la composante informatique, sera davantage décrit dans la suite de ce chapitre. Ces deux systèmes sont en interaction l'un avec l'autre grâce à deux fonctions d'interaction i_{H2Tech} et i_{Tech2H}, respectivement, pour l'interaction *entrante* de S_H à S_{Tech} :

$$i_{H2Tech} : S_H \times S_{Tech} \rightarrow S_{Tech} \tag{3.2}$$

et pour l'interaction *sortante* de S_{Tech} à S_H :

$$i_{Tech2H} : S_{Tech} \times S_H \rightarrow S_H \tag{3.3}$$

Dans notre cas d'application i_{H2Tech} représente l'interaction avec les objets tangibles, et i_{Tech2H} avec les retours virtuels informés produits par la table tangible. L'activité Humaine enrichit l'activité du système technique en l'alimentant avec son activité. Le système technique va analyser cette activité et va produire un retour informé qui va enrichir l'activité Humaine.

Comme défini précédemment, S_{Tech}, via i_{H2Tech} et i_{Tech2H}, vise à médier la collaboration qui a lieu entre les acteurs humains de S_H en supportant l'activité humaine et en évaluant cette collaboration : en réponse aux actions humaines, e.g. des objets tangibles se déplaçant (i_{H2Tech}), le système OrA produit des retours informés virtuels (i_{Tech2H}), pour enrichir les objets tangibles avec des informations supportant une conscience organisationnelle partagée.

3.1.2.2 Espaces de Production, Coordination, Communication

Nous structurons l'interaction au sein de notre système technique selon les espaces d'activité de Production, de Coordination et de Communication, inspirés de l'approche collec-

ticiel CLOVER, que nous adaptons à notre problématique comme expliqué au chapitre 2. Trois espaces d'activité, respectivement de Production, de Coordination et de Communication, structurent le contexte d'activité et les process de, respectivement, l'interaction entrante (Humain-Machine), l'activité soutenue, et l'interaction sortante (Machine-Humain) :

Selon ces définitions, nous spécifions S_{Tech} comme suit :

$$S_{Tech} = \langle S_{Prod}, S_{Coor}, S_{Comm}, i_{Prod2Coor}, i_{Coor2Comm} \rangle \tag{3.4}$$

L'espace de Production S_{Prod} récupère et traite les informations propagées du système social vers le système technique par i_{H2Tech}, et l'espace de Communication S_{Comm} traite et envoie les informations du système technique via i_{Tech2H}. Il s'agit ici d'une approche conceptuelle, proche de l'implémentation et du cycle de vie de l'interaction Humain-Machine. L'analyse de l'activité humaine est réalisée dans l'espace de Coordination S_{Coor}, entre l'espace de Production et de Communication. L'espace de Coordination est alors le siège de l'approche fonctionnelle du système, orientée autour de l'activité collaborative à soutenir. Dans notre cas applicatif, les connaissances liées à la gestion de crise seront encapsulées dans l'espace de Coordination.

Ces trois espaces sont en interaction les uns avec les autres afin que l'activité globale capturée dans l'espace de Production S_{Prod} soit interprétée, évaluée en tant qu'interaction et transmise – $i_{Prod2Coor}$ –, puis évaluée dans l'espace de Coordination S_{Coor} en termes d'exigences organisationnelles de l'activité soutenue, puis qu'elle soit transmise – $i_{Coor2Comm}$ –, et analysée et traduite en des évaluations claires qui participent à la construction de la prise de conscience de l'organisation commune dans l'espace de Communication S_{Comm}.

Cette articulation interaction/activité soutenue permet de bien *découpler* et *modulariser* (principes associés à la *flexibilité*) les étapes d'interaction. En termes de *flexibilité*, l'interaction en entrée peut changer sans modifier l'analyse de l'activité (en modifiant S_{Prod} et en rajustant $i_{Prod2Coor}$), en utilisant finalement une interface graphique par exemple. Il est possible de modifier de la même façon l'activité soutenue et l'espace de Coordination, ou encore la modalité des retours informés avec l'espace de Communication. L'autonomie est préservée à chaque étape de l'interaction, en n'influençant aucune des autres étapes de chaque espace d'activité par l'activité des espaces suivants.

En termes de *suivi évaluatif*, chaque espace d'activité aborde une dimension de l'activité, qui peut tout au long du cycle d'exécution être analysée pour fournir une *appréciation* selon ces dimensions (syntaxe de l'activité – tangible – en Production, sémantique de l'activité – humaine– en Coordination) indépendamment les unes des autres. Pourtant le lien entre ces espaces est maintenu, et tout changement de situation peut être *propagé* (un changement de position d'un objet devrait entrainer un changement de position d'un retour informé, un changement de l'activité de collaboration devrait entrainer un changement de retour informé).

Enfin, cette organisation permet d'assurer l'*intelligibilité* de l'articulation interaction/activité soutenue, en *décrivant* chaque étape du cycle de vie, les liens entre les étapes, et permet de rendre *modulaire* chaque étape du traitement de l'activité. Une bonne vision conceptuelle est

alors possible, ainsi qu'une description des implications de chaque étape du cycle d'exécution sur le déploiement de l'interaction globale.

Nous allons maintenant davantage nous intéresser à la description de l'articulation process/contexte de chaque étape de l'utilisation du système socio-technique.

3.1.2.3 Systèmes normatifs, Traces, Agents et Connaissances

Nous avons évoqué dans le chapitre 1 la nécessité de la représentation et de la gestion des process (partie 1.4.1) et du contexte (partie 1.4.2), puis nous avons identifié dans le chapitre 2 des pistes pour répondre aux verrous correspondants.

Nous avons donc évoqué les Systèmes normatifs pour représenter les process (sous-section 2.3.4), les Traces pour représenter le contexte de l'activité (sous-section 2.2.5), les Agents pour observer et agir sur les process et les contextes (partie 2.4.3.3). Nous aborderons une nouvelle notion par la suite, les Connaissances inspirées des SAI.

Nous utilisons le modèle MOISE (présenté partie 2.3.4.3) pour la représentation des process, avec sa représentation structurelle, fonctionnelle et normative de l'Organisation définie comme suit :

$O = \langle role, groupe, buts, plans, normes \rangle$

La spécification structurelle définit les rôles et les groupes et les organise entre eux. Les rôles vont être organisés selon des groupes avec un certain nombre de contraintes associées. Par exemple, le rôle de Maire est associé au groupe Commune, selon des contraintes "1 et seulement 1" Maire. Un agent peut endosser plusieurs rôles, certains rôles pouvant être incompatibles entre eux.

La spécification fonctionnelle définit les *buts* à réaliser et les organise selon des *plans* (séquentiel, alternatif ou parallèle). Un *but* père est réalisé quand les *sous-buts* organisés dans un *plan* sont réalisés. Ainsi, le *but* ZonesInnondablesEvacuées sera réalisé quand les *sous-buts* Zone1Evacuée et Zone2Evacuée organisés en parallèle dans un *plan* seront réalisés.

La gestion des spécifications organisationnelles peut être réalisée dynamiquement, selon un contexte normatif. La spécification normative spécifie les normes. Une norme lie un contexte *act-c* à l'activation d'un opérateur déontique *dm* (obligation, permission, interdiction) à propos d'une action (but ou ensemble de buts) *objet* attribué à un rôle *role* dans un groupe *groupe*. Cette activation dépend d'un évènement déclencheur *trigger-c*. Ainsi, la norme n se définira comme :

$n\colon \langle act-c, trigger-c, groupe, role, dm, objet \rangle$

Par exemple, une suspicion d'inondation (*act-c*) active une obligation (*dm*) qui lie le chef (*role*) du Poste de Commandement (*groupe*) à l'activité d'évacuer (*objet*). Cette obligation sera actée lorsque le niveau de la rivière dépasse un certain seuil (*trigger-c*).

Nous utilisons les Traces modélisées par un modèle de trace, permettant de définir et de structurer les champs des traces. Une trace se définit, pour rappeler la définition de LUND et MILLE, 2009, comme "une suite temporellement située d'observés, qui relève soit d'une interaction entre humains, médiatisée et médiée de diverses façons par ordinateur soit d'une suite d'actions et réactions entre un humain et un ordinateur". Elle se réfère donc :

— à l'activité tangible, où les objets tangibles, les patterns (constitués de plusieurs tangibles utilisés en séquence) et leur utilisation dans le temps à la surface des tables tangibles constituent **les traces tangibles** T_{Tangi},

— à l'activité numérique, où les éléments de l'activité du système informatique en Production, Coordination et Communication constituent **les traces numériques** T_{Digi},

— à l'activité virtuelle, où les retours virtuels et leur affichage dans le temps à la surface des tables tangibles constituent **les traces virtuelles** T_{Imagi}.

Nous avons donc :

$$T = \langle T_{Tangi}, T_{Digi}, T_{Imagi} \rangle \tag{3.5}$$

$$avec\ T_{Digi} = \langle T_{Prod}, T_{Coor}, T_{Comm} \rangle \tag{3.6}$$

Une Trace contient un *identifiant*, un *horodatage*, un *type* et au moins une *valeur*, dont la structure est décrite par un $\mathcal{M}odèle\ de\ \mathcal{T}race$. Cela est représenté par des champs pour la trace numérique T_{Digi}. Ainsi :

$$T_{Digi} = \langle \{Id, horodatage, type, valeurs\}, \{\mathcal{MT}\} \rangle \tag{3.7}$$

Une Trace est un élément permettant de *décrire* les fils de contexte, et seulement les fils de contexte, de manière *modulaire* et symbolique. Ces fils de contexte doivent néanmoins être en lien les uns avec les autres.

Afin de garantir la *propagation* des informations à travers les différentes traces dans le modèle, nous lions les traces entres elles dans OrA, et chaque nœud connait et observe son prédécesseur dont il connait l'identifiant. Pour cela, chaque trace possède un identifiant unique ainsi qu'une signature temporelle, et le nœud suivant du graphe présente un champ avec l'identifiant du nœud précédent. De plus, certains nœuds ont plusieurs prédécesseurs, et un champ permet de lister l'ensemble des prédécesseurs, même si un nœud en particulier est identifié comme le prédécesseur. Ainsi, la traçabilité est assurée, et toute modification en amont peut être propagée. Cela permet d'assurer le caractère situé de l'activité et de son analyse.

Par exemple, figure 3.5, à l'instant T1, en haut à gauche : l'utilisateur dépose deux objets tangibles (envoi message, et Maire). Cela constitue des Traces tangibles, représentées numériquement par deux traces de Production correspondant à des objets. Une séquence est reconnue

dans l'espace de Production, et une Trace représentant une séquence tangible est créée, liée aux deux objets qui la composent. Une séquence correspond à une action de Coordination, et une Trace de Coordination est créée. Une fois cette Trace de Coordination enrichie par une analyse organisationnelle, des retours informés sont créés, selon deux types de Traces (retour local et retour distant) liées à la Trace de Coordination. Les retours virtuels indiquant une action non valide pour l'utilisateur et indiquant la tentative de contact sont affichés, et constituent les traces virtuelles. T2, en bas : l'utilisateur décide de contacter le standard, suite au retour négatif. Il retire l'objet "Maire" et rajoute l'objet "Standard". Cela est considéré comme un nouvel objet et une nouvelle séquence est formée au niveau des traces de Production, où la trace "Maire" est modifiée pour signifier la disparition de l'objet associé, et la trace de l'objet "Standard" est ajouté. La nouvelle trace de séquence liée à l'objet Envoi est crée, et l'activité d'envoi (au Standard) est réexaminée en Coordination. La nouvelle trace de Coordination ainsi complétée comme étant valide, la trace de Communication est mise à jour et les retours virtuels sont modifiés en conséquence.

Afin de pouvoir gérer le lien entre les différents espaces d'activité de Production, de Coordination et de Communication, un ensemble de traductions est nécessaire. Par exemple, une coordonnée en Production représentera un endroit sur la carte (où est un tangible). En Coordination, une coordonnée est un type de zone – inondable, bâtiment, etc. – (où se déroule l'action de l'activité soutenue). En Communication, une coordonnée est une position cartésienne à l'écran (où s'affiche le retour informé).

Nous avons défini un nouvel élément, les Connaissances, qui permet de faire une équivalence à propos d'une information pour deux espaces d'activité. Les Connaissances sont inspirées des SAI (Institutions Artificielles Situées), qui lient un élément de l'environnement n'ayant pas de signification normative à un élément ayant une signification normative. Ainsi, un élément de Trace de T_{Prod} ne signifiera rien pour O_{Coor}. Les Connaissances de Coordination K_{Coor} associe un élément de T_{Prod} à un élément de T_{Coor} (ayant une signification pour O_{Coor}). Par exemple, une position sur une carte (Production) est associée à des bâtiments sur une carte (Coordination) :

$$traduction_{Coor} : T_{Prod} \times K_{Coor} \rightarrow T_{Coor} \tag{3.8}$$

Dans les sections suivantes, nous instancierons ces principes.

Les entités chargées de l'observation, de la création, de la manipulation des Organisations MOISE, des Traces et des Connaissances sont des Agents A. Ainsi, l'équation précédente s'écrit plus précisément :

$$traduction_{Coor} : T_{Prod} \times K_{Coor} \times A_{Coor} \rightarrow T_{Coor} \tag{3.9}$$

Cette structure nous permet une modularité entre les process et les contextes (O et T), Ces deux aspects sont clairement décrits par des formalismes existants (Organisations MOISE

et Traces), eux même modulaires. Leur découplage permet une autonomie de chacun de ces composants. La propagation est assurée explicitement par l'organisation en graphe des Traces, par les Connaissances et par les Agents qui gèrent l'articulation de l'ensemble de ces éléments. Il est alors possible de représenter différents fils de contextes, différents fils de process, tout en en assurant la gestion.

Étant donné la problématique d'aide au travail distribué entre acteurs distants que nous adressons, la notion de lien entre espaces distants est à prendre en compte. Dans ce but, nous introduisons la notion d'espace de travail pour structurer les interactions entre espaces d'activité distants.

Les activités de Production, en cas de travail distant et distribué, concernent l'activité locale et restent donc dans le même espace de travail. L'analyse de l'espace de Production ne se fera que localement. A titre d'exemple, un élément tangible déplacé sur une table tangible donnée ne concernent pas l'interaction tangible d'une autre table distante, et dans la figure 3.4, l'objet *Maire* est analysé avec l'objet *Envoi message* sur la table de gauche, mais pas avec l'objet *véhicule* sur la table de droite.

Les activités de Coordination s'interprètent localement dans les espaces de travail suite à l'activité de Production, et sont suivies dans un espace de travail partagé par tous les espaces de Coordination (*globalWorkspace*), afin de pouvoir prendre en considération l'activité distante, et analyser l'activité dans un contexte global. A titre d'exemple, dans la figure 3.4, l'action *Envoi Message au Maire* est analysée avec la *réquisition de véhicule* dans l'espace de travail global, au milieu en bas.

Les espaces de Communication présentent des interactions entre espaces de travail afin de pouvoir proposer des retours informés sur des tables distantes. La sécurité et l'aspect privé des données sont à prendre en compte. Dans notre modèle, nous procédons en deux étapes : l'espace de Communication local décide de l'envoi à distance, et l'espace de Communication distant décide de l'affichage. A titre d'exemple dans la figure 3.4, la décision d'affichage du retour informé sur la table de gauche de la réquisition de véhicules sera réalisé par la table de gauche, bien qu'envoyé à la table de gauche sur la décision la table de droite.

3.2 Perspective multi-agent du système OrA

Après avoir défini plus précisément les éléments évoqués dans la présentation générale du modèle OrA, nous précisons dans cette section notre proposition selon une perspective multi-Agent. Inspiré de l'approche MAOP, présentée dans le chapitre 2, nous décomposons chaque système et sous-système selon quatre dimensions principales : Agent, Environnement, Organisation, Interaction. Cette structure permet de modéliser les entités autonomes agissantes ou prenant des décisions (notamment les humains) dans la dimension Agent. Les process seront encapsulés dans la dimension Organisation et les contextes dans la dimension Environnement (Traces et Connaissances). Finalement, les interactions (représentant notamment la propagation process/contexte et interaction/activité soutenue) sont représentés dans la dimension

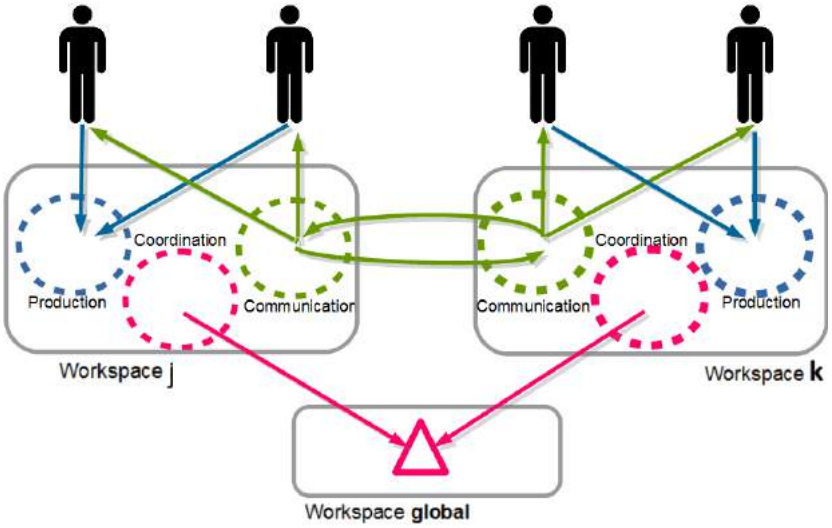


FIGURE 3.3 – Vue sur le système distribué, dans le cas de deux tables distantes. L'activité de Production est locale à l'espace de travail de la table. L'activité de Coordination est partagée au sein d'un espace de travail global. L'activité de Communication vers l'Humain (telle que l'affichage d'un retour virtuel) est décidé niveau local, qu'elle soit précédé ou non par la transmission d'éléments de Communication venant d'espaces de travail distants

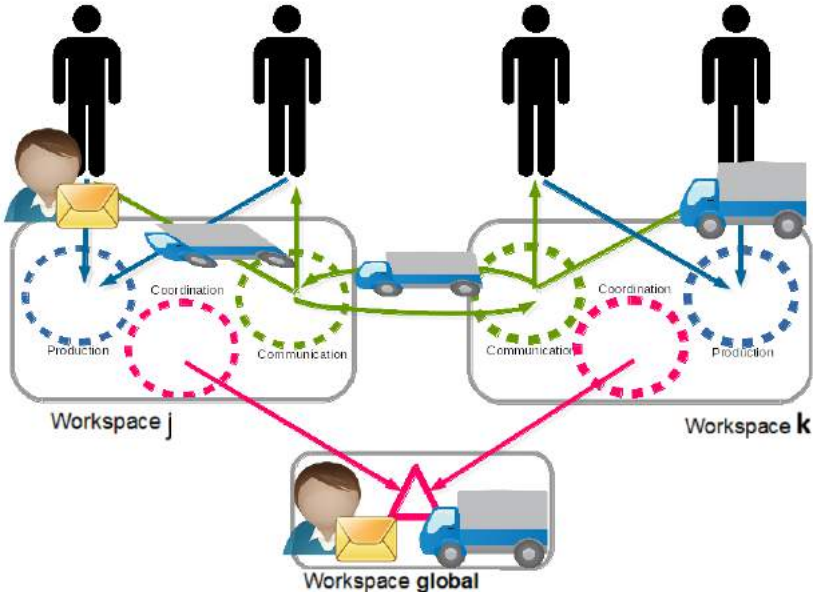


FIGURE 3.4 – Illustration de l'activité des espaces de Production, de Coordination et de Communication.

Interaction, au sein du même espace d'activité et entre espaces d'activité.

3.2.1 Vue d'ensemble

Nous présentons ici la mise en œuvre du modèle OrA selon une vision orientée multi-agent de S. Suivant le modèle MAOP proposé dans (Boissier et al., 2013), nous considérons notre système S comme étant composé (équation 3.10) d'agents (A), à savoir des entités (logicielles ou humaines) autonomes qui prennent des décisions d'actions sur les ressources partagées dans l'environnement (E) sur la base sur leur perception de E et de leurs interactions (I) avec d'autres agents sous le contrôle ou la coordination des organisations et des normes (O) :

$$S = \langle A, E, O, I \rangle \tag{3.10}$$

Nous considérons les Agents, éléments de A, comme définis dans le chapitre 2. Un agent est une entité autonome communicante et agissante présentant des objectifs et un ensemble d'actions. Nous considérons les agents cognitifs dont les plans sont décrits, pour garantir l'intelligibilité de l'articulation des process et des contextes. Plus loin dans ce chapitre, nous intègrerons à l'architecture des agents BDI (Belief-Desire-Intention).

Comme définis dans le chapitre 2, les éléments de l'Environnement, éléments de E, sont observables et manipulables par des agents. L'Environnement renvoie dans notre modèle aux Traces et aux Connaissances. Plus loin dans ce chapitre, nous intègrerons à l'architecture des artefacts avec des propriétés observables et des opérations.

Comme définis dans le chapitre 2, les organisations, élément de O, sont des entités partagées entre des Agents, composée de normes, de rôles, de missions et des buts prévus pour la réalisation de l'activité à laquelle l'Organisation est associée. Dans notre modèle, les organisations sont des spécifications organisationnelles MOISE.

Bien que les interactions directes (entre agents de A) existent dans l'approche MAOP, nous considérons dans notre modèle qu'une interaction, élément de I, est un flux d'informations indirects, entre agents de A via des éléments de E et/ou de O. Cela rend par ailleurs le modèle plus uniforme, car les Humains interagissent avec les Agents du système technique via des interactions indirectes (les Traces tangibles).

Cette vision se décline pour le système social S_H, et pour chacun des espaces d'activités (Production, Coordination, Communication).

3.2.2 SMA pour le système Humain

Suivant cette approche orientée multi-agent, la définition de S_H peut être affinée comme suit. S_H est composé d'un ensemble d'agents A_H, à savoir les acteurs humains dans le système. Nous avons défini dans l'équation 3.5 des traces physiques T_{Tangi} correspondant à l'activité des objets tangibles et des traces virtuelles T_{Imagi} correspondant à l'activité des retours informés.

Selon cette vision, les Humains agissent sur E_H selon différentes modalités, par exemple les surfaces tangibles partagées, en déposant des objets *tangibles* (E_{Tangi}) pour signaler l'exécution d'actions et percevoir les évaluations produites par S_{Comm} par des objets *imagibles* (E_{Imagi}), c'est à dire les évaluations virtuelles affichées sous des objets tangibles :

$$S_H = \langle A_H, E_H, I_H, O_H \rangle \tag{3.11}$$

$$ou\ E_H = \langle E_{Tangi}, E_{Imagi} \rangle \tag{3.12}$$

Les éléments de l'interaction tangible – *physique*– (E_{Imagi}) peuvent dépasser la simple signification d'un objet pour A_H, compte tenu des patterns tangibles qui peuvent être mis en place, où une séquence de tangibles se combine pour avoir un sens propre.

Les retours informés (E_{Imagi}) perçus par les agents de A_H peuvent être partiels ou erronés, compte tenu des activités distribuées et dynamiques qui ont lieu dans le système S.

E_{Tangi} se définit selon deux aspects. Le premier aspect dans la description de E_{Tangi} est qu'il est présenté comme un sous ensemble de l'environnement accessible au système technique. De cette manière, les éléments sur lesquels s'appuieront le soutien évaluatif sont connus. Le deuxième point est la distinction entre E_{Tangi} (e.g. deux objets tangibles physiques "envoi message" et "Maire" posés par un utilisateur) et les éléments de E_{Prod} définis dans la suite, auquel appartient la représentation numérique de ces mêmes objets physiques (<TagRFID 1234E456, coord 1 ;3>, <TagRFID 91011E1213, coord 2 ;3>), et le pattern tangible interprété à partir de la séquence des objets. Cela permet de distinguer et de faire le lien entre l'action réalisée par l'utilisateur avec les objets, selon son intention, et la séquence analysée par OrA, avec l'intention interprétée. Nous faisons la même distinction entre E_{Comm} qui contient les retours informés tels que représentés dans le système informatique, et E_{Imagi} les retours informés tels que perçus par les utilisateurs Humains A_H.

Notons (équation 3.14) que nous ne considérons pas une interaction directe (I_{A_H}) entre les humains de A_H que nous ne pouvons pas capter. Nous considérons l'interaction qui se déroule en S_H comme médiée par E_{Tangi} et E_{Imagi} (I_{E_H}) (i.e. l'interaction indirecte).

$$I_H = \langle I_{A_H}, I_{E_H}, I_{O_H} \rangle \tag{3.13}$$

$$ou\ I_{A_H} = \emptyset \tag{3.14}$$

Le système social reste pourtant une partie intégrante de OrA, car il constitue ce que nous souhaitons influencer, et qu'il constitue la source d'activité de notre système. Il n'est de plus pas exclu que certaines technologies permettent de suivre certains de ces aspects.

3.2.3 SMA pour le système Technique

Comme expliqué plus haut, le système technique S_{Tech} est composé de trois espaces : Production (S_{Prod}), Coordination (S_{Coor}), et Communication (S_{Comm}). Chacun de ces espaces suit l'approche MAOP.

S_{Prod}, est composé d'un ensemble d'agents A_{Prod}, à savoir les agents logiciels dans le système informatique appartenant à l'espace d'activité de Production. Ils agissent sur E_{Prod}, se réfèrent à l'environnement E_{Prod} et l'organisation O_{Prod} pour enrichir cet environnement selon un ensemble de normes. Les interactions d'un espace I_{Prod} représentent les interactions indirectes entre Agents locaux et distants.

Cela est également vrai pour les espaces de Coordination et de Communication. Ainsi, nous pouvons décrire chaque espace comme suit :

$$S_{Prod} = \langle A_{Prod}, E_{Prod}, O_{Prod}, I_{Prod} \rangle \tag{3.15}$$

$$S_{Coor} = \langle A_{Coor}, E_{Coor}, O_{Coor}, I_{Coor} \rangle \tag{3.16}$$

$$S_{Comm} = \langle A_{Comm}, E_{Comm}, O_{Comm}, I_{Comm} \rangle \tag{3.17}$$

L'Environnement et les Organisations modulaires permettent de décrire et d'inscrire tout élément de contexte et de process dans l'activité, ce qui favorise la propriété d'intelligibilité. L'aspect Organisationnel permet de modéliser les process par des normes régulant l'activité soutenue et d'interaction. Ainsi, un suivi évaluatif peut être réalisé à toutes les étapes de l'utilisation du système. Une flexibilité est apportée à travers le découplage des éléments (espaces d'activités et dimensions) et à travers les propriétés des certains éléments (tangible, systèmes normatifs).

3.2.3.1 Espace de Production

Les Agents A_{Prod} sont axés sur la gestion et l'interprétation des traces tangibles E_{Tangi} représentant l'activité humaine, en traces numériques stockées et partagées en E_{Prod}. Cet ensemble d'agents A_{Prod} interagit dans l'environnement partagé E_{Prod} (composé de Traces T_{Prod} et de Connaissances K_{Prod}) sous la régulation d'une organisation O_{Prod}. Pour rappel (équation 3.15) :

$$S_{Prod} = \langle A_{Prod}, E_{Prod}, O_{Prod}, I_{Prod} \rangle \tag{3.18}$$

Particularité de l'espace de Production, à la croisée des systèmes social et technique, deux types de traces sont considérés : (i) les traces des objets tangibles physiques posés sur la surface tangible (T_{Tangi}),(ii) traces numériques qui représentent dans le système technique l'activité tangible humaine réalisée à la surface de la table (T_{Prod}). Les traces de T_{Prod} peuvent être une simple représentation d'un objet (i.e. la transcription numérique directe d'une trace tangible de T_{Tangi}) ou une interprétation de l'activité résultant d'une séquence tangible de T_{Tangi} (séquence ou pattern de traces tangibles ayant un sens entre elles). T_{Prod} est complétée

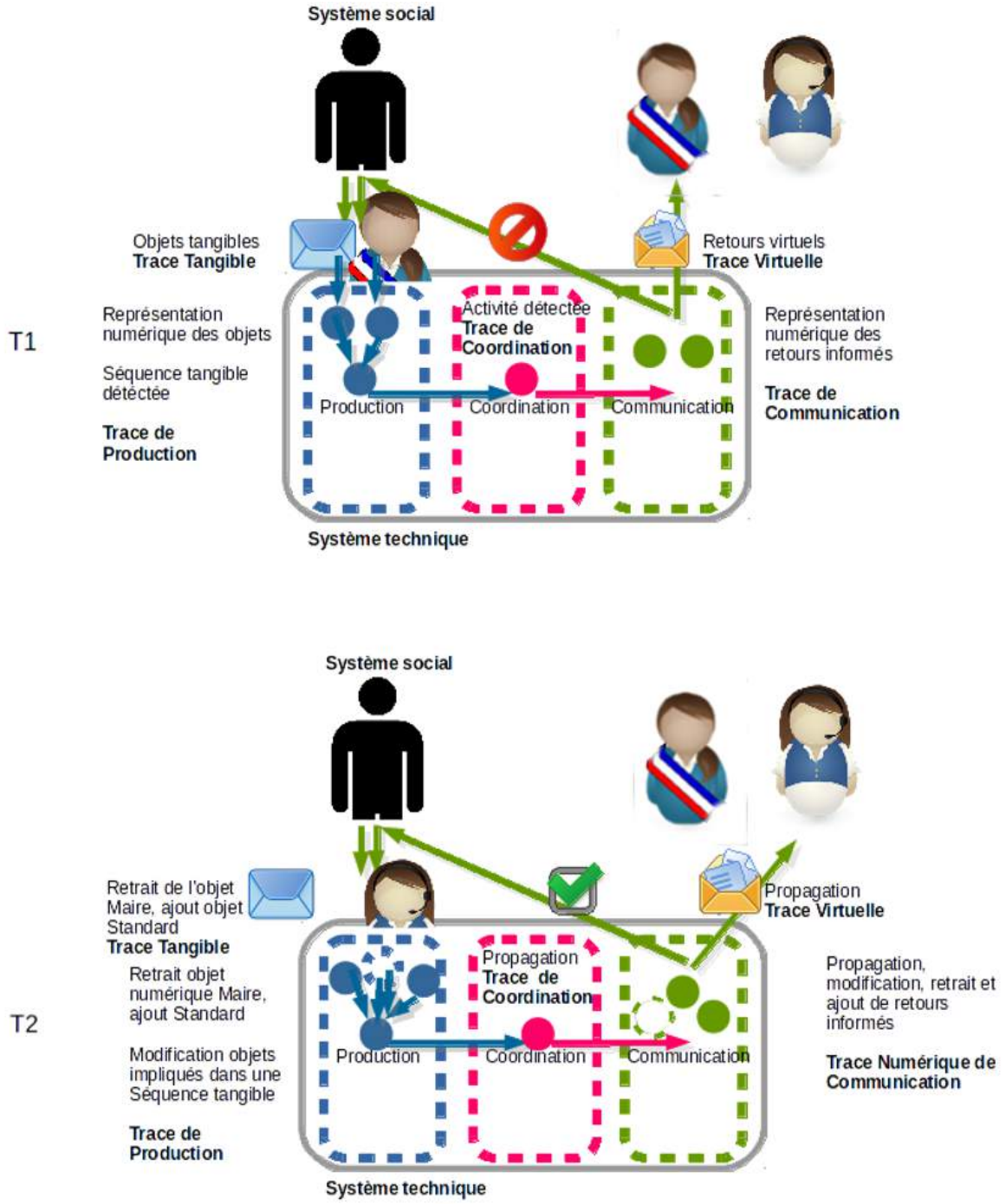


FIGURE 3.5 – Propagation des traces à travers les espaces d'activité. Une première action, à l'instant T1 en haut à gauche, est non-valide car l'utilisateur n'est pas autorisé en principe à contacter le Maire directement, contrairement à ce qu'il a souhaité faire en déposant les objets tangibles. L'analyse des traces de production lie ces deux actions tangibles à une unique action de Coordination dans une trace de Coordination, et va créer plusieurs traces de Communication. La trace de Communication va pouvoir se faire en cohérence avec la position des objets tangibles, connue par propagation. Une modification du pattern va permettre une mise à jour des retours informés, à l'instant T2 en bas, à travers la création de nouvelles traces.

par un ensemble de Connaissances *a priori* K_{Prod} sur l'environnement physique dans lequel l'activité humaine a lieu et qui peut aider à interpréter leur activité tangible :

$$E_{Prod} = \langle T_{Tangi}, T_{Prod}, K_{Prod} \rangle \tag{3.19}$$

L'interaction dans cet espace consiste, après la perception de nouvelles traces par les Agents, à (i) la traduction des traces tangibles T_{Tangi} en traces T_{Prod}, sous contrôle des connaissances K_{Prod} – $traduction_{Prod}$– et (ii) l'enrichissement des traces de Production par les agents de A_{Prod} en vertu de la spécification O_{Prod}, où sont exprimés les moyens d'action admissibles pour interagir avec la table Tangible – $analyse_{Prod}$– :

$$I_{Prod} = \{traduction_{Prod}, analyse_{Prod}\} \tag{3.20}$$

$$traduction_{Prod} \colon A_{Prod} \times T_{Tangi} \times 2^{K_{Prod}} \rightarrow T_{Prod} \tag{3.21}$$

$$analyse_{Prod} \colon A_{Prod} \times 2^{T_{Prod}} \times 2^{K_{Prod}} \times O_{Prod} \rightarrow T_{Prod} \tag{3.22}$$

Remarque : compte tenu de cette nouvelle définition de S_{Prod} :

$$i_{H2Prod} = A_H \times E_{Tangi} \rightarrow T_{Tangi} \tag{3.23}$$

3.2.3.2 Espace de Coordination

Les agents A_{Coor} de l'espace de Coordination sont dédiés à la gestion et à l'interprétation de l'activité tangible interprétée par l'espace de Production, dans T_{Prod}. Pour rappel (équation 3.16) :

$$S_{Coor} = \langle A_{Coor}, E_{Coor}, O_{Coor}, I_{Coor} \rangle \tag{3.24}$$

L'environnement de Coordination E_{Coor} est composé des traces T_{Coor} issues de l'interprétation et de l'analyse des traces de T_{Prod} à la lumière du statut courant de l'organisation O_{Coor} et de Connaissances *a priori* (K_{Coor}) :

$$E_{Coor} = \langle T_{Prod}, T_{Coor}, K_{Coor} \rangle \tag{3.25}$$

L'interaction dans cet espace consiste en (i) la traduction des traces de Production T_{Prod} en traces de Coordination T_{Coor}, sous le contrôle des connaissances K_{Coor} – $traduction_{Coor}$– et (ii) l'enrichissement des traces de Coordination par les agents de Coordination de A_{Coor} sous la régulation de la spécification organisationnelle de O_{Coor}, où sont exprimés les moyens de collaboration admissibles et prévus en amont – $analyse_{Coor}$– :

$$I_{Coor} = \{traduction_{Coor}, analyse_{Coor}\} \tag{3.26}$$

$$traduction_{Coor} \colon A_{Coor} \times T_{Prod} \times K_{Coor} \rightarrow T_{Coor} \tag{3.27}$$

$$analyse_{Coor} \colon A_{Coor} \times T_{Coor} \times O_{Coor} \rightarrow T_{Coor} \tag{3.28}$$

$$O_H \cong O_{Coor} \tag{3.29}$$

L'organisation O_{Coor} est la formalisation de O_H sous un format compréhensible par les agents du système technique, ce qui signifie que les rôles, les missions et les normes qui sont exprimés dans cette organisation sont le pendant des rôles, des missions et des buts que les humains du système doivent réaliser durant l'activité du système. Remarquons que $i_{Prod2Coor} \equiv traduction_{Coor}$

3.2.3.3 Espace de Communication

Cet espace est dédié à la mise en place de retours informés aux humains, à propos de leur activité telle qu'elle a été interprétée et régulée dans les deux espaces précédents. Pour rappel (équation 3.17) :

$$S_{Comm} = \langle A_{Comm}, E_{Comm}, O_{Comm}, I_{Comm} \rangle \tag{3.30}$$

L'environnement de Communication E_{Comm} est composé de deux types de traces : (i) les retours informés numériques (T_{Comm}) provenant de la traduction de T_{Coor} – $traduction_{Comm}$– , (ii) les retours informés virtuels tels qu'ils sont affichés sur la surface tangible dans un format compréhensible par les Humains (T_{Imagi}). Cet environnement est aussi composé de Connaissances *a priori* relatives aux retours informés (K_{Comm}).

$$E_{Comm} = \langle T_{Coor}, T_{Comm}, T_{Imagi}, K_{Comm} \rangle \tag{3.31}$$

L'interaction dans cet espace consiste en (i) la traduction des traces de Coordination T_{Coor} en traces de Communication T_{Comm}, sous le contrôle des connaissances K_{Comm} et (ii) l'enrichissement des traces de Communication T_{Comm} par les agents de Communication de A_{Comm} sous la régulation de la spécification O_{Comm}, où sont exprimés les moyens admissibles et prévus en amont pour enrichir la collaboration à l'aide de retours informés – $analyse_{Comm}$– :

$$I_{Comm} = \{traduction_{Comm}, analyse_{Comm}, i_{Comm2H}\} \tag{3.32}$$

$$traduction_{Comm} = A_{Comm} \times T_{Coor} \times K_{Comm} \rightarrow T_{Comm} \tag{3.33}$$

$$analyse_{Comm} \colon A_{Comm} \times 2^{T_{Comm}} \times O_{Comm} \rightarrow T_{Comm} \tag{3.34}$$

$$i_{Comm2H} \colon A_{Comm} \times 2^{T_{Comm}} \times O_{Comm} \rightarrow T_{Imagi} \tag{3.35}$$

.

3.2.4 Dynamique entre les espaces

Nous avons détaillé chacun des sous-systèmes. Nous allons dans cette partie décrire l'articulation interaction/activité selon les précisions que nous venons d'apporter sur les sous-systèmes. Les cycles de vie des espaces de Production, de Coordination et de Communication sont similaires, et commencent à la fin du traitement de l'espace précédent jusqu'à la transmission à l'espace suivant. Cette propagation se fait par la détection de nouvelles données en entrées, puis leur traduction afin qu'elles aient un sens dans le nouvel espace et ses process, afin de permettre leur analyse. La fin de l'analyse sera détectée par l'espace suivant (données en sortie). Ainsi, le cycle d'exécution complet est :

— (dépose d'un tangible) données en entrée de Production, traduction de Production, analyse de Production, données en sortie de Production,
— données en entrée de Coordination, traduction de Coordination, analyse de Coordination, données en sortie de Coordination,
— données en entrée de Communication, traduction de Communication, analyse de Communication, données en sortie de Communication (affichage d'un retour virtuel).

3.2.4.1 Données en entrée

Les Agents observent les modifications de l'Environnement liées à leur activité comme des informations en entrée. Ces modifications correspondent à la fin d'un traitement de l'activité réalisée par un Agent de l'espace précédent. Par exemple, les Agents Humains ont fini de déplacer un objet tangible T_{Tangi}, et les Agents de Production A_{Prod} vont analyser cet élément d'interaction entrante et créer une trace numérique associée T_{Prod} :

$$i_{H2Tech} = i_{H2Prod} \colon T_{Tangi} \times A_{Prod} \rightarrow T_{Prod} \tag{3.36}$$

De la même manière, une fois l'activité de Production finie et inscrite dans la trace T_{Prod} , les Agents de Coordination A_{Coor} vont analyser l'activité soutenue correspondante (telle que la gestion de crise) et créer une trace numérique associée T_{Coor} :

$$i_{Prod2Coor} \colon T_{Prod} \times A_{Coor} \rightarrow T_{Coor} \tag{3.37}$$

De la même manière, une fois l'activité de Coordination finie et inscrite dans la trace T_{Coor} , les Agents de Communication A_{Comm} vont s'y appuyer pour mettre en place des retours informés et créer une trace numérique associée T_{Comm} :

$$i_{Coor2Comm} \colon T_{Coor} \times A_{Comm} \rightarrow T_{Comm} \tag{3.38}$$

$$i^j_{Tech2H} = i^j_{Comm2H} \colon T^j_{Comm} \times A^j_H \rightarrow T^k_{Imagi} \tag{3.39}$$

De la même manière, une fois l'activité de Communication finie et inscrite dans la trace T_{Coor} comme devant être affichée, les Agents Humains A_H vont se saisir des retours informés T_{Imagi} :

$$i_{Tech2H} = i_{Comm2H} \colon T_{Comm} \times A_H \rightarrow T_{Imagi} \tag{3.40}$$

Une fois les données en entrée acquises, la nouvelle Trace est crée dans le même espace d'activité que celui de l'Agent et initialisée avec les valeurs que l'Agent peut remplir dès cette étape. Il s'agit d'informations qui seront transposées de la Trace précédente à cette nouvelle Trace, tel que l'identifiant de la Trace précédente, pour le suivi de l'activité.

3.2.4.2 Traduction

Cette Trace est ensuite enrichie dans une deuxième étape, à l'aide des Connaissances de son espace. Cela permet de traiter la Trace précédente et de la transformer en une forme ayant du sens dans l'espace d'activité de l'Agent.

Par exemple, une coordonnée euclidienne sur la table tangible récupérée en données d'entrée (T_{Prod}) a un sens pour les Agents de Production A_{Prod} une fois transformée en coordonnée sur une carte (T_{Prod}) grâce à une correspondance entre les coordonnées euclidiennes et le fond de carte affiché K_{Prod} [2] :

$$traduction_{Prod} = i^{traduction}_{Prod2Prod} \colon T_{Prod} \times A_{Prod} \times K_{Prod} \rightarrow T_{Prod} \tag{3.41}$$

En revanche, l'Agent de Coordination n'a pas besoin de savoir à quelle partie du fond de carte cela correspond, mais à quelle zone en ville cela correspond (adresse précise, type de bâtiment, zone inondable...). En effet, en espace de Coordination "évacuer le quartier résidentiel aux coordonnées A-7" (T_{Coor}) n'a pas de sens, alors que "évacuer 6 rue du port" (T_{Coor})en a, une fois transformé grâce à une correspondance entre le fond de carte affiché et les éléments urbains et de gestion de crise K_{Coor} :

$$traduction_{Coor} = i^{traduction}_{Coor2Coor} \colon T_{Coor} \times A_{Coor} \times K_{Coor} \rightarrow T_{Coor} \tag{3.42}$$

Pour l'Agent de Communication, il est nécessaire de transformer cette adresse en coordonnées pour la table d'affichage. En effet, sur une première table le "6 rue du port" peut correspondre au point (A-7), et à l'adresse "28 avenue de la république" sur une deuxième table avec un fond de carte différent affiché. Ainsi, une adresse en ville récupérée en données d'entrée (T_{Comm}) a un sens pour les Agents de Communication A_{Comm} une fois transformée en coordonnée sur une table d'affichage (T_{Comm}) grâce à une correspondance entre les adresses et les coordonnées sur la table d'affichage K_{Comm} :

$$traduction_{Comm} = i^{traduction}_{Comm2Comm} \colon T_{Comm} \times A_{Comm} \times K_{Comm} \rightarrow T_{Comm} \tag{3.43}$$

2. Cet exemple met en lumière une situation qui peut porter à confusion. Nous considérons cela comme des Connaissance de Production, car un véhicule roulant ne se pose pas sur de l'eau mais sur la route, peut importe s'il à le droit (en Coordination) d'être sur la route sur laquelle il se trouve ou non (périmètre bloqué par exemple). Ainsi, le type d'élément sur lequel est posé l'objet (route) est considéré comme des connaissances de Production, mais les éléments de gestion de crise (route barrée, inondée) sont dans les connaissances de Coordination.

3.2.4.3 Analyse

Les Agents enrichissent encore une fois la Trace, en fonction de l'activité en cours. Pour réaliser cela, les Agents consultent l'état dynamique de l'Organisation à laquelle ils appartiennent, en complétant et mettant à jour la Trace. L'Organisation peut contenir plusieurs spécifications organisationnelles éventuellement contradictoires et incomplètes, que les Agents consultent toutes.

Ainsi, les Agents de Production A_{Prod} analysent la trace de Production (traduite) T_{Prod} comme les coordonnées sur un fond de carte pour déposer l'objet "évacuer" au regard de l'Organisation O_{Prod} afin de l'enrichir (T_{Prod}), par exemple en annotant cette action d'interaction comme *valide* car il est valide de tenter d'utiliser le tangible "évacuer" sur un quartier résidentiel[3]) :

$$analyse_{Prod} = i^{analyse}_{Prod2Prod} \colon T_{Prod} \times A_{Prod} \times O_{Prod} \rightarrow T_{Prod} \tag{3.44}$$

Les Agents de Coordination A_{Coor} analysent la trace de Coordination (traduite) T_{Coor} pour "évacuer" au regard de l'Organisation O_{Coor} afin de l'enrichir (T_{Coor}), par exemple en annotant cette action d'activité comme *valide* car il est valide de tenter d'évacuer cette adresse à ce moment :

$$analyse_{Coor} = i^{analyse}_{Coor2Coor} \colon T_{Coor} \times A_{Coor} \times O_{Coor} \rightarrow T_{Coor} \tag{3.45}$$

Les Agents de Communication A_{Comm} analysent la trace de Communication (traduite) T_{Comm} pour afficher un retour virtuel afin de l'enrichir (T_{Comm}), selon les règles l'Organisation O_{Comm} (qui définit ce qui est permis d'envoyer à distance et quel retour informé doit être associé) par exemple en annotant cette action d'interaction comme *valide* (car il est valide de tenter de fournir un retour positif à cette table à ce moment) grâce à l'affichage d'un fond vert (car correspondant au code couleur des valeurs de validité défini dans l'organisation) :

$$analyse_{Comm} = i_{Comm2Comm} \colon T_{Comm} \times A_{Comm} \times O_{Comm} \rightarrow T_{Comm} \tag{3.46}$$

3.2.4.4 Données en sortie

La manipulation de la Trace dans cet espace étant terminée, un Agent d'un autre espace détecte cette Trace finalisée. Ce nouvel Agent considère cette Trace comme une donnée d'entrée.

3. *cf* la note précédente

De cette manière, les données de sortie de l'espace de Production sont les données d'entrée de l'espace de Coordination récupérées par les Agents de Coordination. Les données de sortie de l'espace de Coordination sont les données d'entrée de l'espace de Communication récupérées par les Agents de Communication. Les données de sortie de l'espace de Communication sont les données d'entrée du système humain (perception des retours informés) récupérées par les Agents de Humains ou de l'espace de Communication d'une table distante (envoi à distance de retours informés) récupérées par les Agents de Communication.

3.2.4.5 Distribution

Ces espaces d'activités, s'ils suivent des cycles d'exécution similaires, répondent à des logiques de distribution différentes. Comme expliqué plus haut, l'activité humaine est distribuée sur des tables tangibles. Ces tables tangibles sont utilisées par les Agents humains qui utilisent OrA. L'architecture de S est distribuée, ce qui répartit S_{Tech} et S_H sur chaque table tangible utilisée dans le système.

Plus précisément, les retours informés produits à une table tangible j peuvent être à destination des Agents humains utilisant la table tangible k.

L'espace de Production n'est concerné que par des interactions locales, que se soit pour les données en entrée, la traduction, l'analyse et les données en sortie.

L'espace de Coordination est concerné par l'activité globale, et son analyse se déroule donc dans un espace de travail global. Ainsi, si l'activité est réalisée dans un workspace j, l'organisation utilisée dans la phase d'analyse se trouve dans le workspace *global* :

$$analyse^{j}_{Coor} : T^{j}_{Coor} \times A^{j}_{Coor} \times O^{global}_{Coor} \rightarrow T^{j}_{Coor} \tag{3.47}$$

Remarquons que même si l'évaluation de la coordination est basée sur des traces locales, l'organisation considérée (O_{Coor}) est partagée entre toutes les tables.

L'espace de Communication est concerné par l'activité locale (retour de validité de l'activité), et peut avoir des données en entrée provenant de l'activité distante (transmission d'un retour informé sur l'activité d'acteurs distants, interagissant sur une autre table). Ainsi, les données d'entrée du workspace j peuvent venir de l'espace de Coordination du workspace j (fin de l'analyse de Coordination locale) ou de l'espace de Communication du workspace k (envoi reçu de l'espace de Communication d'une table distante) :

$$i^{j}_{Coor2Comm} : T^{j}_{Coor} \times A^{j}_{Comm} \rightarrow T^{j}_{Comm} \tag{3.48}$$

$$i^{j,k}_{Comm2Comm} : T^{j}_{Comm} \times A^{j}_{Comm} \rightarrow T^{k}_{Comm} \tag{3.49}$$

3.3 Architecture du système OrA

Dans cette section, nous présentons comment le système S_{Tech} est implémenté à l'aide d'une plateforme de programmation orientée multi-agent (la plateforme JaCaMo (Boissier

et al., 2013)), où des surfaces tangibles sont connectées entre elles par réseau dans un contexte distribué. Après une présentation de JaCaMo et de son utilisation pour implémenter les dimensions de l'architecture, nous décrirons l'architecture d'implémentation de OrA, dont nous illustrerons l'utilisation du point de vue technique en nous concentrant sur le cycle de vie de S_{Prod} à S_{Comm}. Par la suite, nous aborderons un exemple décrivant la vision humaine pour qu'une collaboration se mette en place entre les agents de S_H.

3.3.1 JaCaMo

Le système technique S_{Tech} est implémenté avec le framework de programmation orienté multi-agent JaCaMo. Les Agents des trois espaces A_{Prod}, A_{Coor} et A_{Comm} sont implémentés comme des agents BDI (*Belief-Desire-Intention* pour Croyance-Désir-Intention) Jason.

Nous présentons ici comment les éléments du modèle OrA sont associés aux éléments de JaCaMo présentés en 2.4.3.6.

Les traces T et les connaissances K des trois espaces sont implémentées par des agents Cartago selon le paradigme A & A (Agents et Artefacts). Dans ce paradigme A & A, les Agents interagissent avec ces Artefacts qui encapsulent l'environnent, en observant et en utilisant des opérations associées aux Artefacts.

Les espaces de travail (Production, Coordination, Communication) sont mis en œuvre par des Workspaces, utilisés pour structurer et distribuer S_{Tech} selon les tables tangibles distribuées, comme décrit dans la section précédente.

Les processus, les organisations et les normes qui régissent l'activité sont définis et gérés en utilisant l'implémentation du méta-modèle Moise, selon des spécifications structurelle (hiérarchie), fonctionnelle (description du processus dans son ensemble) et normative (lien contextuel entre la structure et les fonctions).

3.3.1.1 Agent

Selon la formalisation JaCaMo, un agent se caractérise par le modèle Jason qui s'appuie sur le modèle BDI (Belief-Desire-Intention). Comme illustré dans la figure 3.6, un agent maintient des *croyances* sur son état courant et sur l'environnement, un ensemble de *désirs* (buts à satisfaire), un ensemble d'intentions correspondant aux actions que l'agent s'est engagé à réaliser, et un ensemble d'évènements issus des changements dans la base de croyances ou de buts.

Pour pouvoir décider de la séquence d'actions à réaliser (actions sur l'environnement ou sur l'état interne de l'agent), l'agent a une base de plans décrits par un évènement déclencheur, un contexte, conjonction de croyances permettant de vérifier la faisabilité du plan dans l'état courant dans lequel l'agent est situé.

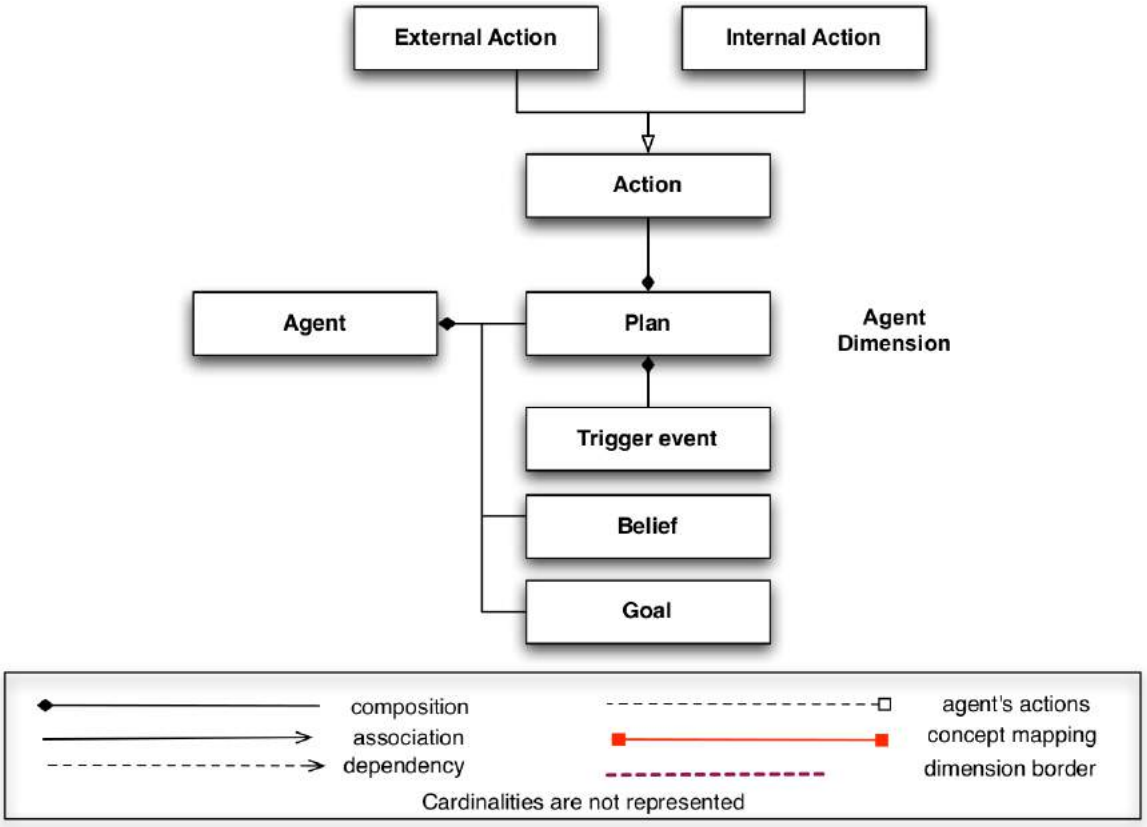


FIGURE 3.6 – Méta-modèle simplifié du moteur de gestion des Agents Jason dans JaCaMo. A gauche, l'Agent est composé de croyances et de buts (en bas). Ses désirs s'organisent selon des plans (au milieu) en fonction d'éléments déclencheurs. Ces plans organisent des actions internes (c'est à dire les actions faisant évoluer la base de croyances de l'agent) ou externes (lien avec l'Environnement notamment, c'est à dire en utilisant les opérations sur les Artefacts).

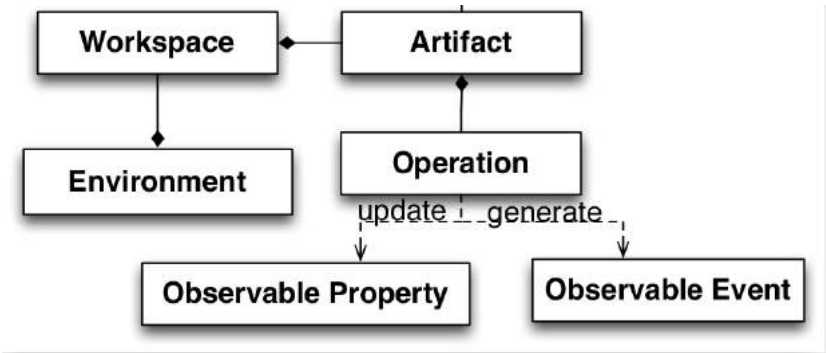


FIGURE 3.7 – Méta-modèle simplifié du moteur de gestion des Artefacts Cartago dans JaCaMo. A gauche, l'Environnement est réparti selon des Workspaces où sont répartis les Artefacts (au centre). Ces Artefacts se définissent par des propriétés observables, des signaux (Observable Event), ainsi qu'un ensemble d'opérations.

La programmation d'un agent se fait par la définition de croyances initiales, de buts initiaux et de plans. Evénements et intentions sont générés et gérés par le moteur BDI du langage Jason. En plus d'actions de base prédéfinies telles que l'envoi de messages, le répertoire des actions des agents est défini par les opérations attachées aux artefacts présents au sein de l'environnement. Il en est de même des croyances via les propriétés observables de ces artefacts. Nous allons les introduire dans la section suivante. Un agent peut également appartenir à des organisations décrites avec le langage MOISE.

3.3.1.2 Environnement

Dans JaCaMo, comme décrit dans le méta-modèle simplifié figure 3.7, l'environnement est encapsulé dans des artefacts, répartis dans des Workspaces. Dans notre implémentation, les Traces et les Connaissances sont programmées dans des Artefacts, et chaque table tangible sera associée à un Workspace. Des propriétés observables et des opérations sont définies pour chacun de ces artefacts, et les agents sont capables de réaliser un focus sur un artefact afin d'observer ses propriétés et d'en utiliser les opérations.

En pratique, les Artefacts Cartago sont implémentés comme une classe Java. Un artefact permet de définir à l'exécution des propriétés observables, et des opérations. Un Artefact peut être créé par un Agent Jason, ou lancé à l'initialisation du système multi-agent. Un Agent peut également faire un focus sur les artefacts qu'il souhaite utiliser et observer.

Les propriétés observables d'un artefact sont intégrées comme des croyances pour les agents qui ont réalisé un focus sur ledit artefact. En réalisant un focus, un Agent peut également utiliser les méthodes de l'artefact définies comme une opération, et les intégrer ainsi dans ses plans. De plus, l'Agent pourra détecter les signaux envoyés par l'Artefact. Une propriété observable est accessible à l'Agent à tout moment, tant qu'elle existe.

Les Artefacts modélisent les Traces T en associant les champs de la trace à des propriétés

observables. Chaque Artefact en JaCaMo se voit attribuer un identifiant unique par défaut. Les Traces peuvent être manipulées par l'Agent grâce à des opérations définies. Les Traces sont créées par les Agents durant l'activité. Afin de découvrir les nouvelles traces, JaCaMo fournit un ensemble de mécanismes de gestion des artefacts, notamment un mécanisme de découverte de artefacts créés. Néanmoins, afin de faciliter le suivi des nouveaux artefacts dans un Workspace et d'en garder une trace, nous avons créé un artefact "Pages blanches", qui répertorie tout nouvel artefact

Les Artefacts modélisent également les Connaissances K, qui sont définies *a priori* avant l'utilisation du système. Les opérations des artefacts permettent d'interroger une valeur et d'avoir la correspondance en retour à travers l'implémentation de paires clefs/valeurs.

JaCaMo organise les Artefacts selon des Workspaces. Ces Workspaces nous permettent d'implémenter les espaces de travail. Chaque Artefact (Traces et Connaissances) appartient à un Workspace. Certains Workspaces peuvent se connecter entre eux à travers un réseau, dans ce cas il s'agit de RemoteWorkspaces. L'espace de Coordination est en partie partagé entre toutes les tables (figure 3.3), il sera donc implémenté dans un Workspace global.

3.3.1.3 Organisation

Dans JaCaMo, une Organisation est définie par une spécification organisationnelle, constituée de spécifications structurelle, fonctionnelle et normative comme présentées dans le chapitre 2 et illustrées dans le méta-modèle simplifié présenté dans la figure 3.8.

Une spécification organisationnelle définit un ensemble de rôles et de groupes pouvant être attribués à des *Agents* et qui peuvent être liés à un ensemble de buts organisés selon des plans grâce à des normes actives selon un contexte. Ainsi les *Agents* peuvent se voir attribuer des obligations, des permissions et des interdictions de réaliser des buts de manière contextuelle selon leur rôle et leur groupe.

Les normes présentent plusieurs états : activées (*activated*), en attente (*waiting*) et accomplies (*achieved*). Une norme *activée* signifie que les actions associées à la norme peuvent ou doivent (permission ou obligation) être réalisées, et qu'il est valide pour l'Agent associé de les réaliser. Une norme *en attente* signifie que les actions associées à la norme ne sont pas activées, et qu'il est valide (au sens de l'Organisation) pour l'Agent associé d'accomplir ces actions. Une norme *accomplie* signifie que les actions associées à la norme étaient activées, et que l'Agent associé les a réalisées.

En pratique, les Organisations MOISE sont représentées dans un fichier XML, qui permet de décrire les spécifications structurelles, fonctionnelles et normatives nécessaires à l'utilisation du système. Une Organisation peut éventuellement contenir plusieurs spécifications fonctionnelles. Chaque spécification structurelle peut être consultée dynamiquement et être accessible aux Agents à travers un Artefact particulier appelé *Groupboard*. De même, la spécification fonctionnelle et normative est instanciée et accessible via un Artefact appelé *Schemeboard*.

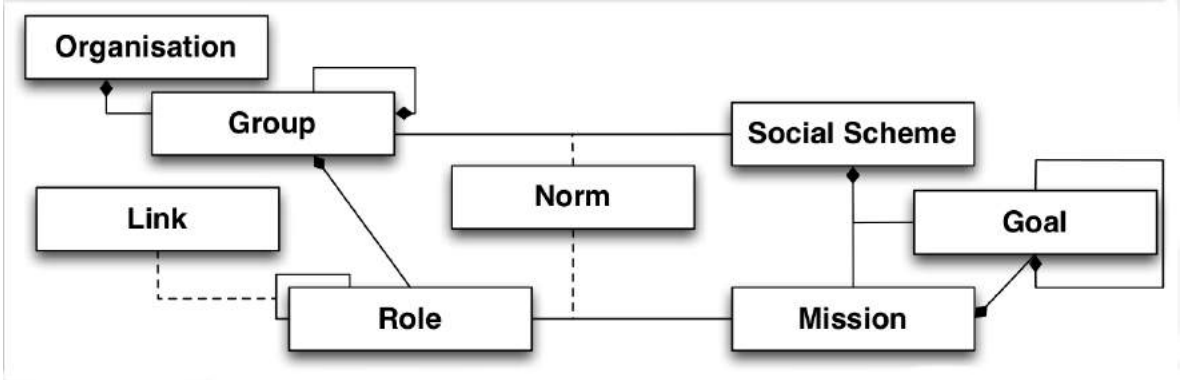


FIGURE 3.8 – Méta-modèle simplifié du moteur de gestion des Organisations MOISE dans JaCaMo. A gauche, l'Organisation est composée de groupes pouvant eux-même être des sous-groupes dans la spécification fonctionnelle. Ces groupes présentent des rôles liés entre eux (compatibilité notamment). Les groupes sont associés à la spécification structurelle sur la droite de l'image via des normes qui associent ainsi des rôles à des missions. Ces missions sont composées de buts et de sous-buts organisés entre eux dans le scheme social.

Intégrés à l'implémentation de JaCaMo, et visibles entre la couche Organisation et Agent de la figure 3.13, des artefacts *GroupBoard* et *SchemeBoard* servent à implémenter le lien entre Agent et Organisation. Ces artefacts permettent aux Agents de consulter et de modifier l'organisation, en interrogeant et en adoptant des rôles et en achevant des buts via les propriétés observables et les opérations des Artefacts de type Schemeboard et Groupboard. Ces artefacts émettent également des signaux, permettant de tenir informés les Agents de l'état de l'Organisation à travers un système de Broadcast.

L'Organisation, via les artefacts Schemeboard et Groupboard, est associée à un ensemble de mécanismes (le moteur MOISE) pour maintenir et analyser l'état de l'Organisation.

.

3.3.1.4 Interaction

L'Interaction existe à travers la façon dont les fonctionnalités entre les entités JaCaMo sont utilisées et elles peuvent être directes et indirectes. Nous utilisons dans notre architecture uniquement les interactions indirectes via l'Organisation et l'Environnement, afin d'articuler process et contexte.

Les interactions directes représentent principalement l'utilisation des possibilités conversationnelles entre Agents, déjà existantes dans JaCaMo. Les Agents communiquent entre eux, et se transmettent ainsi les informations. Les Artefacts peuvent également disposer d'une interaction directe.

Les Interactions indirectes sont des interactions entre Agents, non pas supportées par les

outils conversationnels Agent-Agent, mais par les autres entités de JaCaMo. Ainsi, deux Agents peuvent communiquer indirectement en utilisant des Artefacts (en laissant une empreinte dans l'environnement), ou en effectuant une action dans une Organisation partagée.

À titre d'exemple, un Agent peut modifier une propriété observable d'un Artefact de Trace en l'indiquant comme "complétée". Le deuxième Agent va pouvoir, sans communiquer directement avec le premier, commencer son traitement. Également, cela peut passer par l'Organisation. un Agent peut réaliser un but dans l'organisation , ce qui va créer une nouvelle obligation pour le deuxième Agent, en rendant disponible le but suivant dans le plan. Le deuxième Agent va pouvoir, sans communiquer directement avec le premier, être coordonné avec le premier.

3.3.2 Vision globale de l'Architecture

Nous allons présenter l'architecture générale du système OrA, en précisant ces composants en général puis par espace d'activité.

3.3.2.1 Environnement, Agents, Organisation

Nous allons présenter l'architecture générale du système OrA. On peut voir sur la figure 3.9, en bas, un niveau Environnement (artefacts de Trace et de Connaissances Cartago représentés par des rectangles).

Certains artefacts représentent les traces de chacun des espaces de Production, de Communication et de Coordination. Les artefacts de Production et de Coordination sont associés au workspace de la table dont ils encapsulent l'activité. Ceux de Communication peuvent se référer à l'activité locale de la table qu'ils concernent, ou à celle de tables distantes. Comme précisé précédemment une Trace contient un identifiant, une horodatage, un type et au moins une valeur. Dans notre cas, un Artefact de Trace présente la propriété observable Id, un identifiant unique du tuple de cette observation, qui permet une traçabilité, $timeStamp$ l'annotation temporelle (horodatage) de la trace, $Values$ l'ensemble des valeurs. La structure de $Values$ dépend du champ $type$.

Les Artefacts de Connaissance sont créés au lancement de l'application. Ils appartiennent au workspace de la table qu'ils concernent. L'élément K est un ensemble de connaissances *a priori* nécessaires à un suivi et à l'analyse des $Traces$ par les $Agents$. Il s'agit d'association de deux éléments selon une logique clef-valeur, grâce à laquelle il est possible d'accéder à toute valeur grâce à sa clef associée. Un Artefact de Connaissance associe ainsi une propriété observable à une valeur, que l'agent peut consulter. Il est possible, dans les cas les plus complexes, que l'Agent ait recours à une opération de l'Artefact de Connaissance pour récupérer des valeurs (pour des cas faisant appel à des structures de données équivalentes à des jointures par exemple).

Par ailleurs, un Artefact appelé TableManager permet d'encapsuler le middleware de la

table (réception et envoi de données pour la table, incluant la gestion des objets tangibles et des retours informés). Pour l'implémentation des Traces, afin de limiter les interactions (temps de calcul) et les mécanismes de rétro-propagation, les informations des Artefacts de Trace précédents sont copiées dans la nouvelle trace, et sont donc consultables directement par l'Agent suivant. Ainsi, dans un Artefact de Trace de Coordination, les champs comme les coordonnées de la séquence tangible sont présents.

Les Artefacts de Schemeboard et de Groupboard de Production et de Communication sont dans les Workspace de la table qui les concernent, et ceux de Coordination sont dans un workspace global, et sont suivis par tous les Agents de Coordination. En définissant deux types de Workspaces (ceux qui correspondent à des Tables Tangisense, et un Workspace global), nous assurons un suivi global de l'activité soutenue, en permettant *a fortiori* la multiplicité de points de vue.

Le niveau du haut de la figure 3.9 représente le niveau Organisation (organisations MOISE représentées par des triangles).

Disposés sur la couche du milieu dans la figure 3.9, les agents Jason sont représentés par des cercles fléchés.

De gauche à droite, nous retrouvons l'espace de Production (Artefacts de Traces et de Connaissances de Production, Agents Jason de Production et Organisation MOISE de Production), puis l'espace de Coordination (Artefacts de Traces et de Connaissances de Coordination, Agents Jason de Coordination et Organisation MOISE de Coordination), et enfin l'espace de Communication (Artefacts de Traces et de Connaissances de Communication, Agents Jason de Communication et Organisation MOISE de Communication).

Il y a un Agent de Production par Agent Humain. En effet nous avons choisi, afin de suivre l'interaction, que chaque utilisateur sera suivi par un agent logiciel Jason. Ce choix permet à plusieurs acteurs de réaliser des séquences tangibles simultanément sur une même table. Dans cette configuration, le maire peut envoyer un rapport aux pompiers tandis que le chargé de Communication avec le terrain valide une activité de la Cellule Logistique. Ce choix d'implémentation nécessite de pouvoir tracer chaque utilisateur (par des bracelets ou des bagues tangibles par exemple). En revanche, ce choix ne permet pas de suivre une séquence créée collaborativement par plusieurs acteurs (le maire et le chargé de Communication avec le terrain ne peuvent pas simultanément valider les barrages routiers proposés par le terrain), ce qui aurait été permis en attribuant un Agent de Production par table. Ce choix n'a pas été retenu, afin de pouvoir gérer l'analyse de l'activité par acteur à l'étape suivante et afin de pouvoir analyser des séquences en parallèle. Les Agents de Production auraient pu correspondre à des objets tangibles, devant collaborer pour définir le nombre de séquences en cours simultanément et les acteurs associés à ces séquences. Cela dépasse alors l'analyse syntaxique et cela aurait nécessité de s'appuyer systématiquement [4] sur les attendus de l'activité, autrement dit les normes de Coordination, ce qui va à l'encontre du principe de découplage à la base de la propriété de flexibilité.

4. Dans le cas l'analyse des séquences afin de définir les actions demandées et par quels acteurs

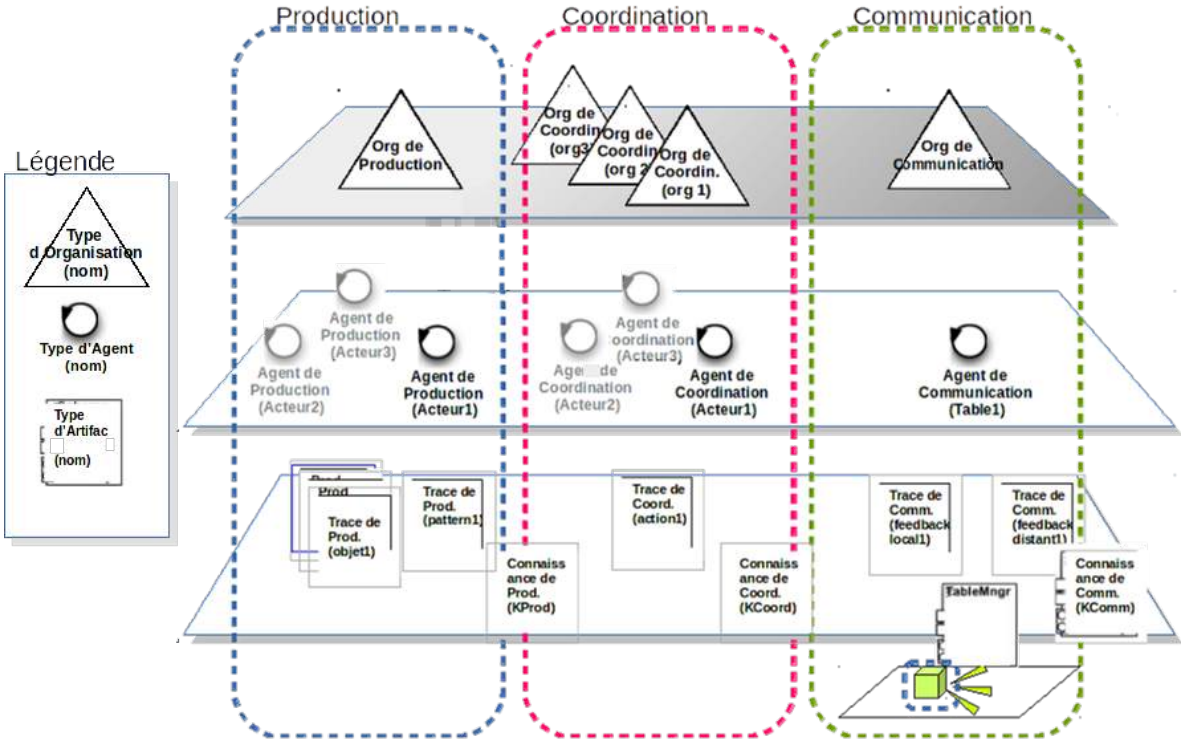


FIGURE 3.9 – Vue générale de l'architecture. Chaque espace d'activité (de gauche à droite : de Production, de Coordination et de Communication) est organisé (resp. pour la gestion de l'interaction tangible, pour la définition des process de l'activité humaine et pour la gestion des retours informés) selon des Organisations, des Agents et des Artefacts.

3.3.2.2 Implémentation de l'Espace de Production

L'Organisation de Production sert de support à l'interprétation de l'interaction. L'Organisation de Production contient les politiques pour suivre les objets et analyser l'interaction tangible. Une marche à suivre liée à la syntaxe de l'interaction est décrite dans cette organisation, qui porte sur la manière de traiter les objets et les séquences. L'interprétation de chaque nouveau tangible suit son propre déroulé, ce qui implique le déploiement d'un plan dynamique (appelé scheme) par objet détecté. Quand un objet particulier appelé "completed" [5] est posé, tous les objets précédemment posés par un même acteur sont agrégés sous forme d'une séquence. Afin de permettre une analyse syntaxique appropriée dans OrA, les objets tangibles peuvent être typés (tangible d'action, de ressources etc.). Comme chaque agent de Production est dédié au suivi en particulier d'un acteur humain enregistré sur la table, la spécification structurelle de Production contient un unique rôle (chargé du suivi *suivi d'acteur*). La spécification fonctionnelle de Production est décrite figure 3.10. Il s'agit d'identifier le nom et le type dans le cas d'un objet tangible (plan à gauche dans la figure 3.10). Pour une séquence tangible il s'agit de récupérer l'objet de référence [6], et la localisation associée à la carte (plan à droite dans la figure 3.10). La spécification normative de Production associe chaque but de la spécification fonctionnelle à l'agent ayant le rôle responsable de la réalisation du but. Ces buts deviennent disponibles quand les buts précédents (les buts précurseurs) sont achevés.

Les Artefacts Traces de Production représentent un objet tangible ou une séquence tangible et chacune de ses évolutions dans le temps. Un agent de Production crée un nouvel Artefact Trace à chaque fois qu'un nouveau tangible est détecté par le listener [7] de la table TangiSense (c'est à dire à chaque fois qu'un tangible jamais encore utilisé est détecté par la table). Une fois qu'une trace est crée pour un objet, sa réutilisation entrainera le rajout d'un état de l'objet horodaté. Chaque trace correspondant à un objet présente un ensemble de paramètres organisés en liste, dont le dernier item correspond à l'état courant, et est liée à un objet physique. Un ensemble de traces d'objets utilisés par un même acteur correspondra à une séquence. Cette trace de séquence sera créée et datée, et sera liée à la trace de l'objet de "référence" (par exemple l'objet "envoi d'une information") et aura une liste d'objets "paramètres" la constituant (par exemple l'objet "table pompiers" et "rapport d'information sur la situation").

Les Connaissances de Production correspondent à des informations contextuelles liées à l'interprétation de l'interaction. Les Connaissances de Production renvoient à l'ensemble des données contextuelles nécessaires pour enrichir l'interprétation d'un objet (en dehors du contexte de Coordination). Les Connaissances de Production servent à la

5. L'objet "completed" est utilisé par l'utilisateur pour indiquer la fin d'une séquence tangible au système informatique.

6. Une séquence étant composé d'un ensemble d'objets, un objet est considéré comme un objet de référence. Nous avons considéré l'objet de référence c

7. Le listener est associé au *TableManager* (l'intergiciel de la Table TangiSense), et détecte et signale l'activité à la surface de la table tangible. Ce listener permet (1) de signaler un nouvel objet, et (2) d'indiquer les coordonnées, l'ajout, le retrait et le déplacement des objets sur la table.

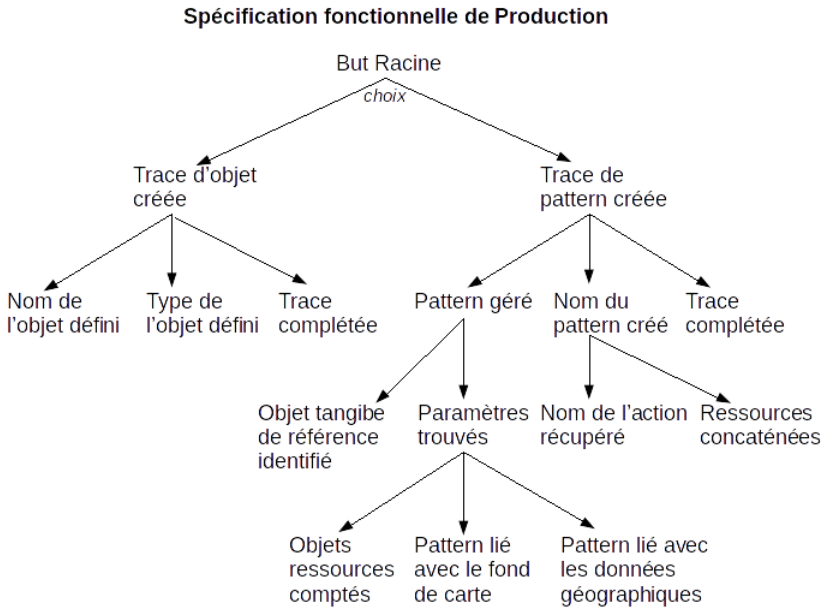


FIGURE 3.10 – Spécification fonctionnelle de Production, s'organisant selon deux cas de figures. A gauche, sous le but *Trace d'objet créée* : créer une trace d'activité liée à un objet en définissant le nom, le type et en complétant cette trace. Cela doit être réalisé, selon les normes, par le rôle *suivi d'acteur* défini dans les spécifications structurelles (non représentées sur le schéma), c'est à dire par l'agent qui suit le joueur qui vient d'utiliser un objet. A droite, sous le but *Trace de pattern créée* : la trace du pattern est créée puis remplie et "gérée" en définissant l'action (*objet tangible de référence identifié*) et les paramètres associés, puis en ajoutant le nom et en l'annotant comme complétée.

fois à interpréter les liens entre objets tangibles physiques et leur représentations numériques (lien entre le tag RFID et l'objet, type d'objet tangible...) et à la fois à vérifier des règles d'utilisation. Pour exemplifier ce dernier cas, imaginons des objets "voiture" qui ne s'utilisent que sur route. Certaines Connaissances font le lien avec les routes et les coordonnées de l'objet. Si nous souhaitons ajouter une règle selon laquelle les véhicules ne sont pas utilisables sur l'eau (routes inondées), une Connaissance faisant le lien entre la carte et la zone inondée est nécessaire. Les connaissances sont représentées comme des paires clefs/valeurs dans des Artefacts de Connaissances dans l'espace de Production, organisées par type (Tag RFID/objet tangible associé, Coordonnées sur la table/Coordonnées sur la carte).

Les agents manipulent et créent des Artefacts de Traces de type Objet (objet) et séquence (pattern) qui représentent numériquement les actions tangibles détectées à la surface et transmises à l'Agent de Production par l'Artefact de middleware TableManager (envoi des données non représenté sur la figure 3.9).

Précisons également l'activité des Agents liés à l'initialisation des tables et à l'espace de Production : le GlobalAgent déploie les worskpaces, le réseau sur lequel les tables vont pouvoir se connecter, le GlobalWorkspace et le LocalAgent. Le LocalAgent qui va déployer les Artefacts de Connaissance, et créer les nouveaux Agents de Production à chaque fois qu'un nouvel Agent

Humain utilise la table.

3.3.2.3 Implémentation de l'Espace de Coordination

L'agent de Coordination possède des plans pour déployer l'Organisation de Coordination, suivre l'activité Humaine interprétée en espace de Production et pour analyser cette activité selon les Organisations de Coordination modélisées. L'agent crée un nouvel Artefact Trace à chaque fois qu'une nouvelle séquence tangible est complétée par l'Agent de Production. Chaque nouvelle activité humaine interprétée s'intègre à l'Organisation de Coordination.

Il y a un Agent de Coordination par Agent Humain. En effet, afin de suivre l'activité soutenue, chaque utilisateur va être suivi par un agent logiciel Jason. Ce choix permet d'évaluer individuellement l'activité soutenue, selon les différentes perspectives en présence. Ce choix d'implémentation nécessite d'utiliser des agents Jason comme des mimes de l'activité Humaine. En effet, les Agents Jason peuvent consulter et modifier l'Organisation MOISE pour leur propre activité, mais ils ne peuvent pas accomplir des buts pour le compte d'autres Agents. Utiliser des Agents mimes permet de consulter les organisations, en faisant agir un Agent de Coordination comme les Agents Humains, et de récupérer l'analyse de l'activité par ce même Agent de Coordination. Ainsi, l'Agent de Coordination du maire va réaliser l'action *évacuation* quand le Maire Humain l'aura "réalisée" avec l'interface tangible.

L'Organisation de Coordination sert à analyser la validité de l'activité soutenue. L'Organisation de Coordination contient les plans d'intervention tels que définis par les Humains, pour l'ensemble des acteurs en présence (par exemple ceux de la Commune, des Pompiers etc.). D'autres spécifications organisationnelles existent, que nous appelons méta-règles, et qui représentent les règles de sens commun de la gestion de crise. L'interprétation de chaque nouvelle action va être confrontée à l'état de l'organisation. Certains schemes vont être déployés dans les situations qui présentent des procédures associées, comme la réquisition d'un véhicule ou le traitement des appels. Chaque action va ensuite être analysée selon de multiples normes, potentiellement de plusieurs organisations, et selon les méta-règles qui représentent des méta-règles, *i.e.* des règles générales de bonne collaboration. Chaque Agent de Coordination est dédié au suivi en particulier d'un acteur humain enregistré sur la table. La spécification structurelle de Coordination contient une représentation formalisée des rôles définis dans l'Organisation Humaine, tels que ceux dans les plans de réponse face à la crise (dans le cas de la commune, les rôles présents dans PCS). La spécification fonctionnelle de Coordination contient l'implémentation de règles, c'est à dire des actions dans les plans de réponse face à la crise (dans le cas de la commune, les actions décrites dans PCS), et de méta-règles (comme la non duplication d'effort). La spécification normative de Coordination associe les spécifications fonctionnelles et structurelles. Comme décrit dans la figure 3.11, le Maire est obligé de demander l'évacuation. Suite à quoi la CS (Cellule Soutien) est obligée d'exécuter une évacuation, pendant que la CL (Cellule Logistique) est obligée de préparer l'hébergement. Pour réaliser leurs buts respectifs, les deux Cellules doivent réaliser les sous-buts associés.

Nous appelons violation le non respect des obligations, permissions et interdictions définies

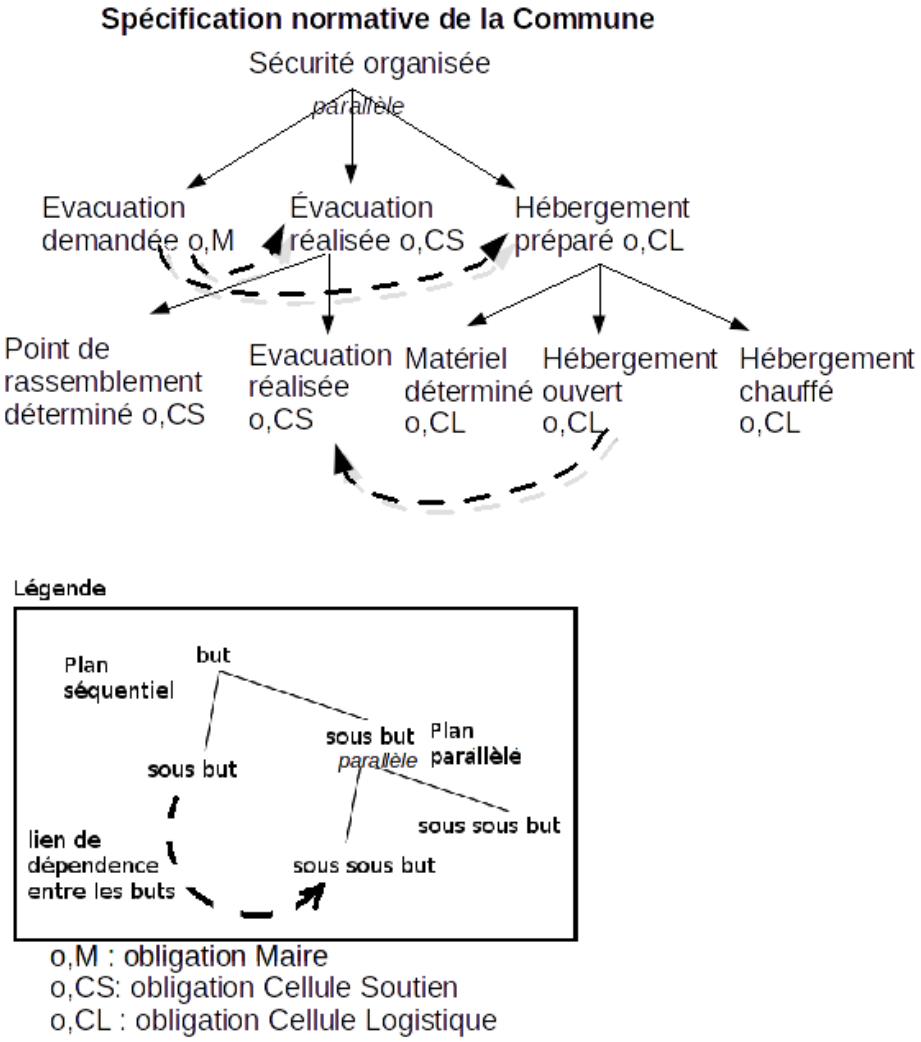


FIGURE 3.11 – Description du plan *Sécurité Organisée* lié à des normes : Le membre terrain de la cellule Soutien doit déterminer le nombre de personne à évacuer, les moyens de transports à réquisitionner et les ressources humaines à mobiliser.
Le membre terrain de la cellule Logistique doit déterminer le matériel à utiliser pour préparer l'hébergement, ouvrir le lieu d'hébergement, et le chauffer.

par les règles comme le PCS). Nous appelons exception le non respects des obligations, permissions et interdictions définies par les méta-règles (comme des règles de non-oubli de zones à évacuer). Nous mettons cela en regard du tableau 1.1 du chapitre 1.

En termes d'implémentation, une violation correspond à :
— la réalisation d'un but interdit dans les spécifications représentant la collaboration telle que prévue par les plans d'intervention (par exemple, le PCS)
— la non-réalisation d'un but obligatoire dans les spécifications représentant la collaboration telle que prévue par les plans d'intervention

En termes d'implémentation, une exception correspond à :
— la réalisation d'un but interdit dans les spécifications représentant le niveau de qualité de la collaboration défini selon des règles de sens commun (par exemple, évacuer toutes les zones à évacuer),
— la non-réalisation d'un but obligatoire dans les spécifications représentant le niveau de qualité de la collaboration défini selon des règles de sens commun (par exemple, évacuer toutes les zones à évacuer),
— le non respect de contraintes ajoutées dans les spécifications représentant la collaboration prévue, comme par exemple le respect de la cardinalité,
— les incohérences entre les plans des spécifications représentant la collaboration prévue (e.g. le PCS) si elles apparaissent quand toutes les obligations, permissions et interdictions de ces plans sont respectés.

En d'autres termes, si la collaboration prévue est suivie –pas de violation– et que des conflits apparaissent –exceptions– (non respect de règles de bonne collaboration, levée d'incohérence dans la collaboration prévue), il faut modifier la manière dont la collaboration est prévue (par exemple, corriger le PCS). S'il y a des violations et des exceptions, il est possible que les choix des utilisateurs soient à corriger (par exemple, le non suivi du PCS n'a pas amené à une bonne collaboration). S'il y a des violations mais pas d'exception, il est possible que les choix des utilisateurs de ne pas suivre les normes soient un choix justifié (par exemple, le fait de ne pas avoir suivi le PCS n'a pas amené à une mauvaise collaboration).

Les Artefacts Traces de Coordination représentent une action de l'activité soutenue réalisée par un acteur Humain. Un agent de Coordination crée un nouvel Artefact Trace à chaque fois qu'une nouvelle séquence tangible est détectée comme *completed*. Chaque trace correspond à une action associée à un ensemble d'attributs organisés en liste (ont le dernier item correspond à l'état courant) et sera lié à une séquence tangible *completed*. Ainsi, si une séquence est modifiée, l'action pourra être modifiée et l'analyse d'un point de vue organisationnel sera relancée. La trace de Coordination est définie par des champs composés de (table 3.1 ligne 5) un identifiant unique *ID* pour identifier la trace, de la séquence tangible *patternID* liée à la trace, des coordonnées *coord*, de l'acteur, de l'action, de la validité selon le PCS (Plan Communal de Sauvegarde), et du diagnostic de cette validité (violation, exception, et causes éventuelles). Du fait de l'interaction indirecte entre Traces et Organisation, un

changement de contexte et d'activité (local, dans les workspace de table) va être répercuté sur l'Organisation (partagée, dans le workspace global). L'analyse de l'activité peut alors être modifiée en temps réel, ce qui aboutira éventuellement en Communication en un changement de retours informés.

Les Connaissances de Coordination correspondent à des informations contextuelles liées à l'interprétation organisationnelle de l'activité. Les Connaissances de Coordination renvoient à l'ensemble des données contextuelles nécessaires pour analyser la validité d'une action. Les Connaissances de Coordination servent à la fois à interpréter les liens entre des éléments d'interaction et leur représentation en terme d'activité soutenue (entre une séquence tangible et une action de gestion de crise) et à la fois à vérifier des règles d'utilisation en donnant un sens à un élément de Production pour une organisation de Coordination (coordonnée sur la carte et lien avec des zones inondables, les bâtiments de plein pied ou avec des étages, le type d'établissement – résidentiel, recevant du public etc). Les Connaissances sont représentées comme des paires clefs/valeurs dans des Artefacts de Connaissances dans l'espace de Coordination, organisées par type (Coordonnées sur la cartes/Zones d'intervention, action tangible/action de Coordination).

Précisons également l'activité des Agents liés à l'initialisation de l'espace de Coordination : le LocalAgent va déployer les Artefacts de Connaissance de Coordination, créer les nouveaux Agents de Coordination à chaque fois qu'un nouvel Agent Humain utilise la table et déployer les organisations de Coordination (notamment dans le GlobalWorkspace déployé par le GlobalAgent).

3.3.2.4 Implémentation de l'Espace de Communication

L'agent de Communication possède des plans pour déployer l'Organisation de Communication, décider des retours informés à partir de l'analyse de l'activité Humaine en espace de Coordination et traiter cette analyse selon l'Organisation locale de Communication. L'Agent crée un nouvel Artefact Trace à chaque fois qu'une nouvelle activité Humaine est analysée par l'Agent de Coordination. Chaque nouveau retour informé est associé à une nouvelle instanciation d'un scheme de l'Organisation de Communication, ainsi une politique de Communication est associée à chaque retour informé.

Il y a un Agent de Communication par Table. En effet, afin de mettre en place l'interaction virtuelle, nous avons fait le choix d'assurer le suivi de chaque table par un agent logiciel Jason. Ce choix permet à chaque table d'être gérée de manière cohérente, en évitant de superposer les retours informés et en limitant la surcharge d'information. De plus, en ne suivant pas les Agents humains individuellement, il est plus aisé de gérer les retours virtuels correspondant à l'activité distante (et en ne déployant pas un agent individuel pour chaque acteur local et distant). En revanche, ce choix ne permet pas facilement de personnaliser les retours à chaque utilisateur, ce qui aurait été permis en attribuant un Agent de Communication par utilisateur. Ce choix n'a pas été retenu, afin de pouvoir gérer l'interaction par table selon la situation "interactive" de la table, et parce que le retour informé contient potentiellement

des informations sur de multiples perspectives organisationnelles, qui ne sont pas individuelles.

L'Organisation de Communication sert de support à la mise en place des retours informés. L'Organisation de Communication contient les politiques pour décider de l'aspect des retours virtuels, de leur affichage et de leur envoi à distance. Une marche à suivre liée à la création de l'interaction virtuelle est décrite dans cette organisation. La mise en place de chaque nouveau retour informé virtuel suit son propre déroulé, ce qui implique le déploiement d'un plan dynamique (appelé scheme) par retour à déployer. Quand une action de Coordination est analysée dans l'espace de Coordination de la table locale, une procédure pour définir ce retour informé commence. Un retour local et des retours distants peuvent être définis. Les retours locaux sont affichés et les retours distants envoyés en créant une nouvelle trace de Communication dans les workspaces distants correspondant aux tables destinataires. Quand une nouvelle trace de Communication est détectée dans un workspace (correspondant à une table), un nouveau scheme de Communication est lancé pour gérer ce retour venant d'une table distante. Chaque Agent de Communication est dédié à la gestion des retours informés sur une table en particulier. La spécification structurelle de Communication contient un rôle unique (agent de table). La spécification fonctionnelle de Communication a pour objectif de décrire les actions pour créer les retours informés locaux et distants, et d'en définir la forme, les coordonnées sur la table d'envoi et la visibilité locale. Ainsi, un retour informé est par défaut invisible sur la table de destination (visibilité== false), ainsi l'agent de Communication de la table de destination peut l'afficher ou non, selon ses propres règles. Les spécifications structurelles sont décrites dans la figure 3.12. La spécification normative de Communication associe les spécifications fonctionnelles et structurelles.

Les Artefacts Traces de Communication représentent un retour informé local pour la validité ou distant pour l'activité en cours. Un agent de Communication crée un nouvel Artefact Trace à chaque fois qu'une nouvelle action de Coordination est analysée, et chaque fois qu'un retour informé est envoyé à distance. Chaque trace correspondant à un retour informé présente un ensemble d'attributs organisés en liste, dont le dernier item correspond à l'état courant, et sera lié à une action de Coordination locale ou à une trace de Communication distante. La trace de Communication est définie par des champs composés de (table 3.1 lignes 6, 7 et 8) un identifiant unique *ID* pour identifier la trace, de l'action de Coordination *actionID* liée à la trace, des coordonnées *coord*, de la table de destination *destin.* du retour informé, du retour informé *feedback*, de la forme du retour informé *forme*, du champ *validité* qui détermine la validité de la mise en place du retour informé selon les spécifications de l'Organisation de Communication, du champs *visibilité* dont la valeur booléenne représente si le retour informé est affiché ou non, et le timeStamp *time*.

Les Connaissances de Communication correspondent à des informations contextuelles liées à la mise en place de l'interaction virtuelle. Les Connaissances de Communication renvoient à l'ensemble des données contextuelles nécessaires pour définir un retour informé. Les Connaissances de Communication servent à la fois à interpréter les liens entre une action de Coordination et sa représentation virtuelle (lien entre une action de Coordination,

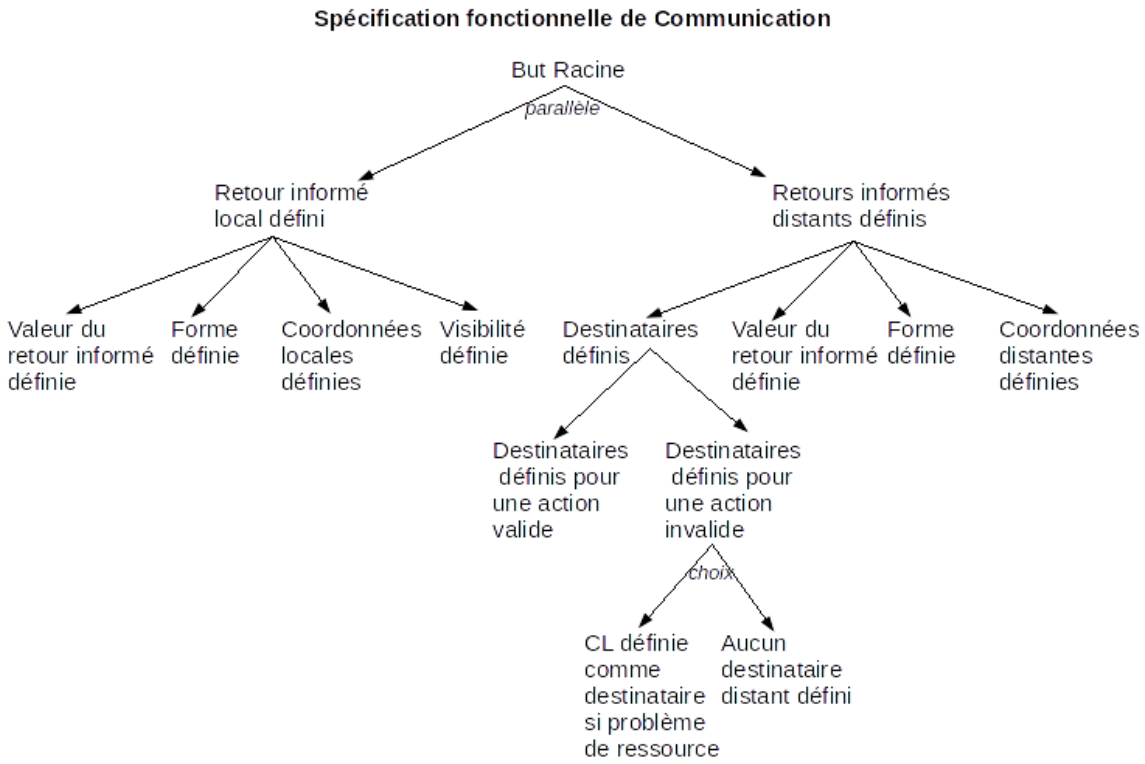


FIGURE 3.12 – Spécification fonctionnelle de Communication, s'organisant selon deux cas de figure. A gauche : créer un feedback local en définissant sa valeur, son aspect d'affichage, ses coordonnées et en le rendant visible. Cela doit être réalisé, selon les normes, par le rôle *Agent de la Table* défini dans les spécifications structurelles (non représentées sur le schéma), c'est à dire par l'agent qui gère l'affichage sur la table. A droite : envoyer un feeback à distance, en définissant les destinataires, les valeurs des feedback et l'aspect d'affichage, selon les coordonnées distantes. En bas : une partie de la spécification précise de faire un retour informé à la cellule logistique en cas de problèmes liés aux ressources.

son analyse et l'image à afficher) et à la fois à vérifier des correspondances d'affichage (lien entre coordonnées cartésiennes d'une table et les coordonnées sur une autre table).

Précisons également l'activité des Agents liés à l'initialisation de l'espace de Communication : le LocalAgent va déployer les Artefacts de Connaissance de Communication, et créer les Agents de Communication à l'initialisation de la table.

3.4 Exemple récapitulatif

Nous illustrons dans les deux sous-sections suivantes l'interaction entre les espaces de l'interaction entrante à l'interaction sortante (sous-section 3.4.1), puis nous continuerons l'exemple en montrant plusieurs étapes entre l'interaction entrante, l'interaction sortante et les normes de Coordination (sous-section 3.4.2).

3.4.1 Exemple d'illustration orienté Machine : de T_{-1} à T_0

Nous illustrons notre architecture dans un exemple en deux parties (ici la description du système, et dans la sous-section suivante l'articulation interaction/activité soutenue), où des utilisateurs Humains s'entrainent pour une gestion de crise d'inondation. Durant l'exercice, la magnitude de l'inondation est déclarée comme décennale, i.e. comme il en arrive tous les dix ans. L'utilisateur jouant le rôle de Maire (acteur) décide d'évacuer la zone concernée. Nous illustrons l'architecture implémentée dans la figure 3.13.

3.4.1.1 Initialisation

Agents. A l'initialisation, plusieurs agents sont lancés :

- **l'Agent GlobalAgent** permet de lancer le serveur sur lequel les autres tables vont pouvoir se connecter. Pour cela :
  - le GlobalAgent crée le Workspace GlobalWS,
  - le serveur est encapsulé dans un Artefact GlobalManagerArt lancé par le GlobalAgent dans ce Workspace,
  - le GlobalWS permettra également de lancer les éléments partagés entre les tables, notamment les Organisations de Coordination.

  Il y a un GlobalAgent par exécution du système.

- **l'Agent LocalAgent** est chargé de lancer toute nouvelle table (par exemple la table PCC pour le Poste de Commandement Communal), et de la connecter au serveur. Pour cela :
  - le LocalAgent créé un LocalTableWS, par exemple le LocalTablePCCWS,
  - puis il y crée les artefacts nécessaires au déroulement de l'application : PageBlanchesArt, le TableManagerArt pour le lien avec le MiddleWare, les Artefacts pour la

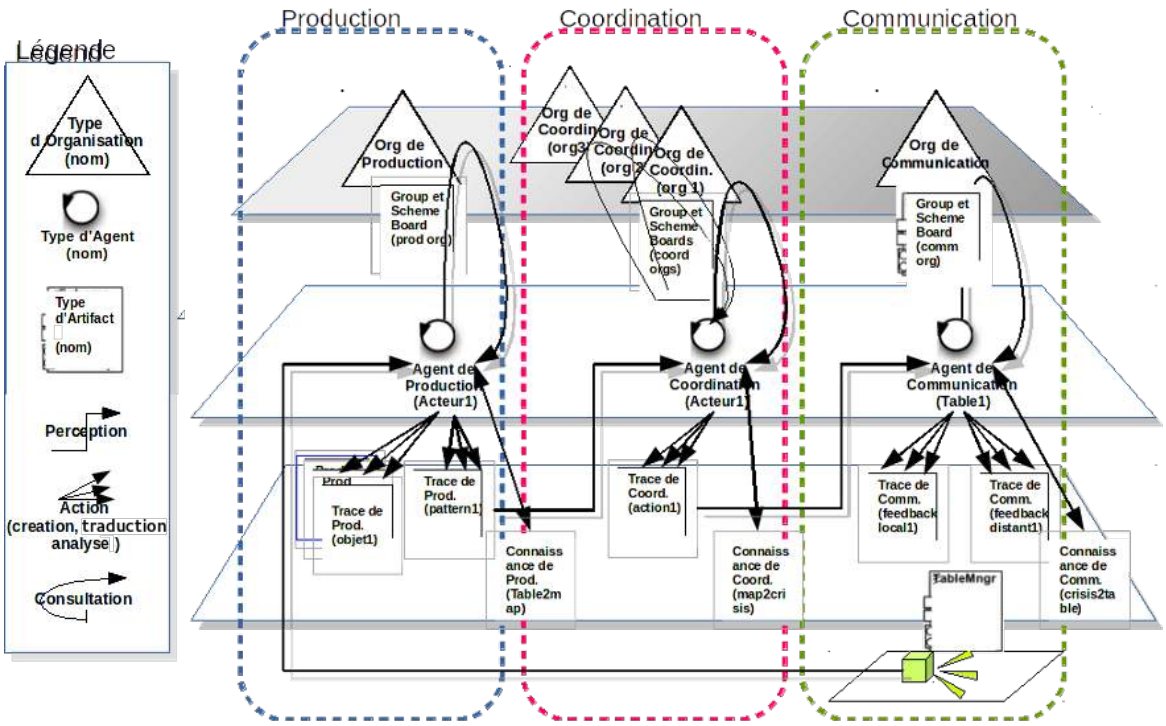


FIGURE 3.13 – Vue générale de l'architecture de l'exemple

gestion de l'interaction tangible,

— ainsi que les artefacts de Connaissances "'TableCoordinates2MapCoordinates" en Production, "MapCoordinates2CrisisManagementZones" et "tangibleAction2coordinationAction" en Coordination, "CrisisManagementZones2TableCoordinates" et "analyse2feedback" en Communication,
— par la suite, le LocalAgent se connecte au serveur en joignant le GlobalManagerWS et en utilisant le GlobalManagerArt,
— finalement, le LocalAgent déploie les Organisations de Production, et de Communication dans le LocalTableWS, et celle (s) de Coordination dans le GlobalWS.

Dans certaines applications, le LocalAgent lance également un Artefact InteractionWindowsArt pour proposer une interface graphique pour le contrôle de certaines fonctionnalités de la table (retours informés, suivi de l'activité, gestion des normes dans l'organisation).

— **l'Agent de Communication** de la table, CommAgent, rejoint le Workspace LocalTableWS, et rejoint l'Organisation de Communication.
— **les Agents de Production** et de **Coordination** sont créés par le LocalAgent quand un nouvel acteur humain se connecte à la table avec un badge.

L'Agent de Production prend le rôle dans l'Organisation de Production qui correspond à l'Acteur qu'il suit et en endosse les obligations et permission via l'Artefact ProdGroupboard et

ProdSchemeboard dans le LocalWS. Nous faisons le postulat qu'un seul acteur intervient dans une séquence tangible.
L'Agent de Coordination prend le rôle dans l'Organisation de Coordination qui correspond à l'Acteur qu'il suit et en endosse les obligations et permissions via les Artefacts CoordGroupboard et CoordSchemeboard dans le GlobalWS qui sont relatifs aux organisations auxquelles appartient l'acteur.

3.4.1.2 Interaction de Production

Durant l'exercice, la magnitude de l'inondation est déclarée comme décennale, i.e. comme il en arrive tous les dix ans. Le Maire (Maire) décide d'évacuer la zone concernée. En suivant le tableau 3.1 :

Données d'entrées : de E_{Tangi} à T_{Tangi}. Le Maire dépose le tangible "Evac" (RFID tag 123E0) sur la table affichant un fond de carte, et ajoute deux tangibles véhicules "véhicules" (RFID tags 456E1 et 456E2). Enfin, le Maire dépose le tangible "completed" pour finaliser la séquence. Les nouvelles Traces liées aux données en entrée sont générées dans l'artefact lié à l'intergiciel T_{Tangi}. L'Agent de Production *Maire* découvre alors la nouvelle trace. La spécification normative de Production associe chaque but fonctionnel à l'agent lié par son rôle quand les buts précédents (les buts précurseurs) sont achevés.

Traduction : de T_{Tangi} à T_{Prod}.

L'Agent de Production *Maire* initialise à la suite les traces de Production 1, 2 et 3 pour le tag 123E0, 456E1 et 456E1 par les valeurs mises en gras dans la table 3.1. L'Agent Production *Maire* enrichit en séquence les traces de Production 1, 2 et 3 avec les valeurs en italique dans la table 3.1 en utilisant les Artefacts de Connaissance de Production "RFIDtag2objetName".

Analyse : dans T_{Prod}.

Finalement, l'objet tangible "completed" est découvert par l'Agent de Production et directement interprété dans O_{Prod} comme le début de l'obligation de "création de la Trace d'une séquence". L'Agent de Production *Maire* initialise la trace de Production 4 avec les valeurs en gras (table 3.1). L'Agent de Production *Maire* enrichit la dernière trace de Production à partir des dernière traces relatives à des objets tangibles (1, 2 and 3) comme étant "completed" lorsque l'objet "completed" est détecté, suite à la consultation de la nouvelle obligation dans les spécifications de O_{Prod}. L'Agent détermine la validité comme étant valide, et l'analyse indique qu'il n'y a rien à signaler par "succès" (table 3.1). L'Agent de Production *Maire* enrichit la trace de Production 4 avec les valeurs en italique dans la table 3.1 en utilisant les Artefacts de Connaissance de Production "TableCoordinates2MapCoordinates". L'Agent de Production *Maire* enrichit la trace de la séquence (4) selon les spécifications dans O_{Prod}, et determine le tangible de référence comme le tangible d'"évacuation" 123E0. L'Agent concatène le nom du tangible avec les ressources, considère la séquence comme étant bonne (le tangible "évacuation" peut être lié à des ressources) et l'analyse est donc "succès" (table 3.1). À ce

point, O_{Prod} définit la séquence comme étant "completed".

Données en sortie : dans T_{Prod}.

La Trace de Production complétée liée au Maire est découverte par l'Agent de Coordination *Maire* depuis l'espace de Coordination. Cet Agent considère cette Trace comme une donnée en entrée.

3.4.1.3 Interaction de Coordination

Le cycle des Agents de Coordination agents est :

Données en entrée : dans T_{Prod}. L'Agent de Coordination *Maire* détecte une nouvelle séquence (Artefact de Trace de Production ID 4). Cette nouvelle séquence amène à créer une nouvelle trace d'activité.

Traduction : de T_{Prod} à T_{Coor}. L'Agent de Coordination *Maire* initialise la Trace de Coordination 5 liée à la Trace de Production de la séquence tangible 4 avec les valeurs en gras dans la table 3.1. L'Agent de Coordination *Maire* enrichit la Trace de Coordination 5 avec les valeurs en italique dans la table 3.1 en utilisant les Artefacts de Connaissance de Coordination "MapCoordinates2CrisisManagementZones" et "tangibleAction2coordinationAction". Les coordonnées [A, 5] correspondent à "zoneInond10" (la zone à évacuer durant une crue décennale), et les données Evac2véhicules associées à "zoneInond10" correspondent à Evac (zoneInond10, 2véhicules).

Analyse : dans T_{Coor}. L'Agent de Coordination *Maire* enrichit la trace 5 dans la table 3.1 selon les spécifications de O_{Coor} . Pour cela, l'Agent essaie de réaliser le but correspondant à l'évacuation de zoneInond10 dans O_{Coor}, qui est la representation du PCS. Cette action est considérée comme valide selon l'Organisation communale, étant donné que le Maire est obligé d'évacuer cette zone dans le PCS. L'Agent de Coordination *Maire* réquisitionne alors deux véhicules, et un seul seulement est disponible. La deuxième réquisition échoue et l'analyse de la collaboration et la validité est mise à jour : succès (plan) fail (véhicule), validité : non-valide. L'Agent de Coordination *Maire* Coordination définit la Trace 5 comme "completed".

Données en sortie : dans T_{Coor}. La Trace de Coordination complétée est découverte par l'Agent de Communication TablePCC depuis l'espace de Communication. Cet Agent considère cette Trace comme une donnée en entrée.

3.4.1.4 Interaction de Communication

Données en entrée : dans T_{Coor} (local). L'Agent de Communication de la table TablePCC détecte une nouvelle action complétée (provenant de l'artefact de la Trace de Coordination 5). Cette nouvelle séquence amène à créer une nouvelle trace de Communication pour mettre en place un nouveau retour informé.

Traduction : de T_{Coor} à T_{Comm} (local et distant). L'Agent de Communication *TablePCC* initialise les Traces de Communication 6, 7 et 8 liées à la trace d'action de Coordination 5 avec les valeurs en gras dans le tableau 3.1, selon les spécifications de Communication de O_{Comm} . L'artefact de Trace de Communication 6 est créé dans le Workspace PCC, et les traces 7 et 8 sont créées dans les Workspaces de la CS et CL. L'Agent de Communication *TablePCC* enrichit les Traces de Communication 6, 7 et 8 avec les valeurs en italique dans la figure 3.1 avec les informations des Artefacts de Connaissances de Communication "CrisisManagementZones2TableCoordinates" et "analyse2feedback" dans le Workspace PCC pour le retour informé local 6, "CrisisManagementZones2TableCoordinates" et "analyse2feedback" dans les Workspaces de la CS et de la CL pour les retours informés distants 7 and 8.

Analyse : dans T_{Comm}.

L'Agent de Communication *TablePCC* enrichit les traces des retours informés selon les spécifications de l'Organisation de Communication du Workspace O_{Comm}. Les retours informés (local) à destination du PCC et (distant) à destination de la CL sont validés. En revanche, le retour informé (distant) pour la CS ne l'est pas. En effet, le retour informé pour les ressources non valides peut être envoyé à la cellule logistique CL qui gère les ressources, mais pas aux autres tables selon O_{Comm}. L'Agent de Communication *TableCL* pourra par la suite considérer le feedback reçu comme important ou non, et l'afficher ou non.

Les activités de retours informés sont contextualisées dans les règles locales et distantes. I.e. dans notre exemple, la table du maire PCC est responsable de l'aspect privé de ces activités. Les tables distantes CL et CS sont responsables de l'affichage sur leur table, même dans le cadre des retours informés distants. Les retours informés sont aussi situés dans l'activité de Production (avec le lien entre les séquences tangibles et le lien avec une activité humaine), de Coordination (à travers le lien entre le retour informé et l'activité humaine), et dans l'activité de Communication (avec la prise en compte de la localisation et du nombre de retours informés affichés sur la table).

Données en sortie : dans T_{Comm} (envoi) et T_{Imagi} (affichage). La Trace de Communication complétée associée est affichée par les Agents de Communication TablePCC et TableCL.

3.4.2 Exemple d'illustration orienté Humain : de T_0 à T_6

Le scénario d'illustration utilisé dans cette sous-section se situe à la suite du scénario précédent : le véhicule manquant est à nouveau disponible, l'évacuation lancée par le Acteur1 est valide et réalisée (norme n1 dans la spécification normative de Coordination). Nous illustrons figure 3.20 comment la conscience partagée mutuelle est construite entre acteurs distants, grâce à des normes *achieved* pour accomplies (c'est à dire réalisées par l'humain), *activated* pour activées (c'est à dire pouvant être réalisées du point de vue normatif de l'organisation, que l'humain "a le droit" de réaliser), et *waiting* pour en attente (normes non activées). Les normes sont référencées dans la figure 3.11.

3.4.2.1 Temps T_0

Interaction tangible (T_{Tangi}) : Le maire demande d'évacuer à l'aide du tangible "Evacuate" avec deux autres tangibles "véhicule".

Analyse de l'activité (O_{Coor}) : La norme n1 (obligation pour le maire de demander l'évacuation) est accomplie. Comme décrit dans la spécification normative Coordination, la norme n21 (déterminer de point de rassemblement) doit être accomplie, suivie par la norme 22 (réaliser l'évacuation) pour accomplir la norme n2 (exécuter l'évacuation). De plus la norme n31 (déterminer le matériel nécessaire) est activée et doit être accomplie, ainsi que la norme 32 (hébergement ouvert) à la suite, pour accomplir la norme n3 (préparer l'hébergement). En outre, n22 ne peut pas être réalisée avant que n32 soit accomplie (comme figurée par une flèche de dépendance). En conséquence, à ce stade, les normes n21 et n31 sont activées, en attente d'être accomplies.

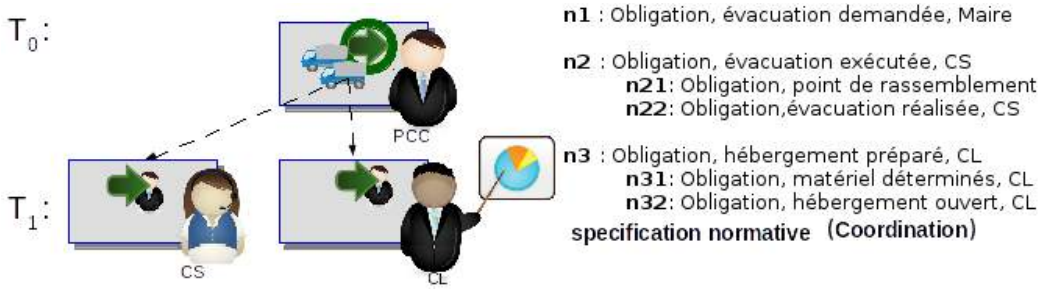


FIGURE 3.14 – Illustration du temps T_0 à T_1 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine. A gauche, l'état des surfaces tangibles : le Maire a posé deux objets *véhicule* et l'objet *évacuation*, cela entraine un retour informé à la CS et à la CL (évacuation demandée par le Maire). A droite, l'état des normes : la norme de Coordination n1 "obligation, évacuation demandée, par le Maire" est accomplie, ce qui active la norme n21 "obligation, point de rassemblement déterminé, CS" et la norme n31 "obligation, matériel déterminé, CL".

3.4.2.2 Temps T_1

Retours virtuels (T_{Imagi}) : L'activité de Maire en T_0 est transmise aux tables CS (Cellule Soutien) et CL (Cellule Logistique).

3.4.2.3 Temps T_2

Interaction tangible (T_{Tangi}) : La CS réalise des actions tangibles pour déterminer deux points de rassemblement.

Analyse de l'activité (O_{Coor}) : Le système analyse cette action (validation en cours).

FIGURE 3.15 – Illustration du temps T_2 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine. A gauche, l'état des surfaces tangibles : la CS dépose deux objets "point de rassemblement" afin de les déterminer, pendant que la CL obtient un retour informé vert après avoir déterminé le matériel avec un objet "un lot de ravitaillement" et "clefs du local". A droite, l'état des normes : l'action de la CL est déjà validé, car la n31 (obligation de déterminer le matériel) est accomplie, tandis que la norme n21 (obligation de determiner les points de rassemblement est en cours pour la CS, et, enfin, la norme n32 est activée alors que la norme n22 attend la validation de la norme n32 pour passer de "en attente" à "activée".

FIGURE 3.16 – Illustration du temps T_3 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine. A gauche, l'état des surfaces tangibles : un retour informé valide (le cercle vert) apparait pour la CS sous les objets "points de rassemblement", tandis que la CL n'a pas réalisée de nouvelles actions. A droite, l'état des normes : la norme n21 "obligation, point de rassemblement déterminé, CS" est finalement validée par le système.

Interaction tangible (T_{Tangi}), analyse de l'activité (O_{Coor}), retours virtuels (T_{Imagi}) : En parallèle, la CL réalise des actions tangibles pour déterminer le matériel nécessaire à la préparation de l'hébergement. Cette action est déjà validée par le système comme indiqué par le retour virtuel (cercle vert).

Analyse de l'activité (O_{Coor}) : La norme n31 (déterminer le matériel nécessaire) est accomplie et validée, et n'est donc plus activée. La validation de n31 rend n32 (ouvrir l'hébergement) active.

3.4.2.4 Temps T_3

Analyse de l'activité (O_{Coor}) : La norme n21 est validée, et n'est donc plus active, et un retour informé positif est affiché sur la table CS. A ce stade, n22 n'est pas activée tant que n32 (hébergement ouvert) n'est pas accomplie. En effet, la population ne peut pas être évacuée s'il n'y a pas de lieu ouvert pour l'hébergement.

3.4.2.5 Temps T_4

Interaction tangible (T_{Tangi}) : La table tangible de la CS demande la réalisation d'une évacuation grâce à une action tangible.

FIGURE 3.17 – Illustration du temps T_4 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine. A gauche, l'état des surfaces tangibles : la CS a posé le tangible "évacuation", et a obtenu un retour informé invalide (croix rouge) et la notification indiquant que l'hébergement n'est pas ouvert (cadenas), tandis que la CL a retiré les objets de sa table tangible avant d'effectuer une nouvelle séquence ultérieurement. A droite, l'état des normes : la norme n22 "obligation, évacuation réalisée, CS" est déclarée comme invalide par le système, car son précurseur, la norme n32 "obligation, hébergement ouvert, CL" n'est pas encore réalisée.

Analyse de l'activité (O_{Coor}) : Ceci est analysé comme non-valide, car la norme n22 correspondante (réaliser l'évacuation) n'est pas activée, mais "en attente". En effet, n22 a son précurseur qui n'a pas été accompli.

Retours virtuels (T_{Imagi}) : Le retour informé est non-valide avec les informations "hébergement non ouvert" sur la table de CS, représenté par un cadenas.

Interaction tangible (T_{Tangi}) En parallèle, la CL a retiré les objets tangibles utilisés précédemment, et n'a pas commencé de nouvelle action tangible, leur table est donc vide.

3.4.2.6 Temps T_5

FIGURE 3.18 – Illustration du temps T_5 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine. A gauche, l'état des surfaces tangibles : la CL demande l'ouverture de l'hébergement avec le tangible "cadenas ouvert". A droite, l'état des normes : la norme n32 "obligation, hébergement ouvert, CL" est en cours de validation par le système.

Interaction tangible (T_{Tangi}) La table tangible CL indique l'ouverture du logement par une action tangible.

Analyse de l'activité (O_{Coor}) : L'action est en cours d'analyse, et donc n32 attend sa validation.

3.4.2.7 Temps T_6

Analyse de l'activité (O_{Coor}) : N32 est validée, la norme n22 devient activée et l'action de la CS devient valide dès que n32 devient accomplie.

Retours virtuels (T_{Imagi}) : Les évaluations sont affichées : valable pour CL et CS, avec un cadenas ouvert.

FIGURE 3.19 – Illustration du temps T_6 de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine. A gauche, l'état des surfaces tangibles : un retour informé valide apparait sur la table CS et CL. A droite, l'état des normes : la norme n32 "obligation, hébergement ouvert, CL" a été validée par le système, la norme n22 "obligation, évacuation réalisée, CS" est alors validée car son précurseur est accompli, et les normes n2 et n3 sont automatiquement validées car n21 et n22, et n31 et n32 sont accomplies et validées.

Nous voyons dans cet exemple comment les normes de Coordination aident à suivre l'activité humaine de gestion de crise, c'est à dire l'aspect fonctionnel (l'activité soutenue) de l'application.

3.5 Conclusion

Nous avons présenté le modèle OrA, ainsi qu'une architecture de OrA selon le modèle JaCaMo, en structurant le modèle selon les espaces d'activités de Production, de Coordination et de Communication afin d'articuler interaction et activité soutenue. Une action complexe des utilisateurs Humains (Production) est nécessaire pour pouvoir fournir des informations intéressantes en termes de collaboration (Coordination), qui doivent être ensuite analysées puis permettre un retour informé adapté et situé à l'utilisateur (Communication). Cette articulation interaction/activité permet de garantir une intelligibilité en définissant clairement (et de manière modulaire) chaque étape du cycle d'exécution du système. De plus, de la flexibilité est apportée à travers le découplage de chaque étape du cycle d'exécution du système. Enfin, il est possible d'évaluer et de suivre chaque étape indépendamment et de propager ces analyses.

Chaque espace se structure selon des Organisations, des Traces, des Connaissances et des Agents. Cela permet de répondre au besoin de représenter et de gérer les Process (Organisation), les Contextes (Traces) et d'articuler les process et les contextes (Agents et Connaissances). Cette articulation process/contexte permet de garantir une intelligibilité en définissant clairement (et de manière modulaire) les dimensions du contexte , des process et de leur articulation pour chaque étape du cycle d'exécution du système. De plus, de la flexibilité est apportée à travers le découplage des dimensions entrant en jeu à chaque étape du cycle d'exécution du système. Enfin, il est possible d'évaluer et de suivre chaque dimension indépendamment et de propager ces analyses.

Notre approche OrA orientée multi-Agent implémente les Organisations comme des spécifications normatives, les Traces et les Connaissances comme des éléments de l'environnement et les Agents comme des Agents logiciels. L'utilisation d'un SMA normatif permet, à travers les normes et l'environnement d'apporter l'intelligibilité nécessaire, tout en permettant une flexibilité dans les actions réalisées. La consultation des spécifications normatives permet de disposer d'un suivi évaluatif pouvant présenter de multiples points de vue, sans nécessité de cohérence. L'Environnement permet de situer tout élément à manipuler dans son contexte, ce qui favorise la propriété d'intelligibilité. Les formalismes des Agents et des Organisations offrent également des possibilités intéressantes en termes d'intelligibilité, notamment symbolique. L'aspect Organisationnel permet de fournir un espace de référence aux process, potentiellement selon les perspectives d'Organisations différentes. En effet, l'organisation permet de modéliser les normes régulant l'activité de communautés d'Agents. Ainsi, un suivi évaluatif peut être réalisé à toutes les étapes de l'utilisation du système (interaction entrante, analyse de l'activité et mise en place de retours). Une flexibilité est apportée en utilisant les Organisations pour définir les règles de la mise en place de l'interaction et les règles auxquelles répondent en théorie l'activité à soutenir. Enfin, l'Environnement permet de séparer l'objet de l'analyse et son analyse, ce qui augmente la flexibilité du système et les possibilités du suivi évaluatif, en permettant la prise en charge de perspectives différentes, et de situer l'objet de l'analyse dans son contexte.

TABLE 3.1 – Evolution des traces dans les espaces de Production, Coordination et Communication

Champs des Traces de Production

ID	RFIDtag	coord	acteur	action	typeTangible	validité	analyse	complété
	String	String	Human	String	*objet/pattern*	*nc/val/inval*	String	Bool
1	**123E0**	**[1, 2]**	**Maire**	*Evac*	**objet**	valide	succès (objet)	true
2	**456E1**	**[3, 3]**	**Maire**	*véhicule*	**objet**	valide	succès (objet)	true
3	**456E2**	**[3, 2]**	**Maire**	*véhicule*	**objet**	valide	succès (objet)	true
4	123E0	*[A, 5]*	**Maire**	Evac2véhicules	**pattern**	valide	succès (pattern)	true

Champs des Traces de Coordination

ID	patternID	coord	acteur	action	validité	analyse	complété
	String	String[]	Human	String	*nc/val/inval*	String	Bool
5	**4**	*zone Inond10*	**Maire**	*Evac (zone-Inond10,* 2véhicules)	non-valide	succès (plan) fail (véhicule)	true

Champs des Traces de Communication

ID	actionID	coord	destin.	feedback	form/forme	validité	visibilité
	String	String	Table	String	Feedback[]	*nc/val/inval*	Bool
6	**5**	*[1, 2]*	**PCC**	*local (non-valide, véhicule)*	*[redCross.png]*	valide	true
7	**5**	*[3, 5]*	CL	*distant (Evac, PCC, non-valide, véhicule)*	*[evac.png, PCC.png invalvéhicule.png]*	valide	true
8	**5**	*[2, 3]*	CS	*distant (Evac, PCC, non-valide, véhicule)*	*[evac.png, PCC.png invalvéhicule.png]*	non-valide	false

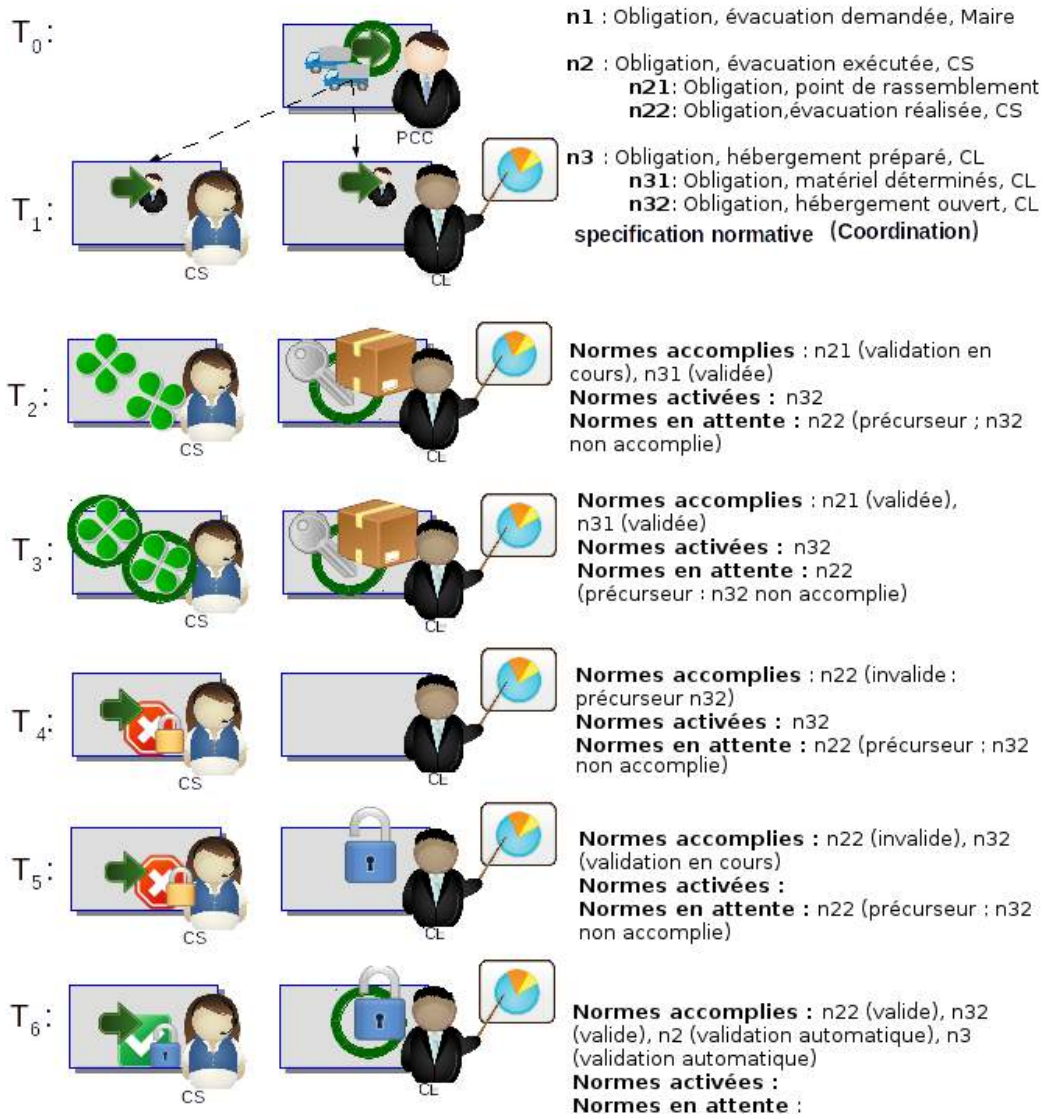


FIGURE 3.20 – Illustration récapitulative de l'utilisation de la table tangible en lien avec l'activité humaine. A gauche, l'état des surfaces tangibles. A droite, l'état des normes.

Chapitre 4

Expérimentation

Sommaire

4.1 Contexte et démarche d'expérimentation 144
4.1.1 Positionnement scientifique 144
4.1.1.1 Rappels des problématiques scientifiques, applicatives et technologiques 145
4.1.1.2 Objectifs de validation 145
4.1.1.3 Posture expérimentale 146
4.1.2 Partenaires 146
4.1.3 Démarche d'expérimentation 148
4.1.3.1 Cycle expérimental 1 : formalisation de process de la gestion de crise 148
4.1.3.2 Cycle expérimental 2 : usage en situation réelle 148
4.1.3.3 Cycle expérimental 3 : potentiel technique 148
4.1.3.4 Mise en regard des expérimentations et des problématiques . . . 150
4.2 Cycle expérimental 1 : formalisation des process de la gestion de crise 153
4.2.1 Explorer 153
4.2.2 Co-construire 154
4.2.2.1 Formalisation avec KMADe 154
4.2.2.2 Formalisation conceptuelle : fonctions et structures de la gestion de crise 156
4.2.3 Évaluer 159
4.3 Cycle expérimental 2 : usage en situation réelle 162
4.3.1 Explorer 163
4.3.2 Co-construire 163
4.3.2.1 Présentation de l'exercice de 2013 163
4.3.2.2 Formalisation du scénario d'exercice de crise. 165
4.3.2.3 Ajustement technique 168
4.3.2.4 Collaboration avec les partenaires 169
4.3.3 Évaluer 170
4.3.3.1 Objectifs 170
4.3.3.2 Déroulement Général 171
4.3.3.3 Système utilisé 172
4.3.3.4 Résultats 174
4.4 Cycle expérimental 3 : potentiel technique 177
4.4.1 Explorer 177
4.4.2 Co-construire 177

4.4.2.1 Construction du cadre global de simulation d'exercice 178
4.4.2.2 Présentation des scénarios retenus 179
4.4.2.3 Formalisation du scénario d'exercice de crise. 180
4.4.2.4 Ajustement technique 184
4.4.3 Evaluer 184
4.4.3.1 Objectifs 184
4.4.3.2 Scenario A : incohérences intra-organisationnelles, cas du partage d'information 187
4.4.3.3 Scenario B : éléments partagés, cas de la gestion des ressources . 190
4.4.3.4 Scenario C : Cohérence inter-organisationnelle 192
4.4.3.5 Scénario D : Partage de contexte organisationnel via les conflits 196
4.4.3.6 Synthèse 197
4.5 Discussion et Perspectives 197

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'utilisation de notre modèle, dans une série de trois cycles expérimentaux utilisant l'implémentation présentée dans le chapitre précédent. Nous présenterons dans la première section notre contexte d'expérimentation, puis dans les suivantes les trois cycles expérimentaux. Le premier cycle expérimental porte sur la phase de formalisation des éléments de gestion de crise. Le deuxième cycle expérimental sur les usages permet de montrer d'une part la faisabilité d'utiliser notre système dans un cas réel, et d'autre part de familiariser le lecteur avec notre système et son cadre applicatif. Le dernier cycle expérimental présente des tests techniques, pour démontrer la capacité du système proposé à pouvoir s'adresser à des problématiques intéressantes dans le cadre d'utilisation.

4.1 Contexte et démarche d'expérimentation

Nous allons dans cette première section rappeler notre positionnement scientifique, nous préciserons les partenariats mis en place puis le cadre matériel et les configurations utilisés pour conduire les expériences. Nous offrirons enfin une vue générale de l'organisation des expérimentations que nous avons réalisées dans le cadre de cette thèse.

4.1.1 Positionnement scientifique

Nous présentons dans cette partie le contexte général de cette thèse, avant de rappeler les problématiques spécifiques au champ scientifique, au cadre applicatif et au cadre technologique. Nous expliciterons par la suite notre positionnement scientifique, de conduite de la recherche et de construction de la connaissance.

4.1.1.1 Rappels des problématiques scientifiques, applicatives et technologiques

Nous nous plaçons dans un cadre d'aide à la collaboration à distance grâce à un soutien évaluatif, entre acteurs appartenant à des organisations humaines différentes. Le soutien évaluatif renvoie à l'évaluation dynamiquement de l'activité collaborative et des process soutenant cette activité. Nous nous appuyons sur la technologie de table tangible TangiSense, dans un entrainement de gestion de crise. Nous souhaitons mettre en place une activité située, pour les utilisateurs et pour le système technique, afin de soutenir une conscience organisationnelle des différents process en jeu (activité soutenue et interaction). Nous avons développé le modèle OrA, décliné dans une perspective multi agent, et implémenté comme décrit dans le précédent chapitre.

Dans le cadre du soutien évaluatif, nous défendons l'idée qu'un système proposant une activité située pour la conscience organisationnelle partagée doit observer des propriétés d'intelligibilité, de suivi évaluatif et de flexibilité. Nous souhaitons démontrer que notre système détient ces fonctionnalités d'une part, et que d'autre part ces propriétés répondent bien aux objectifs définis.

Dans l'objectif de soutenir une conscience organisationnelle partagée, il est nécessaire de pouvoir analyser finement l'activité en cours, en particulier selon une perspective organisationnelle et multi-organisationnelle. Les éléments pertinents dans la mise en lumière de conflits devront être pris en charge par le système. De plus, les incohérences entre organisations et au sein d'une organisation ne doivent pas entraver l'utilisation du système. Les acteurs doivent pouvoir réaliser l'action qu'ils souhaitent à tout moment. De manière générale, toute erreur a une valeur informative importante, que ce soit sur le comportement des acteurs humains ou sur le plan.

L'interaction d'une activité soutenue, laissant les acteurs Humains réaliser leur action indépendamment de l'action prévue, doit soutenir de telles contraintes. Ainsi, l'analyse de l'interaction humaine doit permettre d'interpréter les actions d'interaction non attendues. De même, les retours informés ne peuvent être entièrement définis en avance et le système proposé doit pouvoir le prendre en compte. De plus, l'interaction entre acteurs distants répondant à des règles différentes pose des challenges en termes de politique d'interaction.

4.1.1.2 Objectifs de validation

Nos objectifs de validation sont multiples. Nous voulons à la fois vérifier que les propriétés d'intelligibilité, de flexibilité et de suivi évaluatif répondent bien aux problématiques applicatives et interactives, et que le système OrA permet de les adresser. Ainsi, nous associons à la propriété de flexibilité l'acceptation par le système informatique des incohérences organisationnelles (problématique applicative) et des actions non prévues (problématique interactive). Nous associons à la propriété de suivi évaluatif le suivi local et distant de l'activité organisationnelle (problématique applicative) et interactionnelle (problématique interactive. Nous associons à la propriété d'intelligibilité la représentation et l'analyse de l'activité organisa-

tionnelle (problématique applicative) et la mise en place des retours informés (problématique interactive).

4.1.1.3 Posture expérimentale

Dans le cadre d'une vision socio-technique de notre système, nous nous intéressons à la fois au système et à sa perception par les utilisateurs. Nous nous sommes donc orientés vers le paradigme du constructivisme pragmatique. La posture épistémologique du constructivisme pragmatique se définit par :

— le relativisme comme hypothèse épistémique. Cela implique que la construction de la connaissance scientifique passe par l'observation de l'expérience de l'humain dans le système étudié (auquel l'humain appartient),

— l'absence d'hypothèse ontologique. Cela implique que l'observation du monde est scientifiquement valable aussi bien dans le cadre d'une observation directe qu'à travers la perception qu'en ont les humains.

Ce paradigme, du fait de sa dimension holistique, s'intéresse à et légitime donc tant la situation adressée par la problématique scientifique, que sa perception par les humains impliqués dans cette situation. Nous aborderons alors la question d'un CSCW pour le soutien évaluatif de la gestion de crise supporté par l'interaction tangible en étudiant l'outil lui-même, ainsi que son usage et son acceptabilité par les utilisateurs finaux. (Mandran, 2015)

Afin de structurer les étapes de compréhension et de validation proposées par ce paradigme, nous avons suivi adopté le cadre du Design Science. La conduite de la recherche suivant le Design Science peut se résumer selon trois étapes itératives **"explorer– co-construire– évaluer"** (Mandran, Dupuy-Chessa et Rieu, 2013). Ce cadre définit la conduite de la recherche selon trois étapes itératives (Hevner, 2007). La première, l'itération de **pertinence** (*relevance*) consiste à faire le lien entre l'objet de la recherche dans sa réalité de terrain et sa conception scientifique. La deuxième itération est l'itération de **conception** (*design*), qui consiste à construire itérativement le système, en cohérence avec la réalité du terrain, et jusqu'à l'obtention d'un système ayant un niveau de conception satisfaisant pour l'évaluer dans le cadre de la problématique. La dernière itération est l'itération de **rigueur** (*rigor*), qui consiste à évaluer le système selon les problématiques scientifiques et applicatives retenues.

Cette posture expérimentale garantit la reproductibilité des expériences, mais pas des résultats, car le système dans lequel prennent place les expériences, incluant les humains, peut varier.

4.1.2 Partenaires

Afin de mettre en œuvre les cycles expérimentaux, et de conduire la recherche durant ces cycles, nous avons fortement collaboré avec des partenaires, en particulier avec l'IRMa. L'IRMa (Institut des Risques Majeurs de Grenoble) est une association loi 1901 régionale impliquée en particulier dans l'entrainement à la gestion de crise et dans le conseil des acteurs locaux

au sujet du Plan Communal de Sauvegarde et des exercices d'entrainement depuis 1988. Ses objectifs recouvrent la promotion des actions d'information, de prévention et de sensibilisation aux risques majeurs auprès des populations de Rhône-Alpes, des responsables, décideurs et élus locaux dans le cadre de leurs fonctions, et la mise en place d'une communauté permettant l'échange et le partage d'information et d'expérience.

L'IRMa a également travaillé avec le gouvernement français pour réaliser la nouvelle législation sur l'organisation de la sécurité civile, et a rédigé de nombreux documents officiels à l'usage des acteurs locaux [1].

L'IRMa s'est positionné en tant qu'interlocuteur privilégié et institution ressource tout au long du projet. Cet institut est intervenu à toutes les étapes de cette thèse, que ce soit pour l'acculturation à la gestion de crise, pour fournir des documents, pour organiser des rencontres avec des acteurs de la gestion de crise, pour créer des projets avec des étudiants (stages, projets de fin d'étude), pour répondre à nos interrogations et pour nous proposer les cadres nécessaires à nos expérimentations. Nous détaillerons davantage le rôle de l'IRMa dans chacune des expérimentations menées.

Nous avons également collaboré avec la société RFIDées pour le cadre technologique. La société RFIdées est un interlocuteur de long terme, dont la collaboration date du projet ANR IMAGIT en 2010. RFIdées est un bureau d'étude spécialisé dans la technologie RFID, en combinant prototypage et conception, articulés autour de compétences en conception 3D, en électronique et en mécanique. Cette société a notamment développé la version 1 et 2 du hardware de la table TangiSense.

Notre partenariat avec l'IRMa nous a amené à collaborer à trois reprises avec POLYTECH'Grenoble en encadrant un stage de fin d'étude de six mois et deux projets tutorés (sur deux ans) avec respectivement un, cinq et huit élèves ingénieurs. Nous avons travaillé avec le FabLab fabMSTIC afin de réaliser des tangibles sur mesure grâce à l'impression 3D.

Nous avons également collaboré avec l'ENSOSP (l'Ecole Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-Pompiers) afin de développer une vision de la gestion de crise plus complète. Les communes de La Rochette, de Saint Quentin Falavier et de Villefontaine nous ont particulièrement aidés dans notre démarche, en nous fournissant de la documentation et leurs PCS, en nous laissant participer à des exercices de gestion de crise, en nous accordant des entretiens et en montant des partenariats dans le cadre de notre projet.

Le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) nous a permis d'assister à un congrès sur les risques majeurs et la gestion de

1. L'IRMa a notamment participé à *Plan Communal de Sauvegarde Guide pratique d'élaboration* à l'initiative de la Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles (DDSC), *Le mémento du maire* et sa plaquette *Le maire face aux risques naturels et technologiques*(première édition 2001, 5ième édition 2008) dont le but est de fournir des références en particulier aux Maires et qui sont soutenus par la SMACL ainsi que le ministère de l'intérieur et celui de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, et *Prévenir et gérer les risques naturels au niveau local pour le développement durable des territoires* rédigé en 2008 et soutenu par la région Rhône Alpes afin de sensibiliser les maires et élus municipaux sur les risques naturels et leurs responsabilités en tant qu'équipe municipale.

crise, en accompagnant l'IRMa.

4.1.3 Démarche d'expérimentation

Nous réalisons 3 cycles expérimentaux selon la conduite de recherche dans le cadre du Design Science (**explorer - co-construire - évaluer**), en collaboration avec l'expertise et la collaboration de nos partenaires.

Pour mener nos expérimentations, sauf mention contraire, nous avons utilisé la configuration suivante. Nous utilisons la même architecture que celle décrite dans la section 3.3. Le modèle de l'ordinateur portable est un DELL E5500, disposant de 4Go de RAM, 160 Go de mémoire disque, et d'un processeur Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU T7250 à 2.00GHz. Le système a été programmé, compilé et exécuté avec Eclipse IDE for Java Developers version 4.5.2.20160218-0600, le plugin JaCaMo Jacamoide 1.0.13.201603011158, JaCaMo version O.5, et Java (JRE et JDK) version 1.7.0_95.

4.1.3.1 Cycle expérimental 1 : formalisation de process de la gestion de crise

Le premier cycle expérimental vise à établir une modélisation généraliste et viable d'une situation de gestion de crise, des missions, des procédures et des structures humaines associées. A partir de l'étude documentaire de situations de crise, d'exercices de gestion de crise et de process pour la gestion de crise (PCS, Plan Communal de Sauvegarde) – *explorer 1*–, nous avons proposé une modélisation de la gestion de crise au niveau communal (figure 4.1 à gauche) avec KMADe ainsi que la modélisation d'une structure humaine généraliste – *co-construire 1*. Nous avons vérifié la généricité de ces modélisations en les confrontant à des situations de crise, des exercices (figure 4.6 à droite avec un exercice d'inondation) et des PCS n'ayant pas été utilisés pour la réalisation du modèle –*évaluer 1*.

4.1.3.2 Cycle expérimental 2 : usage en situation réelle

Nous avons vérifié la possibilité d'intégrer le système proposé à un exercice d'entrainement à la gestion de crise. Nous avons dans un premier temps étudié de réels exercices de gestion de crise –*explorer 2*. Nous avons développé, en partenariat avec l'IRMa, un outil informatique pour soutenir un exercice de gestion de crise dans une commune isèroise –*co-construire 2*. Nous avons finalement utilisé le système conçu lors d'un réel exercice (figure 4.2) –*évaluer 2*.

4.1.3.3 Cycle expérimental 3 : potentiel technique

Nous avons finalement testé les capacités techniques du système pour prendre en charge des situations complexes et remarquables de conflits en gestion de crise. Après avoir étudié des retours d'expérience de crise et de gestion de crise –*explorer 3*–, nous avons identifié avec

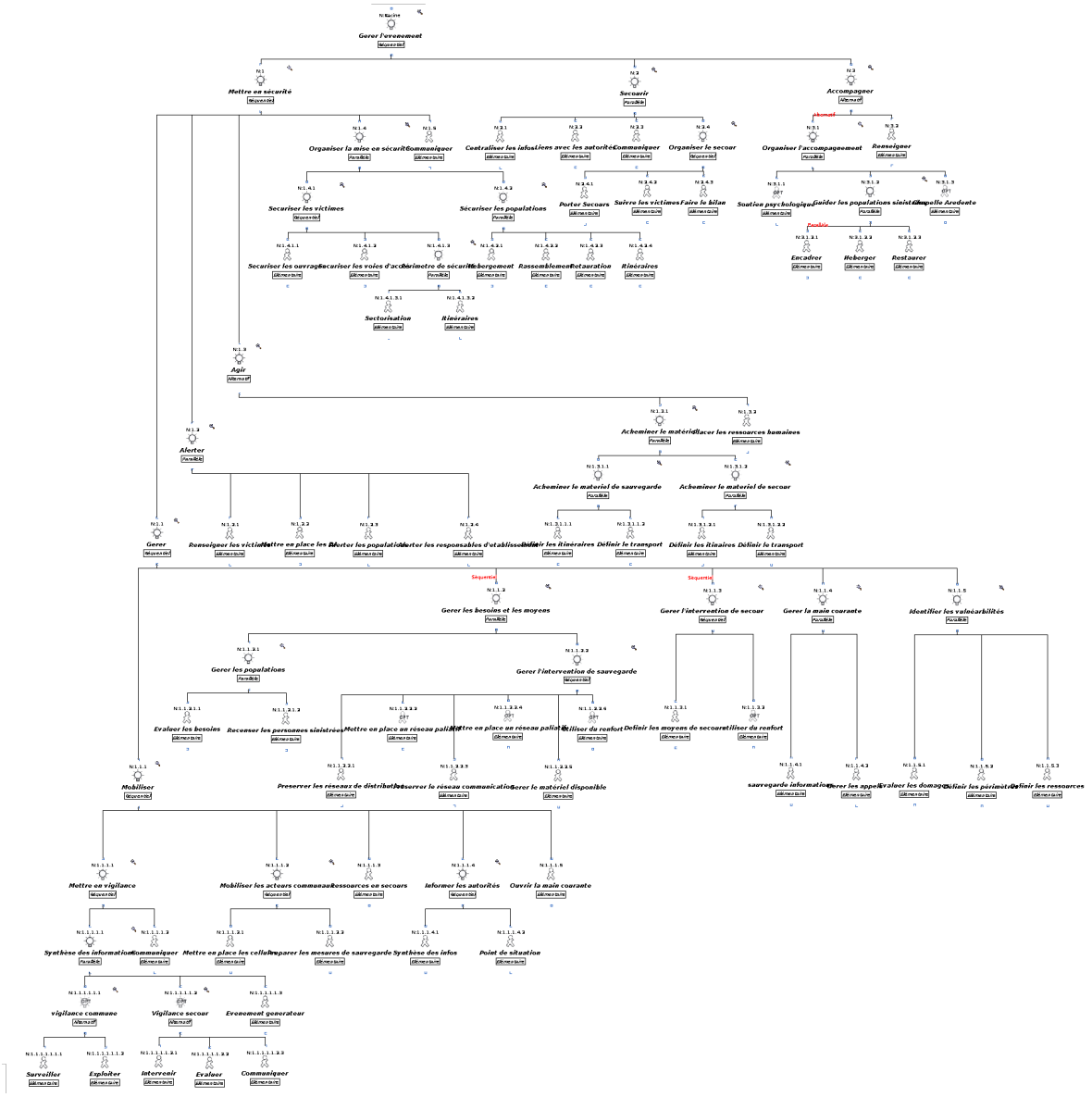


FIGURE 4.1 – Aperçu global de l'arborescence de la formalisation, réalisée à l'aide du logiciel KMADe, d'une réponse de crise, dont la généricité a été confrontée, dans la suite du cycle expérimental 1, avec un exercice de gestion de crise d'inondation. Une lecture de la version électronique permet de zoomer afin d'en étudier le détail. La figure 4.8 reprend le quart supérieur de la figure, où le lecteur pourra étudier le contenu de l'arborescence.

FIGURE 4.2 – Identification des enjeux par l'équipe communale dans un entrainement à la gestion de crise pour un scénario de rupture de digue : à gauche, avec le système proposé sur une table tangible, à droite la même action dans le format papier traditionnel.

nos partenaires métiers quatre situations que le système informatique doit pouvoir analyser et supporter à travers l'interaction –*co-construire 3*. Nous avons enfin testé en simulation notre système sur les cas d'usages identifiés (figure 4.3) – *évaluer 3*.

4.1.3.4 Mise en regard des expérimentations et des problématiques

Nous allons démontrer que notre système répond bien en pratique aux objectifs scientifiques, à travers un ensemble d'objectifs applicatifs et interactifs (tableau 4.1). Pour démontrer la propriété de flexibilité (ligne 2) comme permettant de répondre à la problématique et présente dans le système OrA, nous allons vérifier que le système accepte les incohérences organisationnelles et accepte les actions non prévues à travers un test technique (cycle 3) et avec des utilisateurs (cycle 2). Pour démontrer la propriété de suivi évaluatif (ligne 3) comme permettant de répondre à la problématique et présente dans le système OrA, nous allons vérifier que le système suit le contexte local et distant les actions non prévues à travers un test technique (cycle 3). Pour démontrer la propriété d'intelligibilité (ligne 4) comme permettant de répondre à la problématique et présente dans le système OrA, nous allons vérifier que le système permet d'analyser et de représenter les organisations de crise et permet de déployer des retours informés à travers une formalisation (cycle 1), un test technique (cycle 3) et avec des utilisateurs (cycle 2).

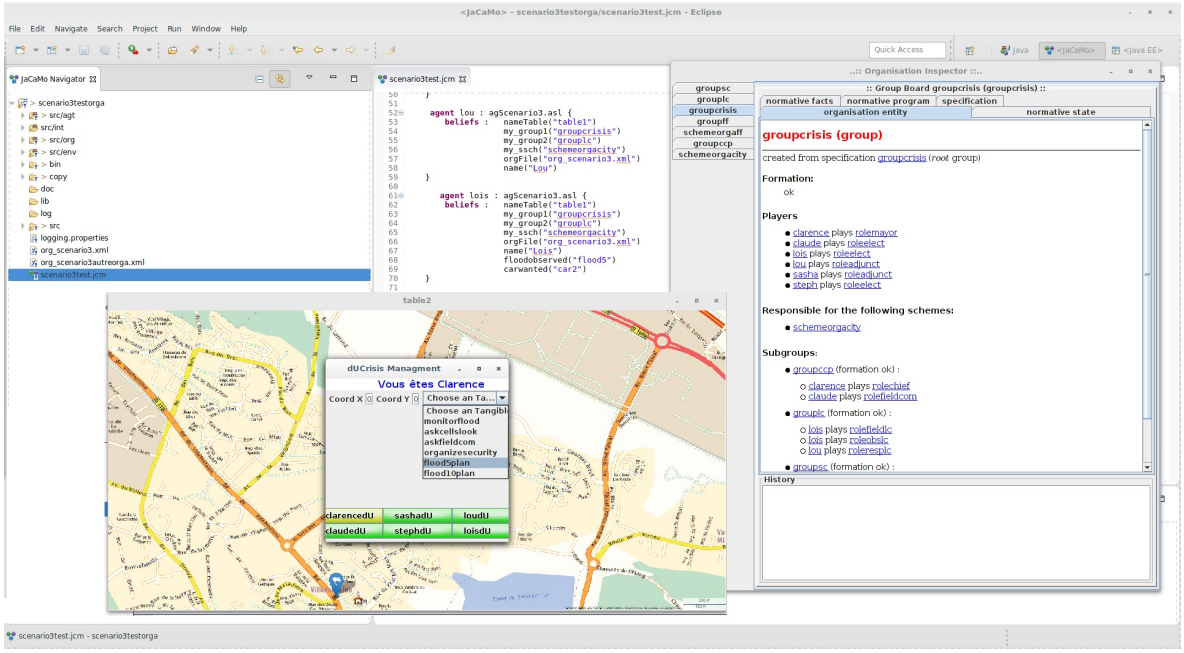


FIGURE 4.3 – Simulation de situation d'exercice de crise par un système multi-agent programmé en JaCaMo. En bas, l'interface permet de simuler la surface de la table avec un fond de carte, et de simuler des humains ("Vous êtes Clarence") qui dépose un tangible (liste déroulée) selon une coordonnée (CoordX et CoordY). A droite, on peut suivre l'organisation et les rôles endossés par les agents de Coordination associés aux utilisateurs ("clarence plays rolemayor" dans le groupe groupcrisis, et "clarence plays rolechief" dans le sous-groupe groupccp). Visible à l'arrière, l'environnement de développement, avec initialisation des agents du SMA et de leurs croyances (l'agent "lois" est sur la table avec le nom "table1", fait partie du groupe "groupcrisis" et grouplc" etc.).

TABLE 4.1 – Lien entre objectifs scientifiques, applicatifs, technologiques et cycles expérimentaux associés. Ainsi, la propriété de flexibilité (ligne 2) sera validé en remplissant l'objectif d' *accepter les incohérences organisationnelles* adressé dans le cycle expérimental 3 en rapport avec le cadre applicatif (ligne 2 colonne 2), et en remplissant l'objectif *accepter les actions non prévues* adressé dans le cycle expérimental 2 en rapport avec le cadre technologique (ligne 2 colonne 3).

Problématiques scientifiques	Objectifs applicatives	Problématiques technologiques
Flexibilité	Accepter les incohérences organisationnelles *Cycle 3 (déroulé de scénarios menant à des incohérences)*	Accepter les actions non prévues *Cycle 2 (utilisation par des utilisateurs novices en situation réelle)*
Suivi évaluatif	Suivi local et distant de l'organisation *Cycle 3 (déroulé de scénarios sur des tables distantes simulées)*	Suivi local et distant de l'interaction *Cycle 3 (déroulé de scénarios sur des tables distantes simulées)*
Intelligibilité	Analyse et représentation de l'activité de crise *Cycle 1 (formalisation de l'activité de crise) et Cycle 3 (déroulé de scénarios avec des situations de crise remarquables)*	Mise en place de retours informés *Cycle 2 (utilisation par des utilisateurs novices en situation réelle) et Cycle 3 (déroulé de scénarios sur des tables simulées)*

4.2 Cycle expérimental 1 : formalisation des process de la gestion de crise

Nous allons décrire dans cette section le premier cycle expérimental. Le but est de formaliser les process de la gestion de crise, afin de pouvoir ultérieurement les implémenter et ainsi vérifier la possibilité de rendre intelligibles ces process, et la puissance de représentation des normes. La phase d'exploration correspond à la prise de connaissance au sujet de la gestion de crise. La co-construction renvoie aux itérations successives ayant permis de produire la formalisation, et l'évaluation correspond à la vérification de la généricité des process produits, et à la compatibilité de cette formalisation avec la modélisation sous forme de normes.

Pour ce cycle expérimental, Cédric Vitale (élève ingénieur en dernière année à POLYTECH'Grenoble) et cinq élèves ingénieurs en projet tutoré, Howard Hendricksen, Loic Vedovati, Marion Boiche, Antoine Girard, et Thomas Lenfant, ont participé.

4.2.1 Explorer

La phase *explorer* du cycle 1 consiste en une acculturation à la gestion de crise. Nous avons réalisé un premier entretien avec le directeur de l'IRMa (Institut des risques majeurs de Grenoble) et avec le directeur de l'entreprise RFIdées, qui industrialise les tables tangibles TangiSense. En se basant sur une présentation du sujet de thèse et sur une démonstration des applications existantes avec la table tangible TangiSense, nous avons défini une utilisation possible de la table. La première utilisation évoquée (une aide à la décision durant la gestion de crise) a rapidement évolué vers un soutien à l'entrainement à la gestion de crise via des exercices.

Nous avons travaillé en collaboration étroite avec l'Institut des Risques Majeurs de Grenoble, afin de comprendre les plans d'interventions de gestion de crise en général, et le Plan Communal de sauvegarde en particulier.

A partir des ressources documentaires et des entretiens avec l'IRMa, nous nous sommes familiarisés avec le cadre général de la gestion de crise. Nous avons en particulier noté les activités de secours et de sauvegarde, ainsi que les niveaux stratégiques et tactiques. Nous avons participé à une soirée de sensibilisation à la gestion de crise des équipes municipales de communes isèroises. Cette soirée visait à être une réunion d'information des maires nouvellement élus réalisée par l'IRMa, organisée par la préfecture de l'Isère sur le thème « Les maires face à la crise » et introduite par Monsieur Ribero, sous-préfet de l'Isère. De plus, nous avons réalisé des entretiens avec des acteurs métiers, tels que des pompiers. Nous pouvons citer François Giannoccaro, directeur de l'IRMa, Alicja Tardy et Monsieur Philippe Beaune pour la présentation de iCrisis, le Lieutenant-Colonel Ratigaud de l'ENSOSP d'Aix en Provence pour la présentation des outils d'entrainement des futurs officiers des sapeurs pompiers (notamment un simulateur 3D) et son savoir sur la prise de décisions (tactique et stratégique). Jean Bernard Klotzbier, du Service de la direction de la sécurité civile de la préfecture de

Savoie, a accepté que notre équipe assiste à un exercice grandeur nature de gestion de crise.

4.2.2 Co-construire

Une fois réalisée une première acculturation, nous avons entrepris une formalisation de l'activité de gestion de crise, et des structures hiérarchiques associées. Nous avons fonctionné selon un cycle itératif de proposition de formalisation et de vérification avec les acteurs métiers.

Afin de réaliser la formalisation, nous nous sommes appuyés sur les connaissances générales développées lors de la phase d'exploration, que nous avons appuyées sur des exercices de rupture de barrage, de transport de matière dangereuse (renversement d'un camion), (fuite dans un pipeline), et d'avalanche.

4.2.2.1 Formalisation avec KMADe

Grâce à KMADe (Sanou et al., 2008), nous avons réalisé une formalisation des attendus dans la gestion de crise. Nous avons ensuite itéré sur ces formalisations, que nous avons fait évoluer ou confirmer lors d'entretiens avec des acteurs de la gestion de crise.

KMADe est un logiciel permettant de réaliser un modèle de tâches d'utilisateurs, c'est à dire l'activité prescrite et les attendus. Cet outil permet de construire un modèle en se reposant sur une sémantique formelle, et de représenter en outre l'ajout d'une interface Homme-Machine (IHM) dans un ensemble de tâches utilisateurs. KMADe est issu de travaux en ergonomie et en recherche sur les IHM. En reposant sur un modèle, KMADe permet de formaliser rigoureusement une activité, permet de dérouler un scénario dynamiquement et favorise l'analyse de l'ajout d'une IHM dans une activité.

La formalisation KMADe permet d'organiser des tâches entre elles, selon une logique de décomposition de tâches mères en sous-tâches filles. Les sous tâches peuvent être organisées en séquence, en parallèle, ou selon une alternative. Ainsi, dans la figure 4.4, la tâche "Surveillance" est décomposable en *parallèle* par deux tâches filles de vigilance ; sa première tâche fille, la "Vigilance Commune" est décomposable en *séquence*, et toutes ses tâches filles sont des tâches élémentaires (elles ne se décomposent pas).

La figure 4.5 détaille les éléments inclus dans la formalisation d'une tâche, représentés en partie sur la tâche à gauche, et entièrement dans le volet latéral à droite. Chaque tâche a un nom, et peut être associée à une description, une durée, un but, des ressources représentées par des objets, des exécutants (ici, personne ne sécurise les victimes, qui est en pratique un ensemble de sous-tâches, l'exécutant est donc abstrait). Une tâche peut être optionnelle, liée à un rôle ou à un groupe, à des ressources, avoir des pré-conditions etc.

En plus des tâches utilisateurs, KMADe permet de formaliser les différents éléments entrant en jeu dans la description des tâches (les onglets au dessus de la fenêtre de visualisation dans la figure 4.5) : l'arbre des tâches (onglet *Espace Tâches*), les éléments nécessaires à la

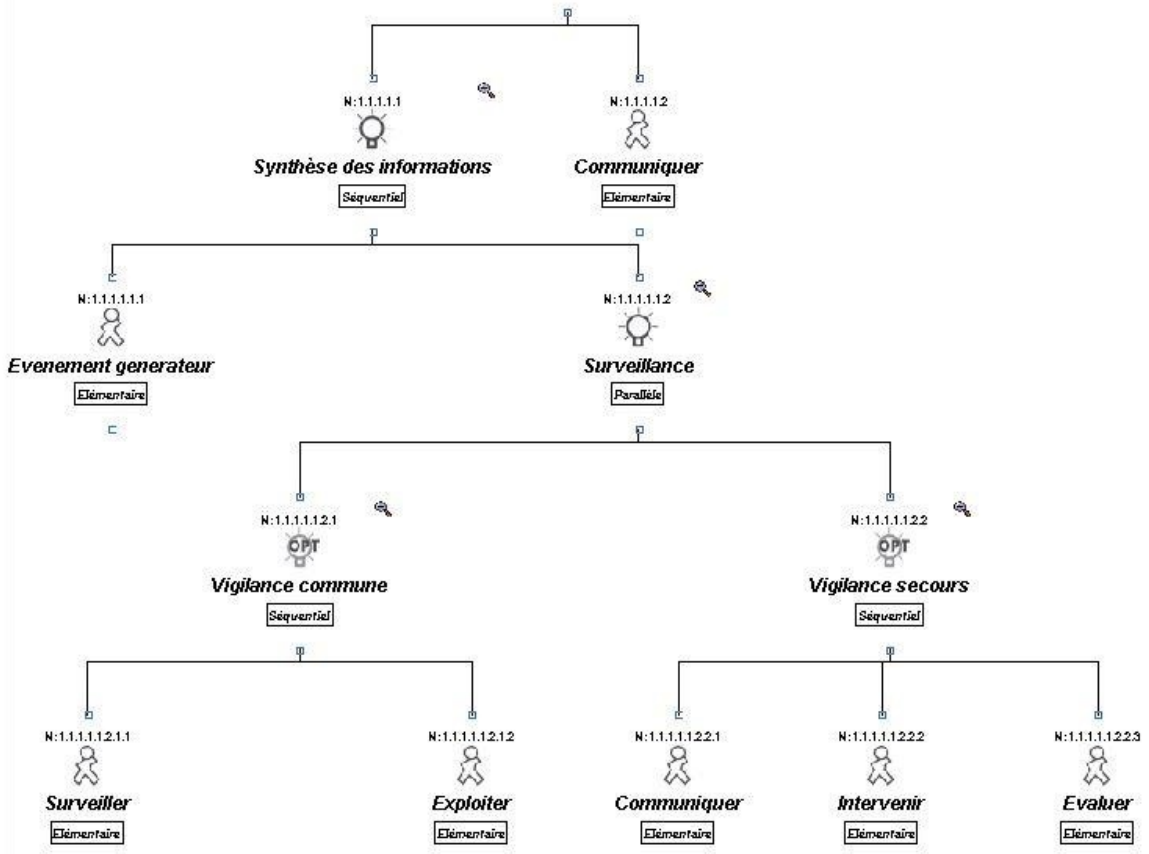


FIGURE 4.4 – Vue d'une organisation de tâches avec le logiciel KMADe

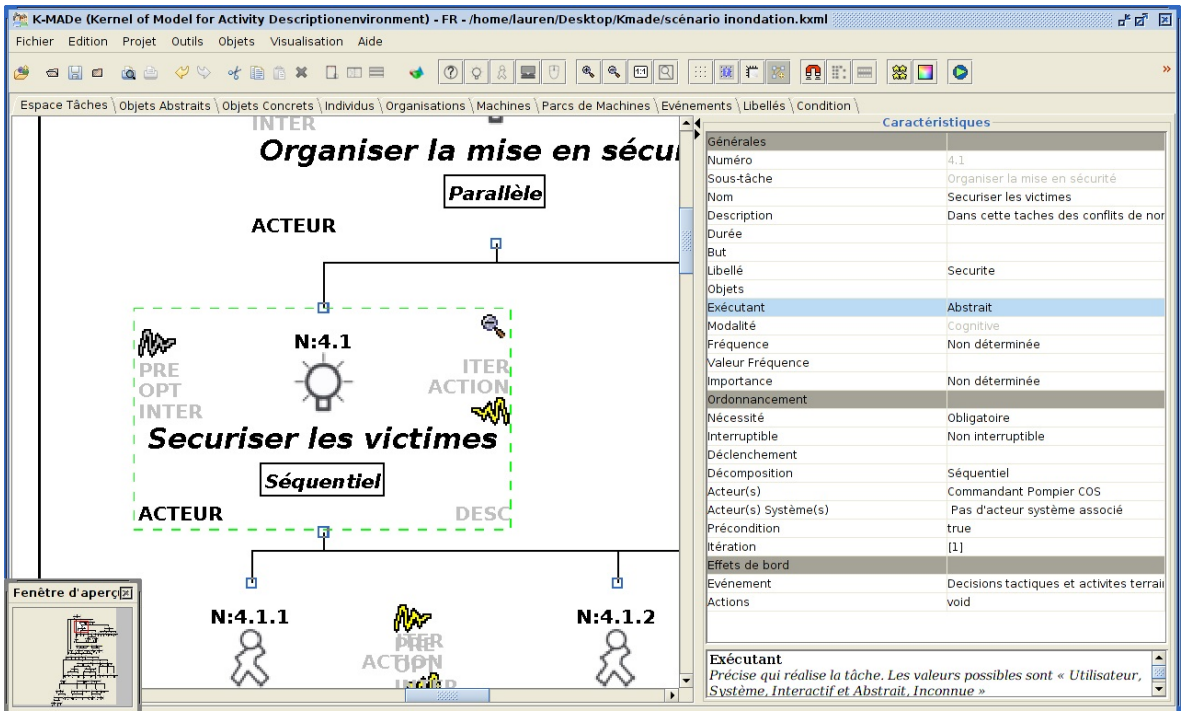


FIGURE 4.5 – Vue du détail de la description d'une tâche avec le logiciel KMADe, représentée à gauche au sein de l'arbre de tâches, et à droite via le volet de définition de ses attributs. Une version plus grande est visible figure 4.8.

réalisation d'une tâche [2], des acteurs (*Individus*) et des groupes d'acteurs (*Organisations*), des équipements interactifs uniques ou regroupés (*Machines* et *Parcs de Machines*, prévus dans KMADe comme étant les éléments à concevoir).

4.2.2.2 Formalisation conceptuelle : fonctions et structures de la gestion de crise

Nous avons identifié dix fonctions régulatrices en gestion de crise, qui permettent de répondre aux missions définies dans le dispositif ORSEC, depuis une suspicion de crise jusqu'à l'ajustement (retour à la normale) :

— Fonction 1 « **Mettre en Vigilance** » : **exploitation des cartes de vigilance, des renseignements et des seuils de vigilance.** Mise en veille sur l'évènement, jusqu'au dépassement des seuils de vigilance.

— Fonction 2 « **Mobiliser** » : **armement des cellules de crise, mobilisation des responsables d'établissements et de la population.** Armement des postes de commandement, dès le dépassement des seuils de vigilance, jusqu'à l'armement effectif en structure (mise en place des cellules et des équipes de crise) et en moyens (installations,

2. *Objets Abstraits* associés génériquement à une tâche telle que le concept de téléphone et de mission, et *Objets Concrets* instanciés lors de l'interrogation dynamique du modèle tel qu'un objet précis comme le téléphone du maire, ou telle que la participation à une conférence donnée

uniformes, ressources).

— Fonction 3 « **Gérer** » **: recensement des sinistrés, suivi des populations, sauvegarde des informations.** Préparation aux interventions (identification des vulnérabilités, définition des actions à mettre en place) itérativement durant tout la crise, dès l'armement des postes de commandement, jusqu'à la fin de l'ajustement [3].

— Fonction 4 « **Alerter** » **: information des acteurs de la gestion de crise, des employés communaux, et des autorités, alerte des responsables d'établissements, de la population.** Une des formes d'intervention, visant à informer les populations et les autorités sur l'évènement et les mesures de sauvegarde, dès l'armement des postes de commandement, jusqu'à la décision de fin.

— Fonction 5 « **Agir**» **: communication entre les cellules, identification du matériel et les moyens lourds disponibles, acheminement du matériel nécessaire.** Réalisation des actions d'intervention et des mesures reposant sur une action de la commune et des intervenants de crise, dès l'armement des postes de commandement, jusqu'à la fin de l'ajustement.

— Fonction 6 « **Mettre en sécurité** » **: organisation de la mise en sécurité, des itinéraires et de l'évacuation.** Réalisation d'actions de sauvegarde, normalement définies dans les process et dans le PCS, dès le début de la fonction 5, jusqu'à la fin de l'ajustement.

— Fonction 7 « **Secourir** » **: renseignements, bilan, mise à l'abri, protection et suivi des victimes, information aux autorités.** Réalisation d'actions de secours, normalement définies dans les process et dans les plans d'intervention des Secours, sous la responsabilité du COS (Commandant des Opérations de Secours, souvent le directeur départemental du SDIS), pouvant être en interaction avec la commune et le DOS (Commandant des Opérations de Secours, souvent le maire et éventuellement le préfet) dès la sortie de la fonction 4, jusqu'à la fin de l'ajustement.

— Fonction 8 « **Accompagner et soutenir** » **: encadrement, hébergement, restauration et soutien psychologique.** Orientation des populations vers les lieux de sauvegarde, dès la sortie de la fonction 6, jusqu'à la fin de l'ajustement lors de la présence des populations dans les lieux de sauvegarde disposant de toutes les ressources vitales.

— Fonction 9 « **Communiquer**» **: communication d'alerte et information, consignes et communication médiatique.** Fonction transverse aux 8 premières, d'échange d'information sur toutes les activités de terrain et les décisions stratégiques générées par les fonctions précédentes, dès le début de la fonction 1, jusqu'à la fin de l'ajustement.

3. Retour à la normale

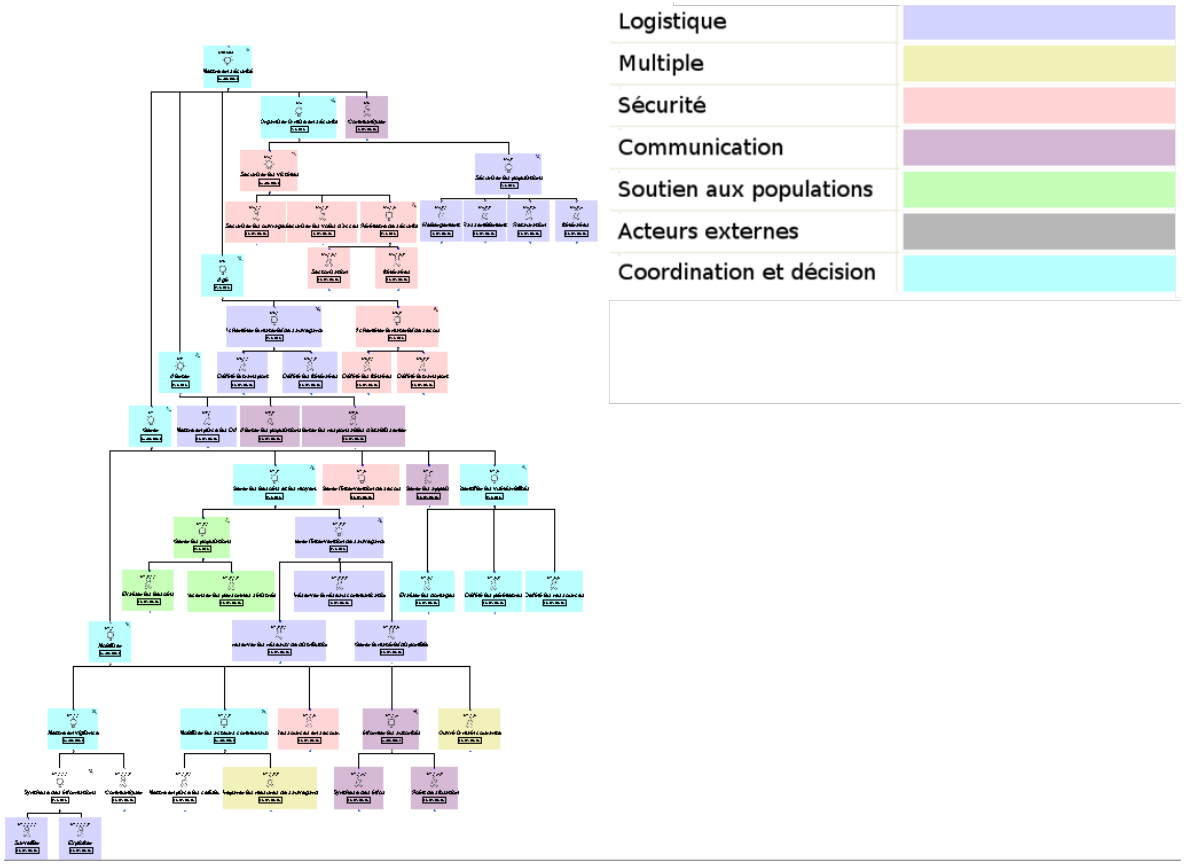


FIGURE 4.6 – Vue générale de l'arborescence d'un scénario d'inondation réalisée avec le logiciel KMADe. Les couleurs associées aux tâches sont liées à des labels, que nous avons fait correspondre à des structures dans la gestion de crise (logistique, secours, commandement etc.). Le lecteur pourra se référer à figure 4.8 pour étudier le contenue de la même arborescence, où plus de détails sont visibles.

— Fonction 10 « **Coordonner et anticiper » : centralisation des informations, préparation des décisions, relais des décisions du maire.** Fonction transverse de prise de décisions stratégiques pour le décideur et de fiabilisation des données terrain pour communication aux populations et aux autorités, dès le début de la fonction 1 (toutes les sorties des fonctions précédentes sont une entrée de cette fonction), jusqu'à la fin de l'ajustement.

Ces fonctions ont été associées à la modélisation KMADe afin de rendre compte de leur distribution entre les tâches et entre les actions, comme représenté dans la figure 4.6. Ces fonctions sont au coeur des objectifs des exercices de crise. Ainsi, la création d'un exercice va viser spécifiquement un certain nombre de fonctions.

En plus de la formalisation des éléments génériques dans un déroulé de gestion de crise, nous avons proposé une structure générique des cellules de crise pour la commune, présentée dans la figure 4.7. Dans l'encadré bleu, les cellules sont liées par un lien hiérarchique : la

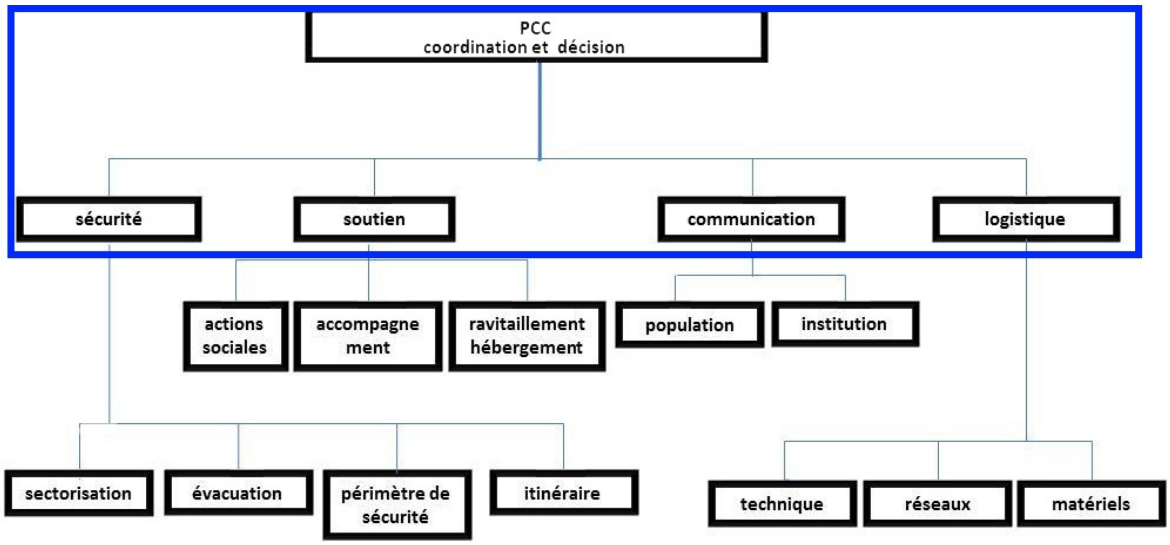


FIGURE 4.7 – Structuration générique des cellules. L'encadré bleu correspond à une structure hiérarchique (le PCC est la cellule la plus haute hiérarchiquement, et elle remplit la fonction transverse de coordination et de décision). Le reste de l'arborescence suit une logique de décomposition, ou chaque cellule peut être découpée en sous-structures, selon la taille de la commune notamment.

cellule PCC constitue un niveau hiérarchiquement plus élevé que les autres cellules. Hors de l'encadré, nous trouvons une logique de décomposition. Les cellules se multiplient avec la taille des communes, et elles peuvent être très spécialisées dans une grande commune.

Nous avons itérativement présenté notre formalisation aux partenaires métiers, et à l'IRMa en particulier, pour valider notre formalisation.

4.2.3 Évaluer

Afin de valider la formalisation finale, nous avons tout d'abord souhaité vérifier la généricité de la modélisation proposée. Nous avons dans un premier temps comparé la formalisation avec des PCS existants et avec des réponses de crises passées que nous avons utilisés pour réaliser cette formalisation, et vérifié que la formalisation proposée était encore adaptée à tous les éléments utilisés pour la produire. Une fois cet aspect vérifié, et pour éviter un biais en ne faisant correspondre la formalisation proposée qu'avec les PCS et exercices ayant servis à sa conception, nous avons dans un second temps associé la formalisation à un exercice et un PCS non utilisés jusque là. Nous sommes partis de la réponse de crise générique formalisée, et avons tenté d'y calquer un PCS d'une commune iséroise et d'un exercice déjà réalisé sur cette commune. Nous avons ainsi pu vérifier que tous les éléments de l'exercice étaient bien présents dans la formalisation.

Plus précisément, nous avons ré-étudié les quatre scénarios d'exercice d'entrainement de gestion de crise déjà utilisés dans la co-construction (rupture de barrage, transport de matière

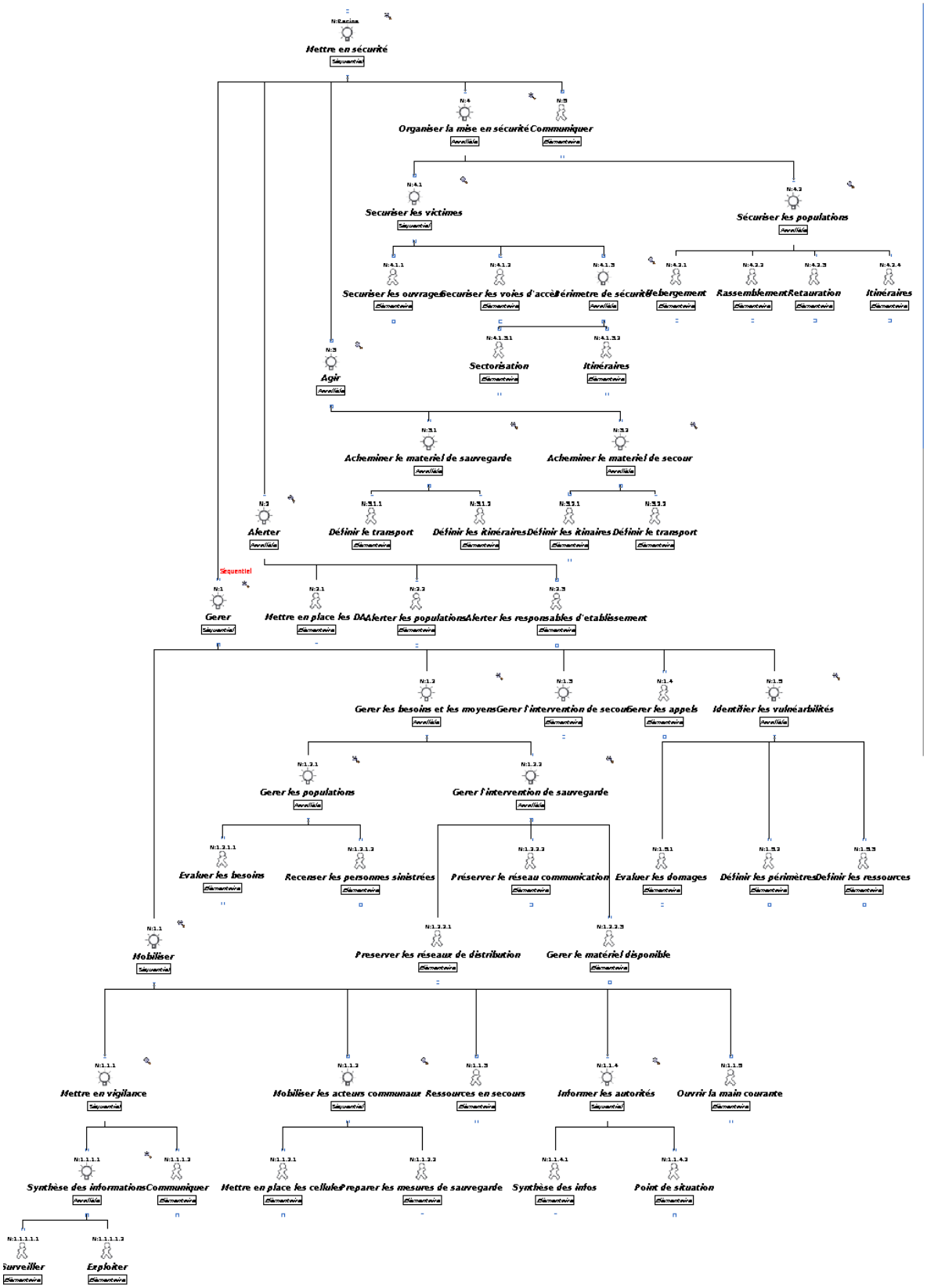


FIGURE 4.8 – Vue d'un scénario d'inondation modélisée avec le logiciel KMADe, à partir du scénario générique.

dangereuse –*renversement d'un camion*–, –*fuite dans un pipeline*–, avalanche). Nous avons réussi à faire correspondre la formalisation à l'ensemble de ces éléments, tant pour les tâches que pour les fonctions étudiées dans les exercices. Le modèle générique de structure des cellules de crise, présenté dans la figure 4.7, a été confronté aux cellules présentes dans les PCS et à celles mobilisées dans les exercices de gestion de crise. Nous avons ainsi vérifié à la fois le déroulement de la crise, mais également l'arborescence proposée pour la formalisation des cellules de crise.

Afin de vérifier l'applicabilité de notre formalisation à de nouveaux scénarios, nous avons tenté d'appliquer un nouvel exercice d'une nouvelle commune et les éléments du PCS testés dans cet exercice dans le modèle générique KMADe (figure 4.8). Nous avons réussi à placer les éléments du PCS testés dans l'arbre des tâches KMADe , et à faire correspondre la structure hiérarchique créée à la structure décrite dans le PCS.

Nous avons par la suite étudié le lien entre la formalisation KMADe et l'implémentation JaCaMo du modèle OrA. À cette fin, nous avons étudié les liens entre les éléments de KMADe et les différentes spécifications organisationnelles (structurelles, fonctionnelles, et normatives) de MOISE.

La spécification structurelle de MOISE organise des rôles en groupe, que l'on peut respectivement faire correspondre à des individus et des organisations en détournant les concepts de KMADe. Cela n'est cependant pas une correspondance conceptuellement correcte, car les individus correspondent dans KMADe à des utilisateurs uniques (ce qui serait plutôt des agents), et c'est leur statut qui renvoie plus strictement au concept de rôle dans MOISE. Dans MOISE, un rôle va être défini par son identifiant, et ses relations avec d'autres rôles. Ces relations sont des relations de compatibilité, d'autorité, d'accointance et de communication. Dans KMADe, un individu va être défini par son nom, et ses relations avec des organisations. Ces relations peuvent représenter des relations de compatibilité. Les relations d'autorité, d'accointance et de communication ne sont pas initialement prises en charge dans KMADe, mais peuvent être indirectement instanciées dans l'arbre des tâches.

Dans MOISE, un groupe est un ensemble de rôles. Dans KMADe, une organisation est un ensemble d'individus. Dans MOISE, un groupe est considéré comme bien formé quand toutes les contraintes associées à la cardinalité des rôles ayant rejoint le groupe sont respectées. Dans KMADe, les contraintes associées à la formation d'une organisation ne sont pas définies par défaut, mais elles peuvent être en partie testées grâce à un langage logique. MOISE permet une logique d'héritage dans la définition des groupes et des liens entre rôles, groupes et organisations complexes qui n'existent pas dans KMADe. Dans KMADe, la notion d'héritage peut être néanmoins être instanciée en associant un individu à deux organisations, et en ajoutant des contraintes logiques.

Dans MOISE, la spécification fonctionnelle décompose un but racine en sous-buts. Dans KMADe, l'arbre des tâches décompose une tâche racine en sous tâches filles. Dans MOISE, les sous-buts sont organisés selon un plan en séquence, en parallèle ou au choix, afin que le but-père soit réalisé. Dans KMADe, les tâches filles sont organisées selon une décomposition en séquence, en parallèle, alternative, pas d'ordre ou inconnue afin que la tâche mère soit

réalisée. Dans MOISE, un plan "racine" est lié à un but "racine", et ils représentent le but et le plan général. Dans KMADe, une décomposition "racine" est liée à une tâche "racine", et elles représentent la tâche et la décomposition générale. Dans MOISE, certains buts sont liés à une même activité transversale par des missions. Dans KMADe, certaines tâches sont liées à une même activité transversale par des libellés ou par des conditions de déclenchement dépendantes de la réalisation de tâches transverses.

Dans MOISE, la spécification normative spécifie les normes, qui lient un contexte à l'activation d'un opérateur déontique (obligation, permission, interdiction) à propos d'une mission à un rôle dans un groupe ; cette activation dépend d'un évènement déclencheur. Dans KMADe, les tâches lient un contexte d'activité à l'activation à l'obligation (activation d'une tâche), à la permission (tâche optionnelle), et à l'interdiction (tâche non définie pour un individu) à propos d'une tâche transverse à un individu dans une organisation ; cette activation dépend d'un évènement déclencheur.

Ainsi, l'utilisation d'une modélisation KMADe est intéressante pour définir des spécifications MOISE. Cela permet de faire une étape intermédiaire dans la spécification de normes, où l'activité de crise peut être formalisée sous forme de tâches, plus proche d'un scénario narré, avant d'être décrit sous forme de spécifications organisationnelles, plus modulaires. En résumé, l'avantage d'une première formalisation KMADe, avant de réaliser une formalisation avec MOISE, est de permettre de décrire l'articulation des tâches, selon une structure quasiment narrative, en définissant pour chaque tâche (dans les autres onglets KMADe), les acteurs, groupes d'acteurs, les ressources etc. Cela aboutit à une représentation multi-dimensionnelle et modulaire, réalisable par des personnes non-experte en formalisation de l'activité, et proche des spécifications fonctionnelles et structurelles de MOISE.

4.3 Cycle expérimental 2 : usage en situation réelle

Nous présentons dans cette section une expérience visant à tester l'intégration de notre système dans un vrai exercice sur table de gestion de crise. Nous avons intégré notre système dans un exercice de gestion de crise conduit par l'IRMa dans la commune isèroise de Villefontaine.

Nous présenterons dans un premier temps la phase exploratoire associée au développement de connaissances liées à la conduite d'exercice de crise, puis la phase de co-construction d'un exercice et comment nous avons intégré notre système à un exercice de crise, avant d'évaluer notre système en situation réelle et de commenter les résultats dans la discussion.

Pour ce cycle expérimental, Cédric Vital et huit autres élèves ingénieurs de POLYTECH'Grenoble en projet tutoré ont participé : Laétitia Andrianjafindrasata, Thibaut Breval, Emmanuelle Hivert, François Kassel, Antoine Michard, Robin Naczaj, Justine Segond , et Juliette Sontag.

4.3.1 Explorer

Nous avons dans un premier temps réalisé une phase d'observation d'exercice en gestion de crise, dans deux communes différentes (un exercice grandeur nature, et un exercice de type jeu de rôle papier). Nous avons participé en tant qu'observateurs et participé notamment à la mise en place de l'exercice, à l'animation et au débriefing.

Nous avons par la suite discuté avec l'IRMa de la possibilité d'utilisation de la table tangible dans un exercice, en proposant différents magiciens d'Oz pour vérifier, lors de réunions avec l'IRMa uniquement, notre compréhension d'un exercice de gestion de crise. À l'aide d'un système de défilement d'écran avec une souris, nous pouvions changer le fond de carte, au moment où nous posions des objets à la surface de la table. Nous simulions des joueurs, et l'IRMa faisait des remarques sur les éléments intéressants à modifier ou à ajouter. A titre d'exemple, nous avons appris la nécessité d'évacuer les maisons de plein pied en premier lieu en cas d'inondation, et donc la nécessité de disposer de cette information (pour l'animateur) via notre outil.

4.3.2 Co-construire

Nous avons ensuite défini avec l'IRMa les collectivités locales susceptibles d'accepter de collaborer sur ce projet de recherche, d'une part en fournissant les ressources documentaires nécessaires à la conception d'un scénario d'exercice, et d'autre part en utilisant notre système avec une table tangible lors d'un véritable exercice. L'IRMa a proposé à la commune de Villefontaine, par l'intermédiaire de l'agent communal chargé du PCS, de collaborer sur ce projet durant la formation de la nouvelle équipe communale (suite aux élection municipales). La base scénaristique retenue a été le scénario d'inondation déjà joué en 2013, portant sur une suspicion de rupture de digue.

Nous avons co-construit avec l'IRMa et la commune de Villefontaine un scénario d'exercice de crise. Nous avons dans un premier temps formalisé l'exercice de 2013 avec KMADe. Cette trame de scénario d'exercice a ensuite été enrichie de nouveaux éléments scénaristiques. Nous avons par la suite intégré le format particulier d'un exercice soutenu par un système informatique et nécessitant la tangibilisation de certaines actions. Après la phase de formalisation, nous avons développé le prototype de l'application pour l'utiliser durant l'exercice avec la commune de Villefontaine. Nous avons réalisé un ensemble de tests afin de garantir une utilisation durant l'exercice.

4.3.2.1 Présentation de l'exercice de 2013

Le déroulé du scénario d'exercice à la gestion de crise est prévu par une fiche reprenant les éléments chronologiquement avec les intervenants et les éléments à évaluer sous la forme présentée dans la figure 4.9.

Déroulement chronologique des évènements

Heure	Animation		Diffusion de l'information		Résultats attendus
	Action	Cf. fiche	Emetteur	Destinataire	
	Début de l'exercice **Mise en vigilance de la CAPI** : fragilisation d'ouvrage hydraulique possible	FICHE N°1	*CAPI*	Standard	Réflexion sur la nécessité d'activer ou non le PCS (Alerte du maire) - DOS sur le terrain ? (Activation du PCS - quelles modalités (tout ou partie) ?) Mise en place du PCC et renseignements de l'organigramme nominatif de crise vierge affiché en salle de PCC Mise en place main courante Approche de la stratégie opératoire Utilisation de la cartographie Définition des messages à la population et autres (parents d'élèves, ERP, médias) dont informations zones collatérales Transmission au standard mairie des infos Information préfecture et SDIS armement PCC en mairie
	Pré-alerte de la préfecture : préparation à une possible évolution défavorable de la situation	FICHE N°2	*Préfecture / SIDPC*	PCC	Activation du PCC, mise en vigilance d'élus et employés communaux, mobilisation des personnes ressources Identification des enjeux exposés (données qualitatives et quantitatives) :
	Appel de la préfecture :	FICHE	*COD : directeur de*	PCC	

FIGURE 4.9 – Document support à l'animateur de l'exercice, qui définit les événements chronologiquement (à gauche) ainsi que les résultats attendus (à droite)

Le cadre de l'exercice a été défini comme suit. Il est considéré que les semaines précédant l'évènement ont été particulièrement pluvieuses, avec des hauteurs de précipitations supérieures aux normales saisonnières. L'étang est considéré comme plein au moment où se tient l'exercice sur table. L'inondation consécutive à la rupture de la digue correspond au scénario de crue centennale du ruisseau de l'Aillat tel que décrit dans le rapport de présentation du Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) de la Bourbre moyenne approuvé le 30 octobre 2007. Les enjeux identifiés dans le cadre de la préparation de l'exercice correspondent aux enjeux actuellement présents sur les terrains estimés inondables. Le nombre de personnes dont il faut se préoccuper correspond au nombre de personnes qui vivent dans les espaces identifiés comme enjeux (au domicile, dans les entreprises et dans les ERP [4]).

Il est considéré dans le cadre de l'exercice que la gestion de la digue de l'étang de Saint-Bonnet constitue une compétence intercommunale et relève donc de la Communauté d'Agglomération Porte de l'Isère.

Étant donné l'ampleur de l'évènement (deux communes et l'autoroute impactées), il est considéré que la direction des opérations de secours est assurée par le préfet, représenté par son directeur de cabinet (animation IRMa). Celui-ci sera en contact régulier avec la commune tout au long au cours de l'exercice pour lui fournir des directives et orienter les actions entreprises par la municipalité.

Remarques : la gestion des opérations liées à l'autoroute (fermeture d'accès à la bretelle d'autoroute, mise en place de déviations, information des usagers, etc.) et le cas échéant liées

4. Établissement Recevant du Public

à la SNCF est assurée par la préfecture, en lien avec l'AREA et la SNCF.

Les objectifs consistent à tester le dispositif de crise communal sur un scénario fictif, à sensibiliser les membres du PCC à la notion de collectif dans l'aide à la prise de décision du DOS, à favoriser l'appropriation du dispositif organisationnel de crise par les personnes « clefs», à favoriser la familiarisation avec les volets documentaires du PCS (dont la cartographie).

Les fonctions testées dans ce scénario sont principalement "Mettre en vigilance", "Mobiliser", "Gérer", "Alerter" et "Communiquer".

4.3.2.2 Formalisation du scénario d'exercice de crise.

En reprenant la formalisation d'un scénario générique de gestion de crise modélisé sous KMADe et de la formalisation d'un scénario d'inondation particulier sous KMADe, des élèves ingénieurs de la filière Hygiène Sécurité Environnement de POLYTECH'Grenoble ont formalisé l'exercice de la commune de Villefontaine de 2013, en l'actualisant pour prendre en compte les modifications du PCS depuis 2013.

La formalisation a été enrichie au cours de la deuxième étape. Les élèves ingénieurs ont proposé des évolutions du scénario, suite à leur acculturation et à la participation à un exercice sur table avec la commune de La Rochette (Savoie). Une fois validées, ces modifications ont été ajoutées à la modélisation KMADe. À la différence d'une formalisation de gestion de crise, celle d'un scénario d'exercice de gestion de crise nécessite d'intégrer les éléments de scénarios dans l'arbre des tâches. En effet, les tâches doivent être "instanciées" dans un contexte où des aléas sont prévus et lancés par l'animateur.

Un autre rôle de l'animateur (et également des observateurs) est d'évaluer l'activité en cours. Pour cela, l'équipe d'animation dispose d'une grille d'évaluation traitant de chaque étape de l'exercice. Ces critères d'évaluation ont donc logiquement été ajoutés à cette formalisation après avoir intégré les éléments de scénario. Ces critères d'évaluation ont nécessité d'utiliser au sein de KMADe des décompositions des tâches alternatives, pour prendre en comptes les différents comportements possibles attendus de la part des joueurs.

Afin de ne pas biaiser cette formalisation, cette étape a été réalisée sans que les étudiants ne soient familiarisés avec la table tangible et le modèle informatique.

À l'étape suivante, les éléments d'interaction ont été considérés. Les actions tangibles, les actions de l'animateur et les retours informés souhaités ont été ajoutés à l'arbre des tâches KMADe (figure 4.10). Cela a été représenté en utilisant les différents types de tâches dans KMADe :

— tâches *Utilisateur*[5], représentées par un personnage stylisé, pour les actions des joueurs durant l'exercice de crise (*cf* l'identification des enjeux en zone inondable sur la figure 4.10)

5. Initialement dans KMADe, les tâches *Utilisateur* correspondent aux tâches concrètes réalisées sans l'aide de l'outil interactif à concevoir

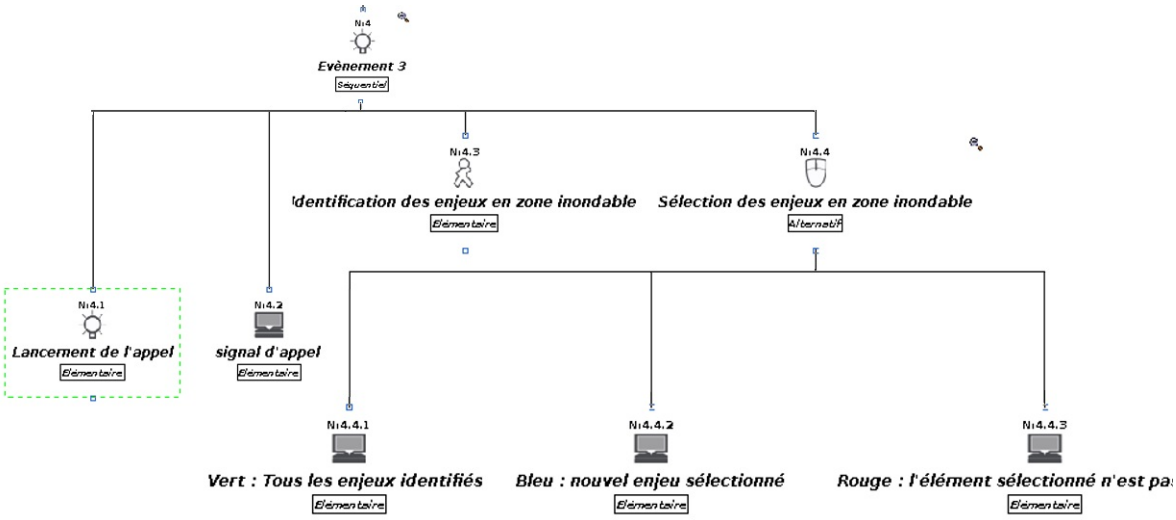


FIGURE 4.10 – Modélisation d'éléments scénaristiques (*Evènement 3*, *Lancement de l'appel*) représentés par des tâches abstraites (figurées par une ampoule), les éléments du PCS (*Identification des enjeux en zone inondable*) représentés par des tâches utilisateur (figurées par un personnage), les actions tangibles (*Sélection des enjeux en zone inondable*) représentées par des tâches interactives (figurées par une souris), et les retours informés (*Vert*, *Bleu*, *Rouge*) représentés par des tâches système (figurées par un ordinateur).

— tâches *Abstrait*[6], représentées par une ampoule, pour l'équipe d'animation (*cf* le lancement de l'appel sur la figure 4.10)
— tâches *Interactif*[7], représentées par une souris d'ordinateur, pour les actions des joueurs qui sont tangiblilisées, et qui devront être prévues dans la conception du système interactif (*cf* la sélection des enjeux en zone inondable sur la figure 4.10)
— tâches *Système*[8]représentées par un ordinateur, pour les retours informés,(*cf*les retours informés verts, bleus ou rouges sur la figure 4.10)

Cette formalisation KMADe a permis de faire le lien entre le PCS, l'évènement réel, les éléments de scénarios, les critères d'évaluation, la tangibilisation et les retours informés.

Parmi les difficultés rencontrées durant cette formalisation définissant précisément le rôle du système, la limite entre activité pédagogique et aide à la décision s'est posée. En effet, le système proposé offre la possibilité technique d'afficher les enjeux touchés par l'inondation sur le fond de carte durant l'exercice. Cette information aide à prendre des décisions pour la gestion de crise, mais cette fonctionnalité ne sera pas disponible durant une vraie situation de crise. Nous avons donc créé des objets *animateur*, en plus des objets *joueur*. L'animateur, selon ses objectifs pédagogiques et pour appuyer son discours, dispose d'objets spéciaux. Dans

6. Initialement dans KMADe, les tâches *Abstrait* correspondent aux tâches qui ne demandent pas de réalisation concrète (une analyse par exemple)
7. Initialement dans KMADe, les tâches *Interactif* correspondent aux tâches concrètes réalisées avec l'aide de l'outil interactif à concevoir
8. Initialement dans KMADe, les tâches *Système* correspondent aux tâches réalisées entièrement par l'outil, sans l'aide de l'utilisateur

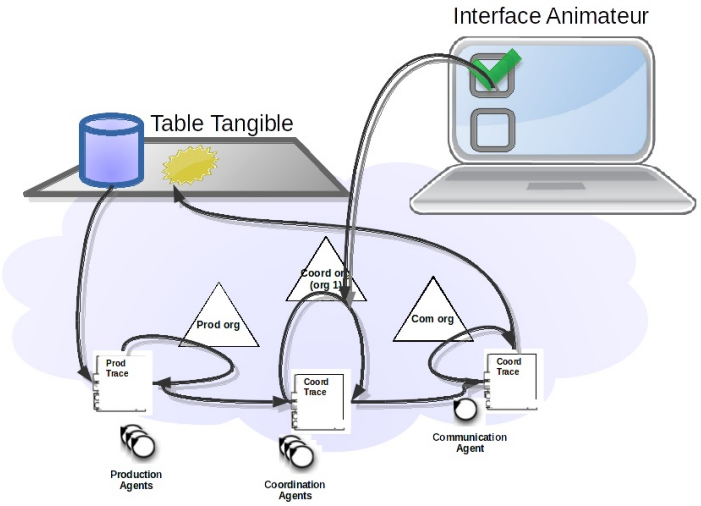


FIGURE 4.11 – Interface Animateur initiale (*cf* la partie Ajustement technique pour la version ultérieure). A gauche, les retours informés sur la table tangible, qui peuvent être influencés par l'interface Animateur, à droite. L'évaluation de l'animateur est prioritaire face à l'analyse du système OrA.

notre cas, un cube permet de sélectionner le fond de carte, et il peut donc choisir d'afficher les zones inondables, les enjeux etc. en plus du fond de carte.

Nous avons alors pu implémenter les spécifications organisationnelles et les mécanismes d'interaction dans le système OrA. Plusieurs éléments de la formalisation KMADe ont été transposés dans les spécifications organisationnelles de coordination MOISE de OrA. Cela inclut les parties du PCS intervenant dans le scénario (par exemple, le processus de gestion d'appel au standard lors d'un appel comme un évènement du scénario), l'évolution contextuelle des normes en fonction de l'état du monde (par exemple, les obligations en fonction de la suspicion d'inondation), le lien entre actions attendues et éléments de scénario (par exemple, les obligations évoluent en fonction du lancement des "appels" tout au long du scénario).

Dans notre formalisation, l'ensemble des actions ne sont pas tangiblilisables. Nous avons donc choisi d'utiliser le tangible pour représenter les actions de gestion de crise (par exemple "envoyer un communiqué", afin que le système puisse suivre l'état courant de l'activité soutenue, tout en laissant le soin de l'évaluation qualitative (par exemple "communiqué bien rédigé et complet") à l'équipe d'animation via une interface. Cette interface est mise à disposition de l'animateur afin qu'il transmette au système informatique son évaluation, figure 4.11.

Si l'action n'est pas tangibilisable, l'animateur doit le valider sur son interface, et cela est intégré à l'organisation MOISE. Ainsi, une bonne rédaction d'un communiqué de presse implique que les consignes de sécurité et un contact en mairie soient donnés. Les sous-buts de "communiqué bien rédigé" sont "consignes de sécurité données" et "contact en mairie donné". Ces sous-buts n'étant pas tangibilisables, l'interface animateur affiche ces sous-buts à cocher pour que l'agent les réalise ensuite dans l'organisation MOISE.

4.3.2.3 Ajustement technique

Liée à des problématiques d'optimisation, l'utilisation du système avec les spécifications (de haut niveau) organisationnelles de Production, de Coordination et de Communication était trop lente pour une utilisation durant un exercice. La réalisation de l'exercice demandait une utilisation sur un ordinateur portable (limitant ainsi la puissance de calcul à disposition), et l'absence de connexion internet sur place ne permettait pas la réalisation des calculs en temps réel sur un serveur distant. Nous avons donc opté pour une simplification des spécifications normatives afin d'assurer l'utilisation en temps réel pour la durée de l'exercice. Pour la tangibilisation, nous avons alors simplifié l'application en utilisant un tangible par sous-but de Coordination, hormis le but "identifierEnjeux". Chaque objet est relié à un but dans l'organisation MOISE. Pour les retours informés, un retour normatif valide renvoie à retour informé vert sous l'objet, un retour normatif invalide renvoie une croix rouge sous l'objet, une action en plusieurs étapes et incomplète renvoie un rond bleu sous l'objet.

Après cette simplification, afin de vérifier le respect des contraintes du temps réel durant toute la durée d'un exercice nous avons testé notre prototype selon deux approches. Dans la première approche, nous avons lancé rapidement l'ensemble des actions (tangibilisées ou *via* l'interface animateur), que cela soit selon l'ordre attendu ou non (erreur normative de coordination ou non). Le système a bien répondu en gardant des temps de réaction (en termes d'interaction et d'analyse) compatibles avec du temps réel.

Dans une deuxième approche, nous avons utilisé le système sur de longues périodes pour vérifier que l'utilisation soit possible matériellement (surchauffe) et logiciellement (temps de réaction) sur des temps compatibles avec l'exercice (d'une durée de trois heures). Durant cette deuxième phase de test du prototype, nous nous sommes aperçus que l'utilisation de l'ensemble des normes de coordination (associées aux tangibles et à l'interface animateur pour un total de 232 buts et sous-buts dans l'organisation normative dont 60 buts servant à gérer les déroulements temporels[9] entre les buts) rendait progressivement le système de plus en plus lent dans l'analyse des normes, à cause de l'accumulation des traces organisationnelles en mémoire (prévues par MOISE). Après une heure et demi d'utilisation, le système n'était plus compatible avec le temps réel (temps de réaction supérieur à 10 secondes) sur un ordinateur portable et sans l'utilisation de serveur. Nous avons donc fait le choix de ne garder dans la spécification organisationnelle que les normes liées aux tangibles (un total de 61 buts et sous-buts dans l'organisation normative dont 22 buts servant à gérer les déroulements temporels entre les buts), et de garder une trace des autres normes via l'interface graphique. En effet, l'interface graphique étant prioritaire sur l'analyse de l'agent, l'état de l'interface graphique représente l'état normatif théorique (figure 4.12).

Afin de garder une note dans les Traces d'exécution et les réutiliser lors du débriefing de l'exercice, les buts "réalisés" (cochés) dans l'interface étaient accomplis par l'agent sous le

9. Pour un but donné, deux groupes de sous-buts peuvent être respectivement réalisés en parallèle pour l'un et en séquence pour l'autre. Dans ce cas, deux buts intermédiaires, ayant des sous-buts organisés respectivement en parallèle et en séquence doivent être rajoutés à la modélisation pour respecter la logique d'enchainement des sous-buts.

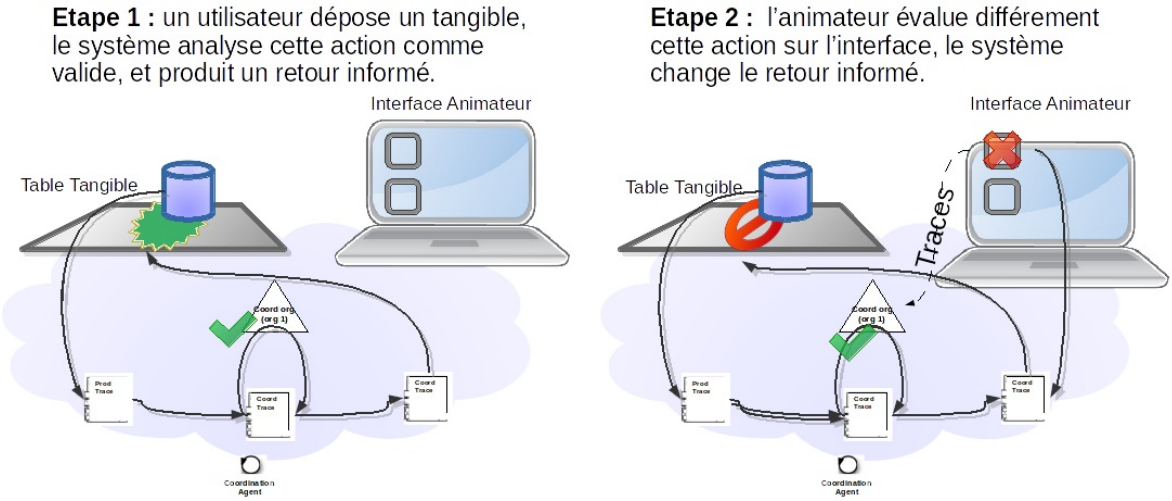


FIGURE 4.12 – Interface Animateur utilisée durant l'exercice. A gauche, l'analyse *valide* du système de l'action de l'utilisateur. A droite, l'animateur modifie cette analyse en évaluant l'action utilisateur comme invalide.

```
failure:   fail(ach_not_committed_goal("scheme1",commencer1bisAnimateur,table_agent))
failure:   fail(ach_not_committed_goal("scheme1",accueilAnimateur,table_agent))
failure:   fail(ach_not_committed_goal("scheme1",informationAnimateur,table_agent))
failure:   fail(ach_not_committed_goal("scheme1",informationAnimateurInvalide,table_agent))
failure:   fail(ach_not_committed_goal("scheme1",commencer2Animateur,table_agent))
```

FIGURE 4.13 – Exemple de traces d'exécution où l'animateur a utilisé son interface. Ces actions sont "exécutées" par l'Agent dans l'Organisation. Cela permet d'en garder une trace, même si ces actions ne renvoient à aucun but dans cette version optimisée (afin d'assurer le temps réel). Pour les distinguer des autres buts achevés par l'Agent, les noms des buts sont concaténés avec "Animateur".

nom du but concaténé avec "Animateur" (e.g. CommuniqueDePresseTransmisAnimateur) et éventuellement avec "Invalide" quand le but était décoché (e.g. CommuniqueDePresseTransmisAnimateurInvalide). Ces buts n'étaient évidemment pas réalisés, mais une Trace d'exécution les fait apparaitre.

4.3.2.4 Collaboration avec les partenaires

La collaboration avec l'IRMa, le projet de recherche et la commune de Villefontaine s'est organisée autour des étapes suivantes :

- d'un accord de principe avec la commune de Villefontaine
- d'une mise à jour du scénario et d'une précision des attendus durant le déroulé selon le PCS et les éléments sociétaux (gestion des réseaux sociaux sur internet, ce qui n'était pas testé lors de l'exercice de 2013)
- présentation du prototype avec l'IRMa, la commune de Villefontaine, et les acteurs du projet de recherche pour valider le format de l'exercice et l'interface utilisée pendant

l'exercice,
— d'une rencontre avec l'IRMa et les chercheurs pour présenter l'avancée du prototype et définir les derniers points de déroulement de l'exercice
— d'une préparation le matin de l'exercice, pour l'installation, la présentation à certains acteurs communaux et la répétition générale.

4.3.3 Évaluer

Nous avons testé notre système en intégrant un prototype sur table tangible à un exercice sur table de gestion de crise dans la commune de Villefontaine animé par l'IRMa, dans le cadre de la formation de la nouvelle équipe municipale à la prise en main et à l'amélioration du PCS. Pour éviter le biais d'un scénario avantageant notre système, nous avons réutilisé un scénario d'exercice d'inondation par rupture de digue joué à la commune de Villefontaine en 2013, trois ans plus tôt. L'exercice joué a pour but de former la nouvelle équipe communale. Aucune modification du scénario n'a été réalisée pour aller dans le sens de l'utilisation du dispositif de la table TangiSense. L'exercice qui s'est déroulé s'intègre à une série de formations, et intervient après une séance de présentation du Plan Communal de Sauvegarde aux élus.

4.3.3.1 Objectifs

Notre objectif à travers cette expérience est de vérifier qu'il est possible d'intégrer le système dans le cas d'application. Nous déclinons cet aspect selon plusieurs sous-objectifs :
— vérifier la possibilité d'intégrer la représentation d'une activité complexe reposant sur des règles et des protocoles dans le système, et donc la pertinence du système normatif pour modéliser les éléments de l'application
— vérifier le potentiel du système à s'intégrer dans l'activité des utilisateurs, qu'il s'agisse de joueurs/acteurs ou d'évaluateurs/animateurs.
— et fournir un retour d'expérience autour de l'apport de l'aspect situé de l'activité , tant pour les joueurs que pour l'animateur.

Nous faisons l'hypothèse que notre système est intégrable à un exercice de gestion de crise. Pour cela, nous déclinons les points suivant en les précisant :
— permettre la modélisation de l'exercice et des éléments à tester. Cela inclut la possibilité pour le système de modéliser (1) les parties des plans d'intervention qui interviennent dans l'exercice, (2) le scénario d'exercice, (3) le lien entre le scénario et la tangibilisation, (4) le lien entre le scénario et la virtualisation des retours informés.
— fournir un retour d'expérience autour de l'utilisation de l'interaction tangible avec une dimension cartographique pour les utilisateurs. Cela inclut que l'activité des joueurs soit (1) située dans une dimension géographique et cartographique, (2) située dans l'objectif pédagogique de l'exercice, (3) située dans le collectif des joueurs présents et (4) que les retours informés soient situés dans le contexte.

Convention d'exercice - cadrage

Ce qui ne sera pas joué :

La **population n'est pas réellement alertée, ni évacuée**.
Les **actions de terrain ne seront pas réellement menées**.
Les appels vers l'extérieur à tous les stades de l'exercice sur table

Ce qui sera joué :

Le traitement circonstancié des appels téléphoniques vidéo-projetés
La mise en œuvre et le fonctionnement du Poste de Commandement Communal
La stratégie opératoire face à l'événement
L'utilisation des outils documentaires du PCS
L'identification des numéros de téléphone pour les appels qui devraient être réellement passés.
La rédaction des communiqués, messages à la population, point de situation à la préfecture a transmettre sur le mail @yahoo.fr)
Le traitement médiatique de l'événement

Ce qui sera joué sur la table tangible qui ne conditionne pas le déroulé de l'exercice :

Les opérations de terrain (mise en œuvre des ressources matérielles)
Certaines phases de la mise en œuvre des opérations
L'utilisation de la cartographie associée au PCS

FIGURE 4.14 – Convention utilisée lors de l'exercice, qui en définit les limites

— fournir un retour d'expérience autour de l'apport du système pour l'animateur. Cela inclut la capacité du système, de manière située dans l'activité en cours, (1) à soutenir l'activité d'animation et de déroulement du scénario, (2) à soutenir l'activité pédagogique, et (3) à soutenir l'activité analytique de l'animateur

Nous allons maintenant présenter notre protocole d'évaluation.

4.3.3.2 Déroulement Général

L'exercice s'est déroulée de manière quasiment normale par rapport à un exercice sur table classique. En effet, pour ne pas gêner la formation et pour ne pas être dépendant du bon fonctionnement du prototype de notre système, la séance a été prévue pour pouvoir être réalisée même sans l'utilisation de notre système ni de la table tangible. Son utilisation était donc proposée en complément, et était non obligatoire. Cela a été précisé dans la convention d'exercice (figure 4.14). Certains acteurs ont été invités à réaliser les actions qu'ils "racontaient" à l'oral sur la table TangiSense.

La convention d'exercice est visible dans la figure 4.14

En amont de l'exercice, la salle a été organisée comme présenté sur la figure 4.15. Durant l'exercice, de manière identique à un exercice classique, le matériel (Classeur et mallettes PCS,

FIGURE 4.15 – Installation durant l'exercice, au centre de la salle du Conseil, avec l'aide de François Giannoccaro de l'IRMa : nous voyons sur la gauche de l'image la table avec les éléments cartographiques classiquement utilisés dans un exercice sur table. Au centre, sur le mur du fond, l'affichage du rétroprojecteur pour guider l'exercice, et à droite de l'image la table TangiSense ainsi que l'ordinateur portable nécessaire pour déployer l'architecture OrA

cartes, chasubles, chevalets, films transparents et feutres) a été disposé sur les différents points de la salle. Cette organisation permet aux équipes des différentes cellules de se répartir dans la salle, ou de se regrouper pour les points de situation, selon une disposition "en fleur". Durant l'exercice, l'animateur déroule les éléments (13 évènements et 12 appels) de scénarios à l'aide d'un vidéo projecteur. La vitesse d'apparition des éléments est laissée à la discrétion de l'animateur.

Nous nous occupions de la manipulation de la table tangible et de l'interface "animateur". Les éléments de cette interface ont été présentés une semaine avant à l'animateur, durant la réunion de préparation de l'exercice, afin qu'il puisse répondre aux questions concernant le remplissage des informations par l'équipe scientifique durant l'exercice. Cette interface a également été imprimée, afin de pouvoir simuler son utilisation en cas de problème technique.

4.3.3.3 Système utilisé

Pour cet exercice, une seule table TangiSense a été utilisée, pour correspondre au format de l'exercice papier. Cela s'explique par la nature de l'exercice, qui visait à "créer un collectif" dans la nouvelle équipe communale, et à permettre à des élus de prendre en main le PCS.

L'architecture du prototype est simplifiée en comparaison à l'implémentation du modèle, il n'y a par exemple qu'un seul workspace, comme décrit dans la partie 4.3.2.3. En particulier,

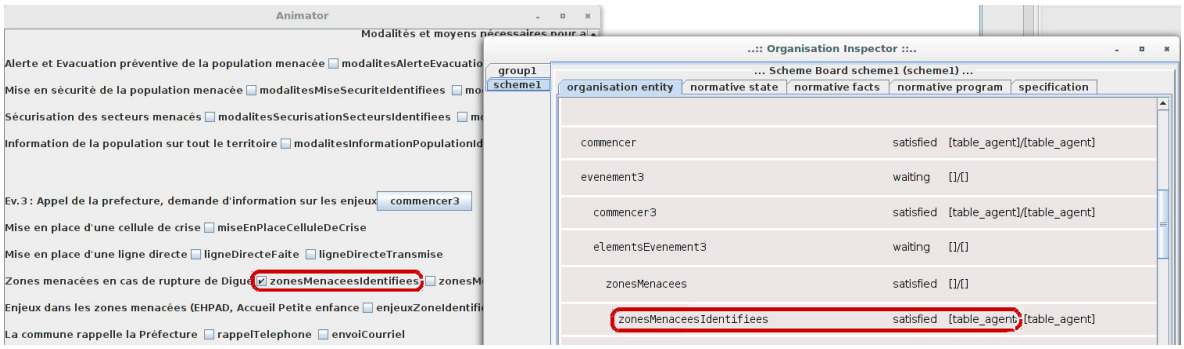


FIGURE 4.16 – Image de l'interface Animateur permettant de contrôler les éléments non tangibilisables et de prendre la main sur le système OrA en cas de besoin. A droite, l'interface animateur, liée aux normes associées à des tangibles.

en ce qui concerne la mise en œuvre des espaces :

— l'espace de production est simplifié en liant un objet à une action de coordination
— l'espace de coordination est simplifié en liant une action de coordination à des valeurs de coordonnées sur la table. Les actions sont néanmoins testées dans la spécification organisationnelle, pour suivre les actions réalisées ou non, et le contexte de réalisation des actions en fonction du scénario.
— l'espace de communication est simplifié en liant un retour informé à une action de coordination seulement selon la validité normative de coordination.

Ainsi, nous obtenons un seul agent qui réalise la gestion des différentes étapes. Cet agent fait le lien entre un objet tangible et le but associé dans l'organisation MOISE. La validité en fonction des coordonnées, définies en amont, est mise à jour et l'action est testée dans l'organisation de coordination, la seule organisation MOISE dans le prototype. Cette organisation est simplifiée en termes de spécification structurelle, qui ne compte qu'un seul rôle. En effet, dans ce prototype nous ne prenons pas en compte l'acteur qui réalise une action (ce qui aurait nécessité la construction de bracelets d'identification avec des puces RFID). Le même agent met à jour la validité normative dans les propriétés observables de l'objet, et le retour informé est mis à jour en fonction de la validité. Il existe les artefacts *TableManagerArt* chargé de la connexion avec la table et de la gestion de l'intergiciel, *TangibleObjectArt* chargé de suivre un objet et d'y associer un retour informé (il y a un artefact de ce type instancié par objet tangible posé sur la table Tangible), *InteractionWindowsArt* qui est chargé de gérer les interfaces Humain-Machine et de transmettre les évènement à l'agent.

Les actions de l'interface seront répercutées par l'agent sur l'organisation, et cela de manière prioritaire par rapport à l'analyse de l'agent.

4.3.3.4 Résultats

Nous allons maintenant détailler les résultats obtenus, en rappelant les critères que nous retenons :

Hypothèse 1 : permettre la modélisation de l'exercice et des éléments à tester. Nous avons réussi à formaliser l'ensemble des éléments, en les modélisant en premier lieu avec KMADe. Plus précisément :

— (1) tous les éléments du plan d'intervention concernés ont été modélisés. Nous avons effectivement réussi à modéliser et à formaliser sous formes de spécifications organisationnels les éléments du PCS auxquels faisait appel le scénario. Il faut néanmoins noter que la validité selon la localisation cartographique a été codée en dur dans ce prototype. Pour autant, l'ensemble des éléments du PCS a pu être formalisé.

— (2) tous les critères d'évaluation ont été intégrés au système, et l'évaluation a été contextualisée dans les éléments de scénarios en cours. En effet, nous avons pu formaliser en termes de normes tous les points d'évaluation. Ces normes se déclenchent en lien avec l'avancée du scénario, car les critères d'évaluation ont été intégrés à la modélisation de l'activité grâce à la modélisation KMADe.

— (3) des non-experts ont pu faire le lien entre le scénario et les éléments joués de manière tangible. En effet, cette étape a été réalisée à travers la modélisation avec KMADe, et chaque action a été liée à une action tangible et un retour système, ou à une évaluation de l'animateur. Les objets tangibles ont ensuite été créés, et un lien direct a été réalisé entre le tag RFID et le but dans l'organisation de coordination.

— (4) des non-experts ont pu faire grâce à KMADe le lien entre les actions des joueurs dans un contexte et un retour informé. En effet, les actions des joueurs correspondaient soit à une action tangible représentant un but dans l'organisation, soit à une action animateur elle aussi directement retranscrite dans l'organisation. Suite au retour de l'exécution dans l'organisation (but achevé ou échec), le retour informé a été affiché sous l'objet tangible concerné. Une action tangible validée ou invalidée dans l'interface animateur entraine une modification du retour informé selon la décision de l'animateur, au détriment du retour informé représentant l'analyse du système.

Ces résultats s'inscrivent néanmoins dans un contexte dégradé en termes d'interaction, où un lien direct est réalisé entre Production, Coordination et Communication.

Hypothèse 2 : fournir un retour d'expérience autour de l'utilisation de l'interaction tangible avec une dimension située. Nous avons réussi à situer le retour informé dans le contexte selon les différents critères dans les mesures définies dans les points suivants :

— (1) la gestion des éléments cartographiques a été adaptée à certains besoins des utilisateurs. En effet, un retour informé en temps réel en fonction de l'emplacement géographique permet une prise de conscience de l'utilisation des outils cartographiques d'une part, et de visualiser des plans d'actions d'autre part. En revanche, cette dimension géographique aurait pu être améliorée, en améliorant la lisibilité des éléments dacty-

FIGURE 4.17 – Interaction réalisée par un joueur : le joueur vient d'enlever un objet, et essaie de faire disparaitre le retour informé en le balayant de la main

lographiés, et en intégrant une instanciation d'éléments virtuels à la suite d'utilisation des tangibles. Ainsi, une main courante géographique pourrait être mise en place. Enfin, les socles des objets devraient être plus petits.

— (2) l'activité des joueurs était en lien avec l'étape du scénario et le système permettait de varier les situations d'utilisation de la table selon les capacités des joueurs à tester. En effet, nous avons pu faire le lien entre la validité des actions tangibles et l'étape du scénario en cours. Nous avons pu également modifier l'activité en fonction des objectifs du moment, et notamment en modifiant la représentation cartographique en affichant le fond de carte seul, avec les zones inondables et avec les enjeux. Les problématiques de lecture de cartes et de correspondances de cartes ont pu être mises en avant.
— (3) le système a été intégré naturellement à l'exercice d'entrainement et a soutenu la collaboration. La table TangiSense a d'abord été installée à coté de la table pour les points de synthèse. Finalement, cette dernière a été déplacée plus loin afin de favoriser la navigation des acteurs autour de celle-ci. Pour autant, les retours informés en temps réel en lien avec la cartographie ont été attractifs. Selon les joueurs lors du débriefing, la table n'a pas gêné et apportait une dimension ludique. De plus, spontanément, la table tangible a été utilisée pour une consultation collective et l'organisation des actions à réaliser. Nous pouvons noter que de nouvelles gestuelles apparaissent très rapidement (balayer la main pour effacer un retour informé, utiliser un stylo pour interagir avec la table). A noter enfin, la carte affichée sur écran est une source de lumière, et garantit indirectement la bonne collaboration en évitant les ombres sur la carte lors des rassemblements autour ou lors des processus de désignation.
— (4) les retours informés ont été délivrés en temps réel, en lien avec l'activité en cours. En effet, les retours informés ont respecté les contraintes de temps réel, en fonction de l'analyse du système et l'analyse de l'animateur le cas échéant.

Hypothèse 3 : fournir un retour d'expérience pour l'animateur

— (1) le système a permis de suivre le déroulement de l'exercice et gérer l'avancée du scénario, aussi bien ou mieux que le déroulement classique. Le suivi par des normes, et l'intégration de celles-ci aux spécifications organisationnelles et à l'interface animateur permettent un aperçu clair des évènements à jouer, et cela en particulier dans un contexte où il est possible de se laisser "emporter" par le déroulement du jeu. Cela a été le cas pour le deuxième élément de scénario de l'exercice, qui se passe en deux étapes.

FIGURE 4.18 – Photographie prise au moment de l'utilisation spontanée de la table pour une discussion collective

— (2) le système a permis d'évaluer en temps réel les éléments réalisés ou oubliés des joueurs, aussi bien ou mieux que le déroulement classique. Le suivi par les normes et son intégration à l'interface animateur des éléments d'évaluation permet de suivre en temps réel les attendus. Cela a été particulièrement vrai pour les actions en plusieurs étapes et avec plusieurs éléments. Le système a permis à plusieurs reprises d'apporter des compléments d'évaluation aux joueurs.
— (3) le système a permis de mettre en lumière des schémas dans l'activité des joueurs, aussi bien ou mieux que le déroulement classique. Le système a permis de visualiser quels éléments normatifs étaient oubliés à répétition au cours de l'exercice. Cela a été notamment le cas pour faire remonter que les joueurs faisaient la planification mais ne lançaient pas l'ordre d'exécution associé. Deux éléments de retour d'expérience ont pu être ainsi ajoutés durant le débriefing à chaud.

Ce test a été concluant, en démontrant la possibilité d'intégrer facilement notre système à un exercice de crise. Nous pouvons noter que la formalisation KMADe a pu être réalisée par des non-informaticiens, non spécialisés par ailleurs dans les exercices de gestion de crise ni dans la crise au niveau communal. Le prototype a permis de modéliser, de formaliser, de jouer et de suivre un exercice non dimensionné pour un cas d'utilisation sur table. L'utilisation de notre système s'est faite de manière très fluide, alors que son utilisation n'était pas nécessaire à l'exercice. Nous avons pu vérifier la facilité à comprendre le rôle des objets, en proposant des objets sans signaler leur signification. Les utilisateurs ont deviné sans difficulté la signification des objets. Notre système normatif a de plus permis de prendre en compte plusieurs utilisateurs, notamment les acteurs utilisant le système (les "apprenants") et les formateurs ayant leurs propres normes.

Parmi les améliorations à apporter, on peut noter qu'il faut fournir une taille de police de caractère sur la carte compatible avec la lecture de la carte. De plus, la base des objets tangibles pourra être diminuée, afin de moins cacher la carte située sous l'objet. Une main courante géographique pourra être mise en place. Ainsi, un objet pourra instancier son équivalent virtuel

sur la carte. Par exemple, un objet barrière rajoutera virtuellement une barrière sur la carte. Cela pose la question de la gestion du cycle de vie entre un objet tangible, et l'action qu'il représente, potentiellement non ponctuelle. Enfin, dans notre implémentation du prototype, l'animateur peut fournir un retour au système. Cela pourrait être étendu aux joueurs, pour boucler l'aspect socio-technique.

4.4 Cycle expérimental 3 : potentiel technique

Maintenant que la possibilité d'intégrer notre système à un exercice de gestion de crise a été établie, nous allons montrer comment le système technique peut relever les challenges plus complexes liés à la mise en place d'un système socio-technique situé.

Nous allons maintenant voir, plus en détail, comment notre système peut analyser l'activité humaine. Pour cela, nous allons en particulier nous intéresser au potentiel de modélisation des conflits organisationnels que peut gérer notre système, ainsi qu'à l'interaction située qu'il est possible de mettre en place. Nous allons dans cette section décrire une série de scénarios visant à vérifier comment l'architecture implémentée permet effectivement de relever les challenges identifiés dans les trois espaces de Production, de Coordination et de Communication.

Nous avons choisi, pour démontrer les capacités du système proposé à relever les challenges de l'analyse organisationnelle et de l'interaction située, de faire des tests en simulation. Plus précisément l'architecture est implémentée comme présentée dans le chapitre précédent, et nous simulons l'interaction tangible selon des scénarios définis comme pertinents. Nous vérifions alors la capacité du système à répondre aux problématiques évoquées.

4.4.1 Explorer

Pour définir chacun des scénarios et des objectifs de collaboration importants en gestion de crise, nous avons collaboré avec l'IRMa. Nous nous sommes inspirés d'exercices réalisés, de deux plans communaux de communes iséroises (Saint Quentin Fallavier et Villefontaine), de débriefings d'exercices (sur table et grandeur nature utilisés dans les cycles expérimentaux 1 et 2) et de retours d'expérience d'évènements de crise réels (inondation par crue à Clerieux, et épisode pluvieux de Grivors).

4.4.2 Co-construire

Nous avons identifié et proposé des éléments de collaboration remarquables, puis présenté des scénarios à l'IRMa, afin d'en vérifier la pertinence.

Nous avons proposé d'étudier :
— les problématiques de partage d'information (non partage, incohérence dans les informations recueillies et dans l'analyse de l'information)

— les problématiques liées aux ressources (dimensionnement non cohérent avec certaines étapes de la gestion de crise, mauvaise attribution des ressources et mauvaise répartition sur le terrain)
— les problématiques liées aux structures humaines (changement des statuts en gestion de crise, multiplicité des rôles pour un acteur)
— les problématiques liées à l'organisation et à la répartition des tâches (dimensionnement de la charge de travail durant la crise, tâches non explicitées comme le lien entre la prise de décision et la communication, articulation des tâches dans une organisation et entre organisations).

En collaboration avec des élèves ingénieurs de POLYTECH'Grenoble en Hygiène Sécurité Environnement, nous avons retenu et validé auprès de l'IRMa trois éléments de conscience organisationnelle importants à relever. Nous faisons l'hypothèse que notre système doit donc permettre, dans son analyse et dans la mise en place de l'interaction :
— les incohérences intra-organisationnelles : gérer les situations où des membres distribués d'une même organisation arrivent à des conclusions différentes.
— les éléments partagés : gérer les éléments qui peuvent être partagés dans une organisation ou entre plusieurs organisations
— les incohérences inter-organisationnelles : gérer les situations où deux organisations attendent des choses différentes d'un même acteur.

Nous avons ensuite construit avec l'IRMa des scénarios remarquables (de A à D) à l'origine de problèmes de collaboration liés aux les problématiques proposées, décrits par la suite.

4.4.2.1 Construction du cadre global de simulation d'exercice

Notre scénario global est un scénario d'inondation par crue, où la Commune et les Pompiers interviennent, comme suit. En exercice d'entrainement à la gestion de crise sur un scénario d'inondation, la commune teste une partie de son PCS. La gestion de la crise est structurée autour d'un Poste de Commandement Communal (PCC), dirigé par le Maire, et de deux cellules terrains, la Cellule Soutien (CS) et la Cellule Logistique (CL), dirigées par les adjoints du Maire. Durant la crise, la commune doit être en vigilance, lancer le plan approprié à la situation (scénario A), organiser l'évacuation en mobilisant les ressources nécessaires (scénario B), et se répartir le travail avec les Pompiers (scénarios C et D). Nous décrivons les quatre scénarios modélisés avec les spécifications structurelles, fonctionnelles et normatives Moise comme décrit dans les figures 4.19, 4.20, 4.21. Le premier scénario (A) montre les exceptions résultant d'un conflit d'information. Le deuxième scénario (B) montre un conflit dans la gestion des ressources. Les derniers (C et D) montrent des violations de normes résultant de problèmes de collaboration inter-organisations.

Les interactions tangibles sont simulées de manière à correspondre aux actions que nous avons prévues.

4.4.2.2 Présentation des scénarios retenus

Scénario A : incohérences intra-organisationnelles, mise en lumière d'un conflit d'information. Les deux cellules terrains observent l'évolution d'une inondation à l'aide de deux indicateurs respectifs. La CS doit observer à quelle hauteur et avec quelle vitesse le niveau de l'eau de la rivière déborde. La CL doit observer tout débordement d'un méandre spécifique, ainsi que la vitesse avec laquelle ce débordement apparait. Les deux Cellules doivent ensuite qualifier l'inondation comme étant centennale, décennale ou quinquennale (i.e. aussi importante que tous les cent, dix ou cinq ans). Le Maire doit décider quel plan (unique) lancer, en fonction des informations des Cellules Terrains. Le système doit être capable de suivre l'activité distante des deux Cellules Terrains, et de voir si le PCS a été suivi. Dans le scénario présenté, en raison des différences entre les procédures d'analyse de la crue, la CL qualifie l'inondation comme quinquennale et la CS comme étant une inondation décennale. Il en résulte deux buts concurrents et incompatibles pour le Maire, qui doit en théorie ne lancer qu'un seul plan, mais qui a obligation de lancer les plans quinquennal et décennal car ils correspondent aux observations. Cela devra être détecté correctement par le système, analysé puis retransmis à l'utilisateur.

Scénario B : incohérences intra-organisationnelles, éléments partagés, gestion des ressources. Une fois le plan décennal lancé, la mise en sécurité doit être effectuée. La commune possède deux véhicules. La cellule soutien est chargée d'évacuer les habitants des zones à risque (délimitées par l'onde de submersion prévue). Le nombre de véhicules à utiliser (pour prendre en charge le nombre de personnes présentes) est de 2 véhicules dans ce cas. La cellule logistique est chargée d'ouvrir le lieu d'hébergement et a besoin à ce titre d'un véhicule. Nous réaliserons deux déclinaisons de ce scénario. Dans le scénario B1, la Commune dispose de trois véhicules I, II et III. La CS réquisitionne les véhicules I et II, puis les membres de la CL essaient de réquisitionner le véhicule II qu'ils ont l'habitude d'utiliser. Nous nous trouvons dans un cas de violation, car il y avait la possibilité pour la CL de réserver le véhicule III. Dans la déclinaison B2 du scénario B, la commune dispose de deux véhicules I et II. La CS réquisitionne les véhicules I et II, puis la CL essaie de réquisitionner le véhicule II. Nous nous trouvons dans un cas d'exception, car il n'y a pas la possibilité pour la CL de réserver le véhicule libre, ce qui implique que le plan est mal dimensionné et ne permet pas aux acteurs de réaliser leurs obligations.

Scénario C : collaboration inter-organisationnelle, différents attendus sur le rôle de représentant. Les pompiers attendent que le représentant du PCC, joué par le Maire, leur transmette régulièrement des informations sur la situation de crise (toutes les 15 minutes). Si ces informations ne sont pas envoyées à temps, des conflits apparaissent. Dans ce scénario, le maire est représenté comme jouant deux rôles dans deux organisations différentes : chef du PCC pour la Commune, et représentant du PCC pour les pompiers. Ce scénario montre qu'un acteur peut jouer deux rôles différents dans des organisations indépendantes et ainsi se voir attribuer des buts dont il n'est pas parfaitement conscient.

Scénario D : collaboration inter-organisationnelle, suivi de la qualité globale de la collaboration dans la répartition de l'évacuation. Afin de réaliser la mise en sécurité, les pompiers et les policiers se répartissent le travail de l'évacuation. Il y a deux types d'évacuations possibles : l'évacuation verticale, qui consiste à monter dans les étages, et l'évacuation horizontale qui consiste à évacuer physiquement la zone en déplaçant les populations, solution plus sure pour limiter les risques humains liés à l'inondation mais plus couteuse en temps. La Commune a organisé son évacuation en fonction de sa représentation des tâches des Pompiers, et vice-versa. Ainsi, la Commune a prévu de réaliser l'évacuation comme suit : la Commune s'assure de l'évacuation horizontale (implicitement, sans les modéliser dans ses plans : les pompiers s'assurent de l'évacuation verticale), en cas d'évacuation horizontale de toutes les zones inondables la Commune ne s'occupe pas des zones prioritaires (implicitement les pompiers s'occupent des zones prioritaires). Les Pompiers ont prévu d'organiser l'évacuation comme suit : les pompiers s'assurent de l'évacuation verticale (implicitement, la commune s'assurent de l'évacuation horizontale). La répartition de l'évacuation horizontale et verticale est partagée, selon un document issu du guide de l'évacuation massive en cas de crue figure 4.28, sachant que selon le sens commun toute zone à évacuer doit l'être (que ce soit verticalement ou horizontalement). Le scénario D se penche sur un cas d'évacuation prévisible avec capacité d'accueil où la Commune prévoit l'évacuation de la zone 2 et 3 et les Pompiers prévoient de n'évacuer aucune zone. La zone 1 ne sera donc pas évacuée si l'on suit le plan. Il s'agit dans ce scénario de montrer comment il est possible grâce à notre système de percevoir des différences entre deux organisations, même si contrairement au scénario C, les organisations ne prennent pas en compte les autres organisations. Cela fait intervenir des éléments des scénarios B et C.

4.4.2.3 Formalisation du scénario d'exercice de crise.

Nous formalisons la spécification structurelle comme suit. Il existe trois cellules pour la commune : le PCC (Poste de Commandement Communal), la CS (Cellule Soutien), et la CL (Cellule Logistique). L'organisation des Pompiers a été simplifiée : il existe un groupe (pompiers) et deux rôles : Pompier et Représentant de la Commune, comme indiqué dans la figure 4.19.

Le plan global du scénario dans la spécification fonctionnelle peut être décrit comme indiqué dans la figure 4.20. Les spécifications normatives associent les missions (ensemble de buts de la spécification fonctionnelle) à un rôle comme décrit dans la figure 4.21 .

Nous rajoutons également une spécification organisationnelle pour représenter des notions de sens commun, comme par exemple la gestion des éléments partagés. Par exemple, l'utilisation d'une ressource est organisée selon un plan, qui définit les étapes nécessaires pour utiliser une ressource, ainsi que le parc des ressources utilisées.

Les acteurs simulés sont des agents :

Clarence et **C**laude sont sur la table "PC**C**", **S**asha et **S**teph sont sur une autre table distante "**S**outien", et **L**ou et **L**ois sont sur la table "**L**ogistique" (figure 4.22). **P**atrice est sur la table "**P**ompier".

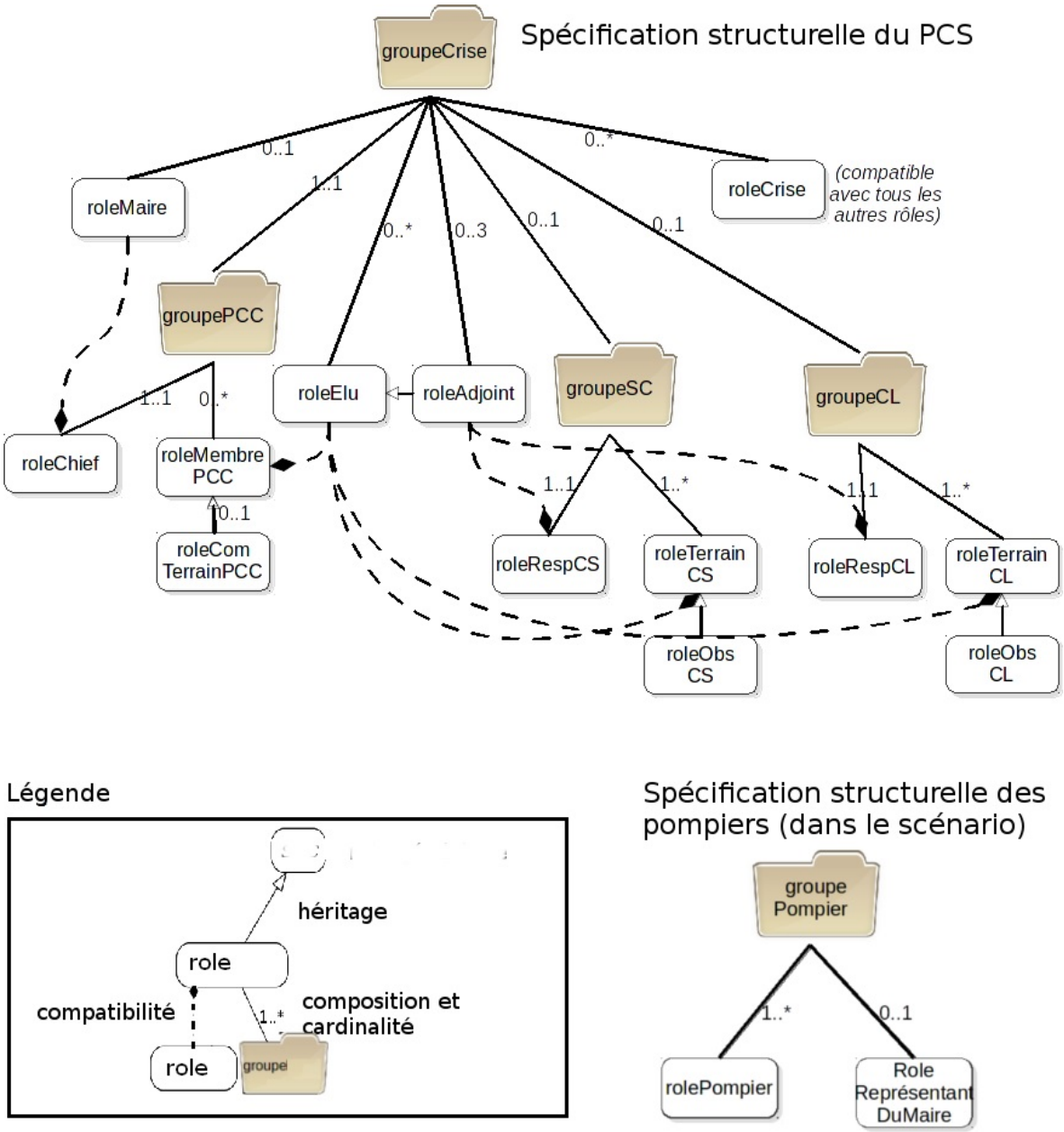


FIGURE 4.19 – Image des deux spécifications structurelles de la Commune (à gauche) et de celle très simple des Pompiers (en haut à droite). La spécification structurelle de la Commune représente la structure des intervenants de la commune, ce qui inclut les Cellules Soutien et Logistique (resp. groupeCS et groupeCL) sous la responsabilité du Poste de Commandement (groupePCC). La spécification structurelle des Pompiers montre une structure très simple et un plan pour les pompiers, avec deux rôles (rôle pompier et rôle représentant de la Commune)

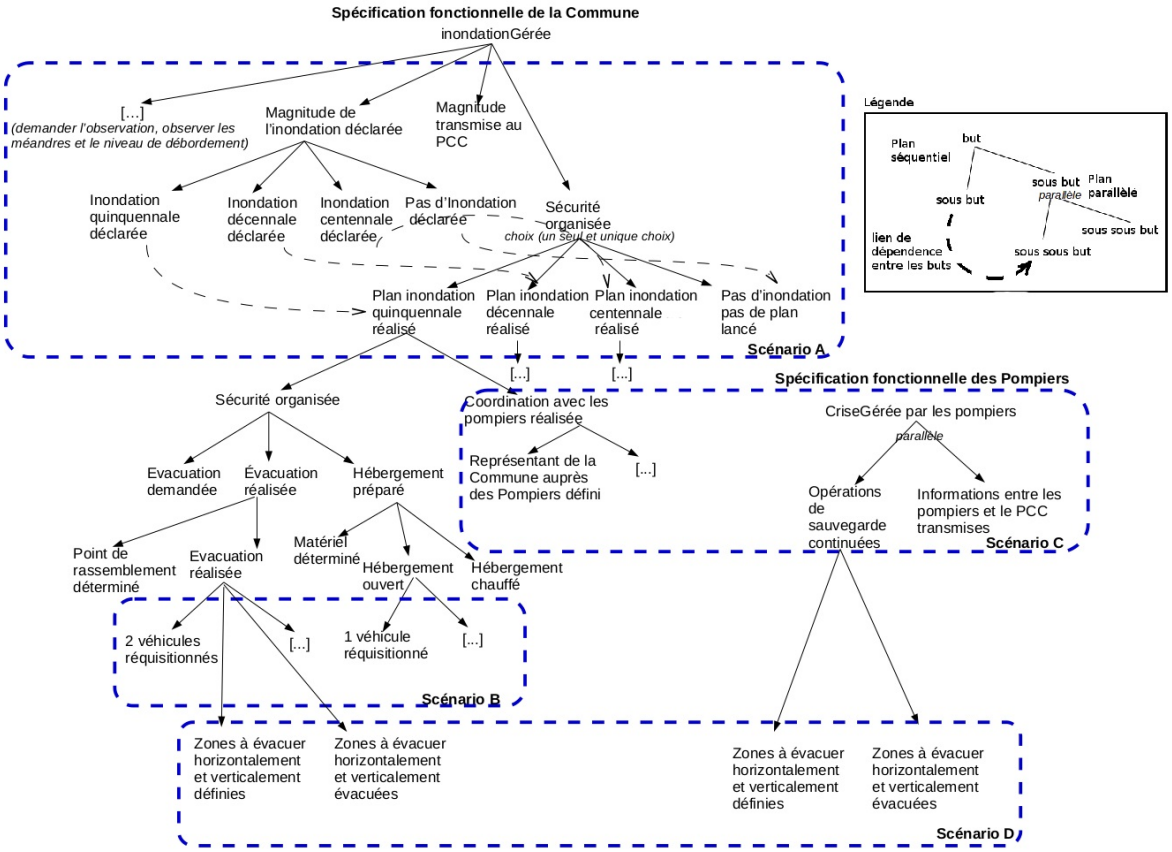


FIGURE 4.20 – Image des deux spécifications fonctionnelles de la Commune (à gauche) et de celle très simple des Pompiers (en haut à droite). Les encadrés en pointillés regroupent les buts liés aux scénarios A à D. La spécification fonctionnelle de la Commune montre le plan qui est décrit dans le PCS : une fois l'ampleur des crues déclarée (par chacune des cellules), par exemple *inondation centennale déclarée*, l'information est transmise et la *sécurité est organisée* lorsque le plan correspondant à la déclaration de magnitude de l'inondation est lancée (*plan inondation quinquennale réalisé*). En second lieu, la *coordination est organisée avec les pompiers* avec un *représentant de la commune défini*. La spécification fonctionnelle des Pompiers montre un plan pour les pompiers avec deux buts, un définissant le fait que les pompiers continuent de prendre des mesures de sauvegarde, le second définit une transmission régulière des informations venant du PCC par le représentant.

	rôle	opérateur déontique	mission	contraintes
Scénario A	roleObsCS et roleObsCL	obligation	Déclarer la magnitude de l'inondation	
	roleObsCS et roleObsCL	permission	Déclarer la magnitude observée comme quinquennale	
	roleObsCS et roleObsCL	permission	Déclarer la magnitude observée comme décennale	
	roleObsCS et roleObsCL	permission	Déclarer la magnitude observée comme centennale	
	roleObsCS et roleObsCL	permission	Déclarer la magnitude observée comme pas de risque d'inondation	
	roleChief	obligation	Organiser la sécurité	un et un seul plan lancé
	roleChief	permission	Lancer le plan quinquennal	
	roleChief	permission	Lancer le plan décennal	
	roleChief	permission	Lancer le plan centennal	
	roleChief	permission	Ne pas lancer de plan	
Scén. B	roleTerrainCS	obligation	Réquisitionner les véhicules pour l'évacuation	ressources disponibles
	RoleTerrainCL	obligation	Réquisitionner les véhicules pour l'hébergement	ressources disponibles
Scén. C	roleChief	obligation	Choisir un représentant	
	roleReprésentant	obligation	Transmettre les informations sur la situation de crise	toutes les 15 min
Scénario D	roleChief	obligation	Définir les zones à évacuer horizontalement par la Commune	aucune zone oubliée
	roleChief	obligation	Définir les zones à évacuer verticalement par la Commune	aucune zone oubliée
	rolePompier	obligation	Définir les zones à évacuer horizontalement par les Pompiers	aucune zone oubliée
	rolePompier	obligation	Définir les zones à évacuer verticalement par les Pompiers	aucune zone oubliée

FIGURE 4.21 – Spécifications normatives. Les encadrés en pointillés regroupent les normes liés aux scénarios A à D. D'après les 4 premières lignes, les observateurs de la cellule soutien et de la cellule logistique sont autorisés à déclarer la magnitude observée d'une inondation. Selon la ligne 1, déclarer la magnitude de l'inondation est obligatoire, réalisable en réalisant un des 5 sous-buts (lignes 2 à 6), qui sont tous permis. Les deux dernières lignes représentent la spécification normative des Pompiers, selon laquelle le représentant de la Commune doit faire un point d'information toutes les 15 minutes.

Clarence joue le rôle de Maire (groupe Mairie), et de Chef du PCC (groupe PCC). Claude joue le rôle de Élu (groupe Mairie), et de Chargé de la Communication avec les cellules terrains (groupe PCC).

Sasha joue le rôle de Adjoint (groupe Mairie), et de Chef de la Cellule (groupe Cellule Soutien). Steph joue le rôle de Élu (groupe Mairie), de Membre Terrain (groupe Cellule Soutien) et de Observateur(groupe Cellule Soutien).

Lou joue le rôle de Adjoint (groupe Mairie), et de Chef de la Cellule (groupe Cellule Logistique). Lois joue le rôle de Élu (groupe Mairie), de Membre Terrain (groupe Cellule Logistique) et de Observateur(groupe Cellule Logistique).

Patrice joue le rôle de Pompier (groupe Pompier).

4.4.2.4 Ajustement technique

Afin de rendre possible la simulation des éléments précisés dans cette partie, nous avons rajouté de nouvelles modalités dans les plans MOISE comme décrit ci-après.

Afin de modéliser les normes pour représenter ce scénario et ce plan, nous avons eu besoin de rajouter une fonctionnalité à MOISE. Nous avons rajouté la possibilité de lier à but à un autre (relation de dépendance depends-on). Ainsi, si un goal1 dépend d'un but goal0, le but goal1 ne sera disponible que quand le but goal0 sera réalisé même si ces buts sont définis comme étant en parallèle. De plus, pour modéliser un plan où un et un seul des sous-buts doit être réalisé (appelé plan XOR), nous avons codé la réaction du système en dur dans les agents.

4.4.3 Evaluer

4.4.3.1 Objectifs

Notre objectif dans cette partie est de donner des éléments de validation concernant la puissance d'analyse dont peut faire preuve notre système. Il s'agit à la fois de valider notre architecture, ainsi que l'utilisation d'un SMA normatif. L'objectif associé est de démontrer la capacité à situer l'activité grâce à cette architecture.

Nous cherchons à démontrer que l'architecture proposée implémentée par un SMA normatif permet de développer un système sociotechnique et de participer à la mise en place d'une conscience organisationnelle partagée, et que chaque sous-système (Production / Coordination / Communication) peut jouer le rôle qui lui est attribué.

En partant de ces objectifs abstraits que nous détaillons, nous souhaitons valider les capacités de chacun des espaces à disposer de fonctionnalités appropriées, nous concentrons sur l'espace de Collaboration. En effet, l'espace de Collaboration porte l'analyse de l'activité humaine par le système, et nous y apporterons une attention particulière en nous basant sur des problèmes de collaboration provenant de retours d'expérience existants. Pour autant, l'analyse de l'activité humaine ne se suffit pas en elle-même. Il faut pouvoir coupler cette analyse avec une interaction tangible et des retours informés. L'articulation des trois espaces doit permettre une activité interactionnelle située.

Nous rappelons que nous souhaitons valider le fait que notre système permette, dans son analyse et dans la mise en place de l'interaction :

— les incohérences intra-organisationnelles : gérer les situations où des membres distribués d'une même organisation arrivent à des conclusions différentes.
— les éléments partagés : gérer les éléments qui peuvent être partagés dans une organisation ou entre plusieurs organisations
— les incohérences inter-organisationnelles : gérer les situations où deux organisations attendent des choses différentes d'un même acteur.

En rapport avec nos objets de validation, nous souhaitons que l'espace de Coordination puisse :

— remonter des incohérences intra-organisationnelles, et notamment quand les acteurs ont suivi le plan prévu
— suivre l'utilisation des éléments partagés, et notamment dans les cas de mauvais dimensionnement (pas assez d'éléments partagés pour les besoins de l'activité) et en cas de mauvaise gestion de l'accès aux éléments partagés (assez d'éléments disponibles en tout, mais des conflits dans la réquisition de ces éléments).
— remonter des incohérences inter-organisationnelles, et notamment quand des organisations différentes attribuent des missions différents à des mêmes acteurs, et quand les plans des organisations présentes amènent à une intervention globale non satisfaisante.

En rapport avec nos objets de validation, nous souhaitons que l'espace de Production puisse :

— permettre de situer une action tangible localement, tout en s'articulant avec l'espace de Coordination pour analyser cette activité dans un contexte global.
— être un élément de contexte lors de la mise en place des retours informés
— s'articuler avec l'espace de Coordination pour permettre de gérer le fait qu'aucune action n'est réalisée, alors qu'une action est attendue.

En rapport avec nos objets de validation, nous souhaitons que l'espace de Communication puisse :

— fournir des retours informés aux agents concernés
— réaliser de retours pertinents selon les analyses données
— réaliser un retour informé par rapport à une action non réalisée (non liée à une action tangible, et donc liée à aucun objet sur la surface de la table).

Nous résumons dans le tableau 4.2 les éléments que nous souhaitons valider, et les scénarios associés.

Table 4.2 – Résumé des objets de validation

Scénario	Espace de Production	Espace de Coordination	Espace de communication
A : conflit d'information	interaction locale articulée dans un contexte global	suivi de la cohérence intra-organisationnelle lors du suivi du plan (exception)	retours informés aux agents concernés
B : gestion des ressources	interaction en contexte des retours informés affichés	suivi de l'utilisation des objets partagés : 1) cas de mauvais dimensionnement (exception) 2) cas de mauvaise gestion des accès (violation)	retours pertinents selon l'analyse
C : différents attendus sur un rôle	gestion des actions attendues non réalisées	cohérence inter-organisationnelle : 1) rôles différents dans différentes organisation pour un même acteur	retours informés sur des actions non réalisées
D : suivi de la répartition de l'évacuation		2) intervention globale non satisfaisante selon le sens commun (exception)	

Afin de simuler des agents Humains, nous pouvions utiliser un scénario ou une interface (*cf* figure 4.23).

Pour la lisibilité, le déroulement technique, se rapprochant de la section 3.4.1 est décrit en annexe A.

4.4.3.2 Scenario A : incohérences intra-organisationnelles, cas du partage d'information

Comme précisé dans la partie précédente, le scénario A montre un cas d'incohérence intra-organisationnelle, où deux observations terrains, lors de la vigilance à propos d'une crue, vont conduire deux groupes d'acteurs à qualifier différemment la magnitude de la crue. Ces deux analyses différentes de la situation vont mener à une incohérence dans la décision à prendre par le Maire. Cette incohérence apparait alors que tous les acteurs ont respecté le plan.

Nous souhaitons que notre système lève une exception lorsque Clarence, chef du PCC, a deux obligations contradictoires sur les buts "réaliser le plan de gestion d'inondation quinquennale" et "réaliser le plan de gestion d'inondation décennale", tous deux obligatoires alors qu'il ne doit en réaliser qu'un seul.

Pour appuyer cette analyse, la spécification structurelle est la même que celle décrite précédemment dans la figure 4.19, et les spécifications fonctionnelle et normative sont décrites dans les figures 4.20 et 4.21 correspondant au scénario A.

Six acteurs sont simulés afin de réaliser ce scénario : Clarence, Claude (pour P**C**C), Sasha, Steph (pour C**S**), Lou, Lois (pour C**L**)

Déroulement chronologique de l'exercice simulé En réponse à la demande de Clarence, Claude pose le tangible "observation" d'abord avec le tangible "Cellule Soutien", puis avec le tangible "Cellule Logistique". Un feedback sur les tables des Cellule Soutien et Cellule logistique les informent qu'elles doivent mettre en place l'observation.
Sasha et Lou demandent au membre terrain responsable de l'observation de leur cellule, ou observateur, de commencer la surveillance terrain.
Steph pose le tangible "observe hauteur d'eau". Steph récupère les valeurs correspondantes à des observations à une échelle limnimétrique et la vitesse à laquelle cette hauteur a été atteinte.
Sasha confirme que l'observation a bien été effectuée avec un tangible "observation terminée". Un retour est envoyé sur la table PCC qui peut suivre l'évolution de la tâche d'observation.
Lois pose le tangible "observe débordement". Lois récupère les valeurs correspondantes à un débordement ou non au niveau d'un méandre et la vitesse à laquelle ce débordement a eu lieu.
Lou confirme que l'observation a bien été effectuée avec un tangible "observation terminée". Un retour est envoyé sur la table PCC qui peut suivre l'évolution de la tâche d'observation.
Steph et Lois vont ensuite, chacun, déduire l'ampleur de la crue selon les seuils précisés dans

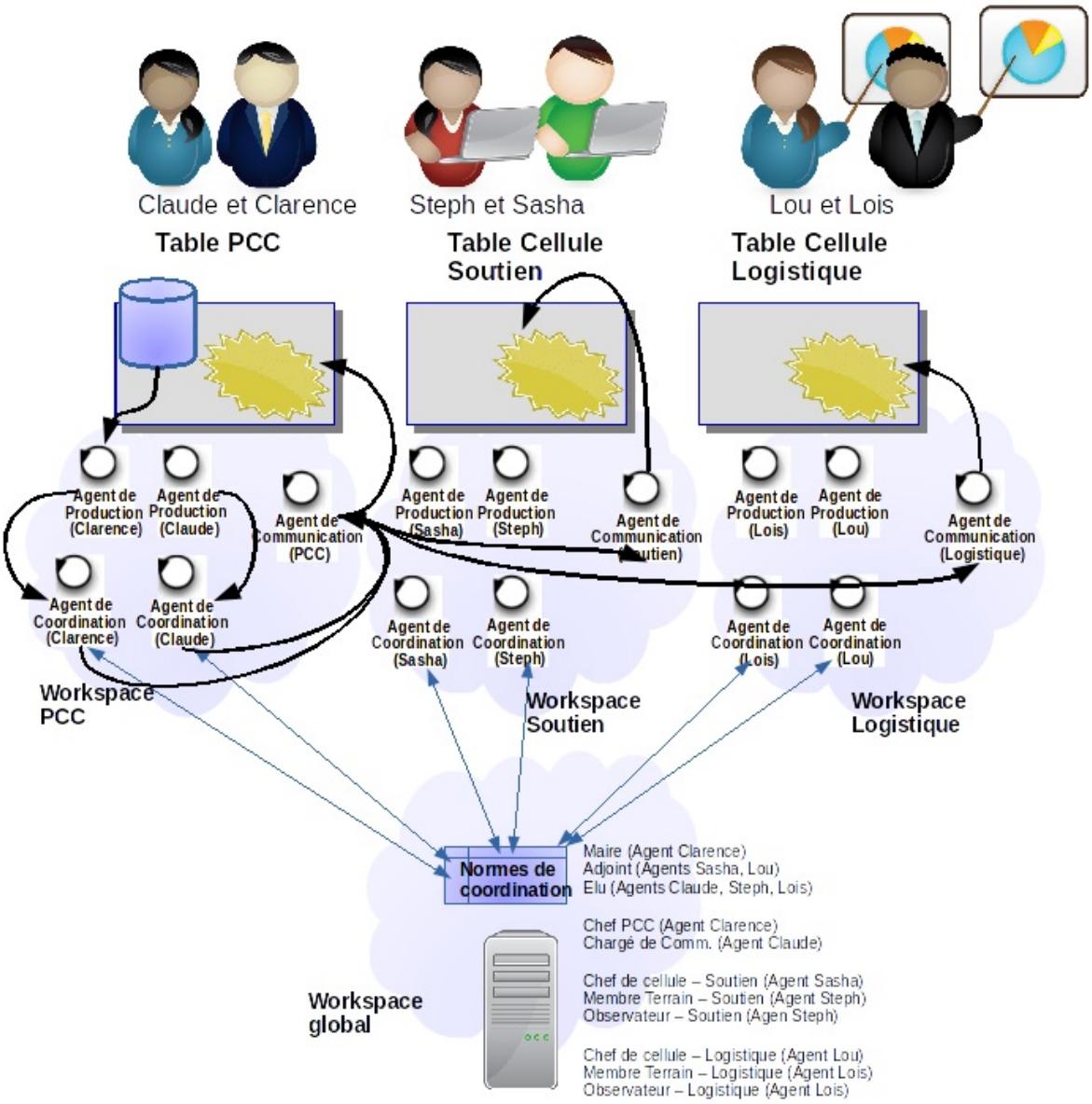


FIGURE 4.22 – Distribution des acteurs du scénario sur les tables.

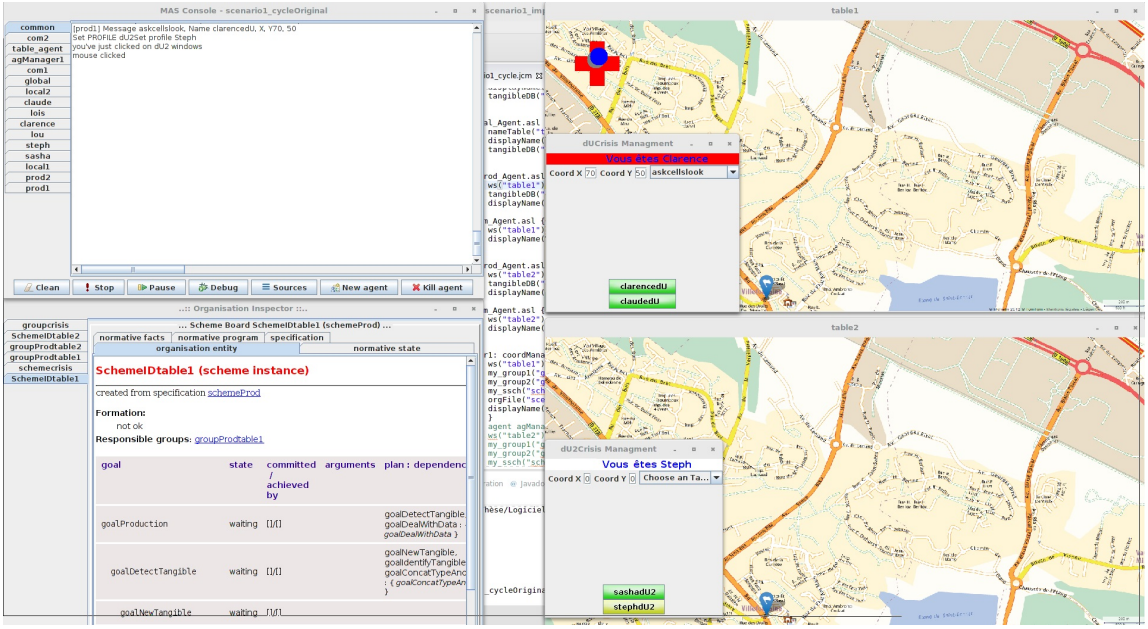


FIGURE 4.23 – Nous avons pu simuler la manipulation d'objets tangible sur différentes interfaces, grâce aux fenêtres à droite, permettant pour chaque table de représenter des joueurs (Clarence en haut, et Steph à droite, chacun sur leur table). Il est possible d'indiquer un objet à positionner sur le fond de carte, et l'objet apparait sur la simulation de la table (le cylindre bleu sur la table du haut, déposé par Clarence). Les retours informés s'affichent (la croix rouge sous le tangible, et l'encadré rouge de la fenêtre d'interface pour jouer Clarence). A gauche, on peut voir les agents déployés en haut, tandis qu'en bas on peut consulter le scheme de production.

le PCS et la déclarer comme quinquennale, décennale, centennale ou non probable avec un tangible correspondant.

Sasha et Lou transmettent la déduction de l'observateur de respectivement Steph et Lois à Claude avec un tangible de validation d'envoi. Un retour informé apparait sur la table PCC pour informer de ces interprétations de la situation.
Claude communique à Clarence ces informations. Clarence doit déclencher le plan correspondant.

Résultat Durant l'exécution du scénario en cours d'exécution la Cellule Logistique qualifie l'inondation comme quinquennale, tandis que la Cellule Soutien la qualifie est de décennale (figure 4.24, rectangle en haut à gauche) à travers des poses de tangibles simulés dans l'espace de production. Cela est mis à jour dans l'organisation, qui centralise effectivement les activités distantes. Le système rend disponibles les buts consistant à lancer les plans d'inondation quinquennale et décennale (figure 4.24, rectangle en bas à gauche). Il en résulte deux objec-

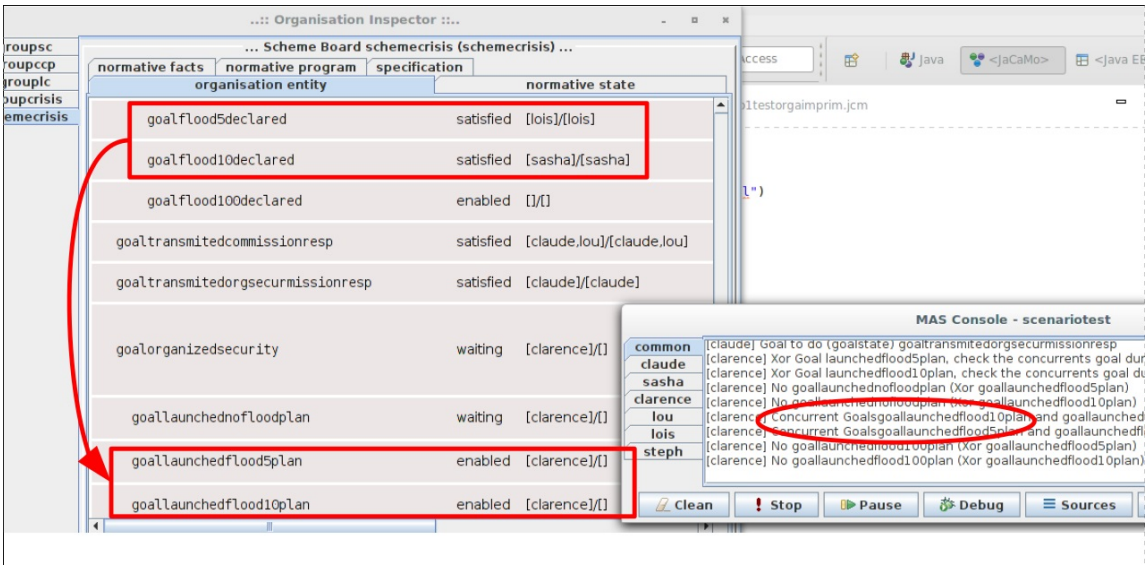


FIGURE 4.24 – Détection des conflits par le système, suite à deux buts actifs en même temps et incompatibles entre eux. La Cellule Logistique a déclaré avec un tangible simulé l'inondation comme quinquennale, et la cellule Logistique comme décennale. Cela est interprété dans l'organisation, comme indiqué par le rectangle rouge en haut à gauche. Il en résulte deux objectifs incompatibles simultanés attribués au maire (les deux buts visible dans le rectangle rouge en bas), détectés par le système, indiqués comme concurrents dans l'ellipse rouge.

tifs simultanés incompatibles pour le maire, correctement détectés comme concurrents par le système, dans l'espace de Coordination (figure 4.24, dans l'ellipse). Les traces des évènements du Schemeboard permettent de connaitre les acteurs ayant réalisé les buts de déclaration du niveau de l'inondation. Ainsi, une analyse de Coordination peut inclure les agents ayant réalisé des buts. Cela est pris en compte par l'agent de Communication qui renvoie des retours informés afin de prévenir que l'un ou l'autre des plans d'intervention sera lancé, potentiellement différent de la déclaration faite par chacune des cellules terrains.

4.4.3.3 Scenario B : éléments partagés, cas de la gestion des ressources

Nous rappelons que le scénario B montre un cas d'incohérence intra-organisationnelle, où deux réquisitions vont conduire deux groupes d'acteurs à demander une même ressource (véhicules). Selon que d'autres véhicules sont disponibles, la situation va mener à une incohérence dans le respect du plan (il n'y avait pas assez de ressources) ou non (d'autres ressources sont disponibles). Ce scénario modélise le partage des ressources selon des méta-règles, qui représentent le sens commun selon lequel il n'est pas possible d'utiliser une ressource déjà réquisitionnée.

Nous souhaitons que notre système suivent la réquisition des véhicules à un niveau global, et distinguent les deux cas sus-cités. Ici, le conflit est lié à un objet tangible ("Voiture2"), et le système devrait pouvoir afficher un retour lié à l'objet.

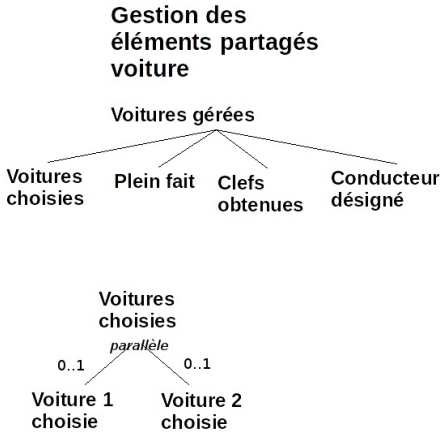


FIGURE 4.25 – Description de la modélisation de la gestion des ressources. Le scheme du haut, qui correspond à la procédure pour réquisitionner une voiture, va être créé à chaque fois qu'un acteur veut réquisitionner une voiture. Le scheme du bas, qui représente la flotte de véhicule, ne va être créé qu'une fois. Ce scheme spécifie que le but représentant l'utilisation de chaque voiture ne sera réalisable que par un agent maximum à chaque fois. Chaque fois qu'un agent voudra choisir une voiture, le but "voitures choisies" du scheme en haut de l'image sera lié au scheme partagé "voitures choisies", ce qui permettra de vérifier la disponibilité des éléments partagés entre tous les agents.

Pour appuyer cette analyse, la spécification structurelle est la même que celle décrite précédemment dans la figure 4.19, et les spécifications fonctionnelle et normative décrites dans les figures 4.20 et 4.21 correspondant au scénario B. Nous rajoutons une spécification fonctionnelle liée à l'utilisation des règles de sens commun liées à l'usage des ressources.

Six acteurs sont simulés afin de réaliser ce scénario, qui reprend les éléments du scénario A : Clarence, Claude (pour P**C**C), Sasha, Steph (pour C**S**), Lou, Lois (pour C**L**)

Déroulement chronologique de l'exercice simulé Clarence demande à Claude d'informer les cellules terrains qu'elles doivent commencer à organiser l'évacuation (Cellule Soutien) et l'Hébergement (Cellule Logistique).
Claude pose le tangible "Évacuation" avec le tangible "Cellule Soutien" puis le tangible "Hébergement" avec le tangible "Cellule Logistique". Un feedback respectivement sur les tables des Cellule Soutien et Cellule logistique les informent qu'elles doivent respectivement mettre en place l'évacuation et l'hébergement.

Lois pose le tangible "Hébergement" sur le lieu d'accueil qu'il a défini.
Steph définit qu'il lui faut deux véhicules, et utilise les objets "Voiture1" et "Voiture2" pour réquisitionner les véhicules.

Nous distinguons les deux cas suivants :

Scénario B1 : Trois voitures font partie de la flotte : "Voiture1" (réquisitionnée par Steph), "Voiture2"(réquisitionnée par Steph) et "Voiture3" (non réquisitionnée).

Scénario B2 : Deux voitures font partie de la flotte : "Voiture1" (réquisitionnée par Steph), "Voiture2"(réquisitionnée par Steph).

Lois utilise l'objet "Voiture2" pour réquisitionner le véhicule dans les deux cas.

Résultat Lorsqu'un objet de type "Voiture" est posé, l'action de réquisition est testée dans l'organisation qui représente le PCS (l'Agent a-t-il le droit de réquisitionner cette voiture ?), puis un nouveau SchemeBoard est créé pour suivre l'utilisation de la Voiture (l'Agent a-t-il un conducteur, les clefs etc ?). En parallèle, la Voiture (e.g. "Voiture2Choisie") est réquisitionnée dans le Schemeboard qui représente le parc automobile à disposition, représenté dans "Voitures Choisies". La cardinalité du but est vérifiée : si un acteur a déjà achevé le but "Voiture2Choisie", celle-ci ne pourra pas être réquisitionnée. Deux cas se distinguent en pratique : il y a assez de Voitures, car la Voiture3 est libre par exemple (scénario B1), et toutes les Voitures sont déjà réquisitionnées (scénario B2). Dans le Schemeboard, la distinction se fera au niveau du but racines "Voitures Choisies". Si toutes les Voitures sont déjà réquisitionnées, ce but sera achevé. Sinon, il sera en attente. Quand un Agent a finit d'utiliser une voiture, il utilise l'opération offerte par JaCaMo resetGoal du Schemeboard "Voitures Choisies" sur le but qui représente la voiture en question.

Suite à cette analyse, l'Agent de Communication peut distinguer les deux cas. Dans le scénario B1, l'Agent de Communication fournit un retour négatif sous l'objet Voiture2 de la Table Cellule Logistique. Cela correspond à la table du groupe auquel l'Agent Lois appartient. Dans le scénario B2, l'Agent de Communication fournit un retour indiquant un conflit sous l'objet Voiture2 de la Table Cellule Logistique, et un retour demandant la possibilité de libérer la ressource sous l'objet Voiture2 de la Table Cellule Soutien [10], afin de la rendre disponible pour Lois. Ainsi, l'Agent de Communication récupère la table à partir du groupe des Agents à l'origine des conflits. Pour récupérer l'objet, l'Agent de Communication utilise la propagation des valeurs de Traces.

4.4.3.4 Scenario C : Cohérence inter-organisationnelle

Le scénario C montre un cas d'incohérence inter-organisationnelle, où le rôle d'un acteur dans une autre organisation va l'amener à se voir attribuer de nouvelles obligations. Ces nouvelles obligations sont définies dans une organisation autre que la sienne, dont il peut ne pas être pleinement conscient, et un manquement à ces obligations va faire apparaitre des incohérences.

10. La table de la Cellule Soutien correspond à la table du groupe auquel l'Agent Steph appartient, l'Agent Steph ayant déjà la ressource qui a fait apparaitre un conflit lorsque Lois a essayé de la réquisitionner.

Nous souhaitons donc que le système lie Clarence à l'obligation de représentant du PCC dans l'organisation des pompiers. Le non envoi de rapport (pas de tangible) doit être remarquée et faire l'objet d'un retour informé.

Pour appuyer cette analyse, la spécification structurelle est la même que celle décrite précédemment dans la figure 4.19. Les spécifications fonctionnelle et normative sont décrites dans les figures 4.20 et 4.21 correspondant au scénario C.

Deux acteurs sont simulés afin de réaliser ce scénario : Clarence, et Patrice (pour **P**ompiers)

.

Déroulement chronologique de l'exercice simulé Le chef du PCC Clarence, également maire, dans le cadre de toute gestion de crise, doit désigner le représentant du PCC auprès des Pompiers. Clarence en personne se charge d'être le représentant PCC. Les pompiers attendent du représentant PCC d'envoyer régulièrement des rapports d'informations, toutes les 15 minutes. Si Clarence ne le fait pas, cela amène à un conflit. Les deadlines font partie des attributs de MOISE, et sont donc modélisables dans les normes. Si la norme est *activée* pendant un temps supérieur à la durée définie dans la deadline, la norme est considérée comme n'étant pas accomplie.

Clarence décide de se désigner en tant que représentant du PCC auprès des pompiers. Clarence pose le tangible "représentant PCC" dans ce but. Un feedback sur la table des Pompiers les informent de l'identité du représentant du PCC.

Patrice attend donc un rapport dans les 15 minutes de la part de Clarence.

Résultat Lorsque Clarence réalise le but "désigner le représentant" et se désigne comme endossant ce rôle, l'Agent Clarence adopte ce rôle dans l'organisation (le but "désigner le représentant" est lié à l'action d'adopter le rôle). L'Agent de Coordination adhère à de nouvelles obligations, avec une deadline. A la fin de la deadline, l'Agent de Coordination Clarence n'a pas achevé le but "rapport d'information envoyé". Cela implique qu'un échec (fail) est généré par le Schemeboard. Ce signal ne correspond à aucune action de coordination, car aucune trace de Production n'a été crée (absence d'action tangible). L'Agent, face à ce signal ne correspondant à aucune trace existante, va donc créer et compléter un artefact de Trace de Coordination, que l'Agent de Communication va découvrir. Face au fait qu'il n'y ait aucune coordonnée associée, l'Agent de Communication va créer un retour par défaut en bas à droite de la table, comme une notification. La table est choisie en fonction du groupe auquel appartient l'Agent à l'origine de la violation (Clarence, groupe PCC). Ainsi, Clarence aura un retour en rapport avec des obligations dont il n'était pas conscient.

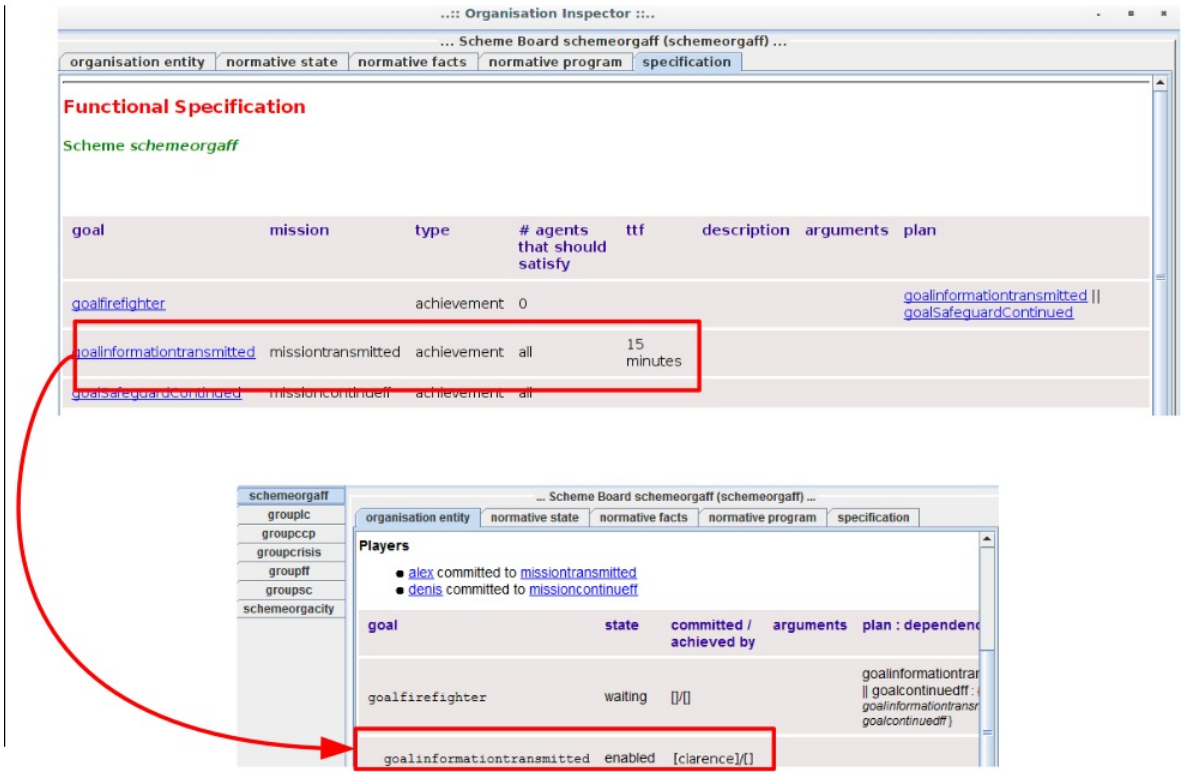


FIGURE 4.26 – Lien entre l'agent de Coordination Clarence se désignant comme représentant du PCC dans l'organisation des pompiers (rectangle rouge) et qui dispose de 15 min pour réaliser ce but. Notons de l'agent Clarence fait partie de la commune, or ces buts lui sont attribués par les Pompiers lorsque Clarence se déclare représentant du PCC

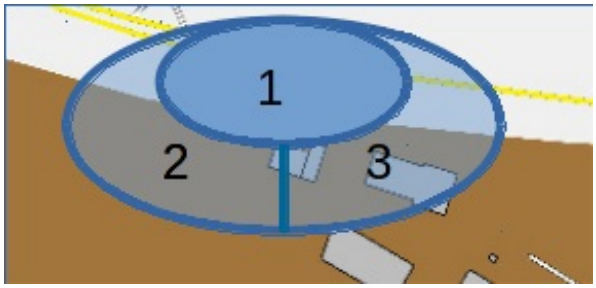


FIGURE 4.27 – Les différentes zones (1, 2 et 3) considérées à évacuer dans le scénario D. La zone 1 est une zone prioritaire

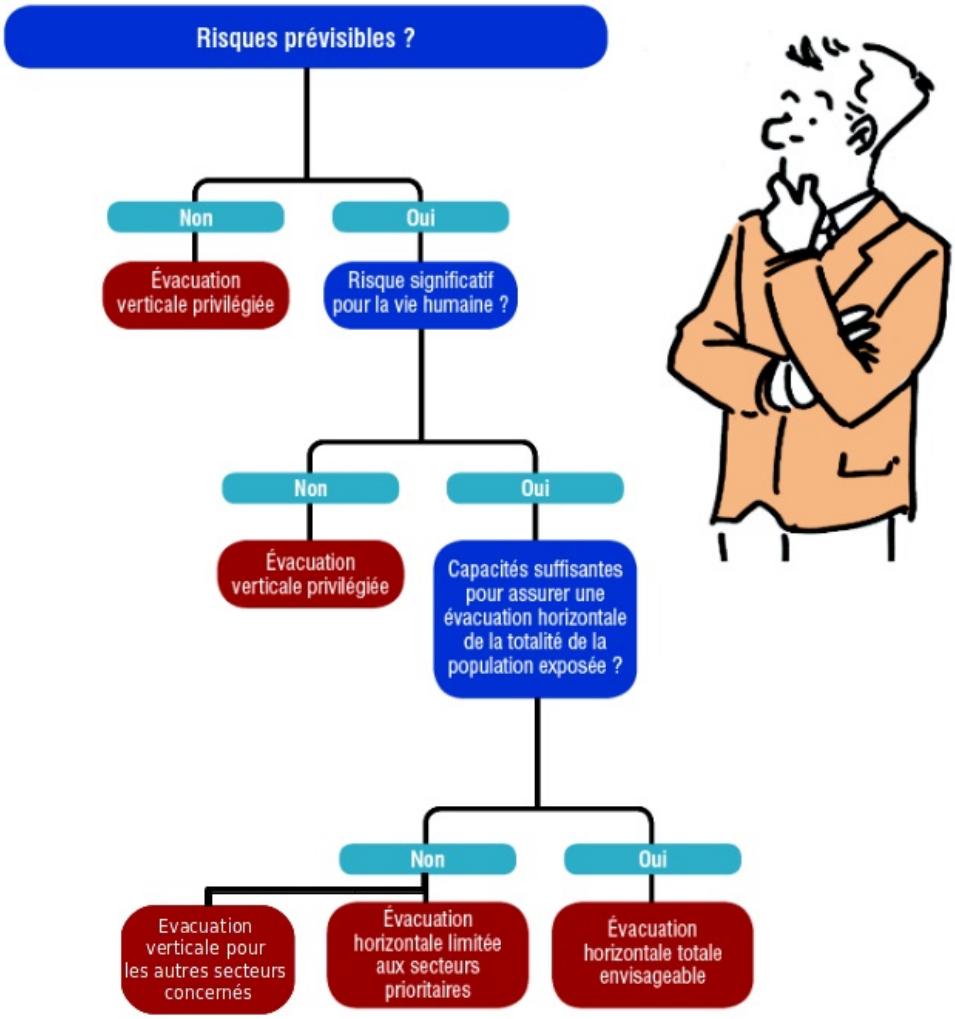


FIGURE 4.28 – Organisation de l'évacuation massive en cas de crue

4.4.3.5 Scénario D : Partage de contexte organisationnel via les conflits

Le scénario D montre un cas d'incohérence inter-organisationnelle, où chaque organisation suit ses propres plans, et n'attribue pas explicitement d'obligation aux autres organisations en jeu. Ces plans respectifs ne vont pas amener à une coordination globale respectant les règles de sens commun.

Nous nous attendons à ce que le système arrive à détecter l'oubli réalisé lorsqu'aucune organisation n'évacue la zone 1, alors que les deux organisations en jeu ne modélisent pas le comportement de l'autre organisation en jeu. Pour cela, nous modéliserons des méta-règles à propos de l'évacuation de zones inondables. Modélisées comme les ressources, chaque zone lorsqu'elle inondable doit être évacuée une fois et une seule fois.

Pour appuyer cette analyse, la spécification structurelle est la même que celle décrite précédemment dans la figure 4.19, et les spécifications fonctionnelle et normative décrites dans la figure 4.28. Deux acteurs sont simulés afin de réaliser ce scénario : Clarence, et Patrice (pour **P**ompiers).

Nous rajoutons une spécification fonctionnelle des méta-règles de sens commun. Les zones sont modélisées comme des buts. Quand nous nous trouvons dans un contexte d'inondation, les buts disponibles sont les zones inondables. Les zones présentent une cardinalité de 1-1, c'est à dire qu'elles doivent être évacuées une et une seule fois (pas d'oubli, pas de duplication d'efforts).

La spécification normative se définit comme suit. Pour la Commune : La commune s'assure de l'évacuation horizontale. Dans les cas d'évacuation horizontale de toutes les zones inondables (zones 1, 2 et 3), la Commune ne s'occupe pas (implicitement, les Pompiers s'en occupent) des zones prioritaires (zone 1). Pour les Pompiers, les pompiers s'assurent de l'évacuation verticale.

Déroulé chronologique de l'exercice simulé Le scénario commence avec la demande de réalisation de l'évacuation, dans un cas où elle est prévisible et que la capacité d'accueil nécessaire est disponible. Il y a trois zones à évacuer, comme définit par la figure 4.27.

En accord avec ces normes, Clarence pose un tangible "Évacuation" sur les zones 2 et 3 pour en signifier la prise en charge. En accord avec ces normes, Patrice ne pose pas de tangible.

Résultat Cet exemple mélange les problématiques des scénarios B et C. En effet, des incohérences doivent être levées dans l'articulation des différentes activités entre plusieurs organisations. Pour prendre en compte le résultat de la collaboration alors que les organisations ne sont directement évaluées les unes par rapport aux autres (il n'y a pas de représentation de l'activité des autres organisations dans les spécifications respectives), nous représentons les zones comme un élément partagé répondant à des normes de sens commun pour une bonne collaboration (toute zone inondable doit être évacuée).

Lorsque Clarence réalise les buts d'évacuer la zone2 et la zone3, le but correspondant dans l'organisation représentant les zones est réalisé. Ainsi, l'évacuation de la zone2 est réalisé une fois dans cette organisation, et il en va de même pour la zone3. Le fait qu'aucun agent ne réalise le but zone1 entraine le non-accomplissement d'une norme de sens commun, et l'envoi d'un signal d'échec (*fail*) du Schemeboard de zones. Cet élément étant partagé, l'Agent de Communication va réaliser des retours sur toutes les tables. Ce mécanisme peut être réalisé de manière générale pour la détection des oublis et des duplications d'efforts.

4.4.3.6 Synthèse

En résumé, le système peut suivre et analyser l'activité humaine durant un entrainement de gestion de crise, au niveau du plan et au niveau de la qualité de la collaboration. Le système peut suivre des activités distantes mais dépendantes (scénario A), gérer les ressources en particulier et les éléments partagés en général (scénarios B et D), et analyser différents points de vue et les différents plans pour différentes organisations (scénarios C et D). En effet, une même action peut être analysée selon différentes spécifications organisationnelles. Notre système met en place la conscience organisationnelle partagée pour soutenir les acteurs de manière située. Les acteurs peuvent obtenir un retour informé sur leurs actions en temps réel, vérifier la validité de leur action en respect avec le plan et celui des acteurs distants, être conscients d'autres facteurs qui impactent la validité de leur action. Ce travail démontre qu'il est possible de réaliser un système d'entrainement qui peut supporter la collaboration entre différents acteurs, en affichant les informations pertinentes à travers un retour informé situé.

.

4.5 Discussion et Perspectives

Les bases de la capacité de notre système à s'intégrer à un réel cas d'utilisation et à pouvoir analyser et interagir selon des modalités permettant de favoriser une conscience organisationnelle partagée ont été démontrées à travers ces expériences.

Plusieurs points pourraient être améliorés dans notre système et son implémentation. Tout d'abord, d'un point de vue de la structure, nous pouvons envisager de séparer les espaces d'activité selon des workspaces, le workspace global et les worspaces de communication seraient des remoteWorkspace. Cela permettrait de s'assurer de garder les éléments locaux non accessibles à distance.

D'un point de vue plus orienté vers l'application, le déroulé d'un plan par le Schemeboard peut actuellement être "bloqué" à un certain moment. Par exemple, cela peut arriver si la première activité d'un plan séquentiel n'a pas été réalisée, aucun des buts suivants ne sera disponible. Il sera alors intéressant de laisser au système la possibilité de "rattraper" le plan plus loin, tout en notant bien les buts non réalisés.

De plus, les normes devraient pouvoir s'ancrer dans l'environnement de la simulation. Pour reprendre l'exemple du scénario A, il serait intéressant que le système compare la déclaration de l'importance de l'inondation avec les informations que peut effectivement obtenir l'utilisateur par le système.

En ajoutant la déclaration explicite d'interdiction à l'implémentation de JaCaMo, il serait possible de détecter de nouvelles incohérences. Ainsi, si dans le scénario C, une action d'envoi d'information est interdite au Maire mais obligatoire pour le représentant PCC (au sein de la Commune ou dans la Commune et chez les Pompiers), une exception pourra être levée.

Pour autant, nous souhaitons noter que le modèle OrA a été entièrement implémenté pour les tests techniques. Et bien qu'imparfaitement implémenté pour la réalisation d'un exercice, le modèle OrA a été testé en situation d'utilisation réelle. Cela a permis de démontrer la capacité du système à formaliser un exercice complet de gestion de crise et les spécifications organisationnelles associées, ainsi que celles liées à plusieurs usages (apprenants, formateurs).

Pour aller plus loin, nous pouvons envisager de tirer parti du suivi individuel des agents, pour un suivi des apprenants. Également, la prise en compte des interactions non perçues par le système (interactions parlées par exemples) pourraient être réalisée. Dans un autre registre, il serait intéressant de pouvoir comparer la compréhension des rôles entre organisations, et donc qu'un Agent puisse essayer d'adhérer à un rôle dans toutes les organisations qui proposent ce rôle. Par exemple, si Clarence, dans le scénario C, adhère au rôle de représentant du PCC, il le serait à la fois dans la Commune et chez les Pompiers.

L'architecture OrA et son implémentation offrent des possibilités intéressantes pour mettre en place une interaction située et une analyse assez complète des incohérences intra- et inter-organisations. L'implémentation de nouveaux mécanismes permettrait d'aller encore plus loin avec la même architecture.

Il est également possible d'envisager de relaxer certaines propriétés pour optimiser ou adapter le système. Par exemple, en ne garantissant pas la propriété de déclarativité (explicitant les analyses), il est possible d'entrainer le système en amont de l'exercice avec des techniques d'apprentissage automatique, et de garantir le temps réel avec moins de puissance de calcul durant la passation de l'exercice. Il est possible de relaxer la propriété de flexibilité et de ne permettre que des "coups prévus" pour les joueurs, et ainsi de simplifier la mise en place de l'interaction. Il est également possible de revenir sur la propriété de suivi évaluatif, et de laisser à l'animateur le soin de fournir des retours informés, limitant ainsi les besoins computationnels liés à l'analyse de l'activité.

Conclusion et perspectives

Après avoir étudié les besoins issus de la préparation à la gestion de crise non adressés à notre connaissance par les outils existants, nous nous sommes penchés sur les besoins identifiés dans l'interaction tangible. Nous en avons extrait trois verrous (gestion des contextes, gestion des process, et articulation de l'interaction et de l'activité soutenue) et trois propriétés (flexibilité, intelligibilité et suivi évaluatif) en chapitre 1. Nous avons étudié l'état de l'art associé aux verrous identifiés, et identifié des pistes de mise en œuvre respectant les trois propriétés (chapitre 2). Nous avons repris ces pistes pour les intégrer aux principes fondateurs de notre modèle OrA, décliné dans un second temps sous une forme multi-agent. Nous avons produit et implémenté le modèle avec une architecture s'appuyant sur la plateforme JaCaMo. A partir de l'implémentation de ce modèle, nous avons réalisé trois cycles expérimentaux visant à vérifier les trois propriétés à la fois lors de la formalisation d'une situation de gestion de crise et d'un scénario d'entrainement à la gestion de crise, puis dans l'utilisabilité de ce modèle en situation (en pertinence avec la dimension applicative de cette thèse), et finalement en étudiant le potentiel du système technique à répondre aux besoins identifiés en simulation sans utilisateur.

Nous allons dans la première section de ce chapitre résumer la thèse défendue et le modèle proposé pour y répondre. Nous aborderons ensuite les contributions dans la deuxième section. La troisième section traitera des limites, avant de présenter les perspectives de notre travail en dernière section.

4.6 Résumé de l'approche

Nous nous sommes intéressés au cadre applicatif de la préparation à la gestion de crise et au cadre technologique de l'interaction tangible. Réaliser un outil pour aider à l'entrainement à la gestion de crise demande de prendre en compte de multiples fils de contexte et de process. Cela concerne autant l'analyse et le suivi de l'activité soutenue des acteurs, à qui il faudra par la suite fournir un retour informé sans les restreindre dans leurs actions, que l'analyse et le suivi de l'activité d'interaction. Dans cette section, nous revenons sur la thèse défendue et le modèle proposé pour répondre à un soutien évaluatif pour une activité collaborative s'inscrivant dans des process et des contextes, supportés par un système informatique proposant des mécanismes d'interaction appropriés . Nous reviendrons dans un premier temps sur les propriétés identifiées pour l'outil à réaliser. Nous résumerons le modèle OrA avant de rappeler les premiers éléments de validation provenant des expériences proposées.

4.6.1 Propriétés de flexibilité, d'intelligibilité et de suivi évaluatif

Suite à l'étude de l'état de l'art, nous avons identifié les propriétés de flexibilité, d'intelligibilité et de suivi évaluatif comme étant nécessaires et suffisantes pour construire un système de soutien évaluatif, fournissant un retour à la fois sur l'activité et sur les process dans le cadre d'une activité multi-organisationnelle, régimentée et susceptible être adaptée de manière ad hoc. Ces propriétés ont été déclinées sur l'interaction et l'activité soutenue

Flexibilité. Face aux différents niveaux de contextes et process, nous avons découplé les étapes du cycle d'exécution (interaction entrante, analyse de l'activité et interaction sortante) ainsi que les différents niveaux de représentation de l'activité (process et contextes). Chacune de ces étapes soutient l'autonomie des joueurs, indépendamment de ce qui est attendu de la part des joueurs. Ces deux principes de découplage et de préservation de l'autonomie nous ont permis de mettre en place la propriété de flexibilité.

Afin d'articuler interaction et activité soutenue, nous avons découplé l'interaction entrante (tangible), l'activité soutenue (gestion de crise) et l'activité sortante (retours virtuels). Ce découplage a permis de préserver l'autonomie de chaque étape de l'analyse de l'activité d'interaction et soutenue.

L'articulation des process et des contextes a été mise en place au travers des dimensions Organisation et Environnement. L'autonomie a pu ainsi être préservée à chaque étape.

Intelligibilité. Face aux différents niveaux de contextes et process, nous avons décrit les étapes du cycle d'exécution (interaction entrante, analyse de l'activité et interaction sortante) ainsi que les différents niveaux de représentation de l'activité (process et contextes). Chaque étape doit être décrite indépendamment les unes des autres, car cette modularité permet de mieux comprendre l'analyse de l'interaction et de l'activité. En résumé, nous avons abordé la notion d'intelligibilité selon deux principes : la description et la modularité.

Pour l'articulation de l'interaction et de l'activité soutenue, nous avons décrit l'interaction entrante (tangible), l'activité soutenue (gestion de crise) et l'activité sortante (retours virtuels). Cela garantit la modularité de chaque étape de l'analyse de l'activité d'interaction et soutenue.

Pour l'articulation des process et des contextes, nous avons décrit chacun des ces aspects dans des dimensions Organisation et Environnement. Cela garantit la modularité pour chaque étape dans l'analyse selon les process et les contextes.

Suivi évaluatif. Les différents niveaux de contextes et process servent de base pour donner une appréciation d'une action durant l'analyse des étapes du cycle d'exécution (interaction entrante, analyse de l'activité et interaction sortante) et des différentes perspectives d'analyse de l'activité (process et contextes). Chaque étape peut être évaluée indépendamment, et l'activité est propagée entre ces étapes et entre les niveaux d'analyse afin de pouvoir proposer un

retour riche sur l'activité. En résumé, nous avons abordé la notion de flexibilité selon deux notions clefs : le découplage et la préservation de l'autonomie. Le suivi évaluatif a été décliné selon deux notions clefs : la propagation et l'appréciation.

Pour l'articulation de l'interaction et de l'activité soutenue, nous avons propagé l'activité à travers l'interaction entrante (tangible), l'activité soutenue (gestion de crise) et l'activité sortante (retours virtuels). Cela garantit une appréciation globale dans l'analyse de l'activité d'interaction et soutenue.

Pour l'articulation des process et des contextes, nous avons propagé l'activité à travers l'interaction entrante (tangible), l'activité soutenue (gestion de crise) et l'activité sortante (retours virtuels). Cela garantit une appréciation individuelle de chaque étape dans l'analyse de l'activité d'interaction et soutenue.

4.6.2 Modèle Ora

Nous nous appuyons sur les propriétés définies ci-dessous, nous avons défini le modèle OrA comme suit :

Système humain et système technique. Dans le modèle OrA, nous avons modélisé les acteurs humains afin de les faire apparaitre comme partie prenante du système socio-technique, bien que leurs réactions ne soient pas maitrisables. Nous considérons l'activité du système humain comme les données d'entrée du système technique. Nous définissons le système technique comme englobant le matériel, l'intergiciel et le logiciel.

Espaces de production, de coordination et de communication : articulation de l'interaction et de l'activité soutenue. Afin de répondre à la problématique de l'interaction activité d'interaction/activité soutenue identifiée dans l'état de l'art, nous avons décomposé le système technique dans OrA en trois sous espaces (modularité). Nous définissons l'espace de production comme le lieu de l'interprétation de l'interaction entrante. Nous définissons l'espace de coordination comme le lieu de l'analyse de l'activité soutenue à partir de l'interaction entrante interprétée en espace de production (propagation) selon la fonctionnalité de l'outil. Le résultat de cette analyse est ensuite transmise (propagation) à l'espace de communication, que nous définissons comme le lieu de la mise en place de retours informés.

Organisation, Traces, Connaissance, Agent : articulation des contextes et des process. Nous avons utilisé les Organisations pour modéliser et décrire les process de manière intelligible, en permettant de déclarer, de suivre et de manipuler de manière modulaire les différentes perspectives organisationnelles que nous avons représentées dans les organisations MOISE. MOISE nous a permis de décrire les organisations selon plusieurs niveaux (structurel, fonctionnel et normatif), tout en garantissant la flexibilité des systèmes normatifs. Nous apportons une description des traces d'activité, en permettant de stocker, de suivre et de

manipuler des données, et en définissant un modèle de traces. Avec ce modèle de trace, nous définissons un cadre pour la structure et la sémantique des traces. Dans notre modèle OrA, nous définissons la structure des traces entre les espaces comme un graphe, afin de pouvoir propager les changements et contextualiser un retour informé avec l'action d'interaction à l'origine de l'analyse réalisée. Nous avons défini les connaissances comme des références a priori qui permettent de faire correspondre un contexte à un sens dans une organisation. Nous avons modélisé les Traces et les Connaissances avec des Artefacts de JaCaMo, permettant d'associer propriétés observables et opérations afin de décrire tous les champs des Traces et des Connaissances avec les Artefacts Cartago. Les Opérations sont utilisables par des Agents BDI Jason. Nous permettons ainsi l'intelligibilité des mécanismes utilisés par ces Agents cognitifs, supporté par une programmation symbolique. De plus, en utilisant des agents, nous favorisons la flexibilité à travers l'implication d'agents. Les agents consultent l'organisation lors de leur activité, et peuvent ainsi réaliser un suivi évaluatif selon les conflits levés par l'organisation normative. Cette organisation peut servir à décrire une syntaxe dans l'interaction entrante (Production), les règles qui régissent l'activité en cours (Coordination) et celles pour la mise en place de retours informés (Communication). L'environnement se distingue en deux sous-ensembles : les données produites durant l'activité à propos de l'activité en cours (les Traces), et les données présentent en amont, nécessaires aux changements de référentiels entre les espaces (les Connaissances). L'interaction entrante et sortante est de l'interaction tangible, qui supporte à la fois la dimension flexible et déclarative lors de la manipulation des objets, et qui permet de fournir des retours par l'affichage de retours informés contextualisés selon les objets.

4.6.3 Validation

Afin de valider notre modèle, nous avons programmé une architecture et réalisé trois cycles expérimentaux.

Mise en œuvre : table TangiSense et framework JaCaMo. Dans notre cadre applicatif, nous avons utilisé un dispositif d'interaction tangible TangiSense. Nous avons utilisé JaCaMo pour la programmation du système multi-agent, qui allie agents Jason, organisation MOISE, et artefacts Cartago (pour les traces et les connaissances).

Posture expérimentale. Nous nous sommes positionnés dans une construction de connaissance scientifique selon le paradigme du constructivisme pragmatique. Cette approche holistique propose de comprendre puis valider les connaissances ; et s'intéresse tant à la situation qu'à sa perception. La logique de compréhension/validation est réalisé selon le cadre du Design Science, et nous avons suivi le déroulement itératif "explorer– co-construire– évaluer".

Expériences. Nous avons dans un premier temps réalisé une acculturation à la gestion de crise (explorer 1), puis nous avons réalisé les premières formalisations de l'activité de gestion

de crise (co-construire 1) avant de le valider en utilisant des Plans Communaux de Sauvegarde et des scénarios réels pour les confronter à des données réelles (évaluer 1). Nous avons ensuite testé l'usage du système en situation réelle en observant des exercices de préparation à la gestion de crise (explorer 2), en développant un outil de préparation à la gestion de crise avec JaCaMo et la table TangiSense en collaboration avec l'animateur de l'exercice (co-construire 2) avant de le valider dans un exercice de gestion de crise d'une commune (évaluer 2). Nous avons finalement étudié le potentiel du système technique proposé, en simulation sans les acteurs. Nous avons donc étudié les retours d'expériences de gestion de crise et d'exercice (explorer 3). Nous en avons extrait des éléments clefs de la collaboration en gestion de crise avec l'IRMa (co-construire 3). Nous avons finalement évalué la capacité du système à réagir face à ces situations en les programmant en simulation afin de vérifier les possibilités du système technique pour les comprendre et les analyser avant d'en fournir un retour (évaluer 3).

Résultats. Nous avons dans un premier temps vérifié la possibilité de formaliser de manière entrecroisée les attendus de la gestion de crise et scénarios d'exercice. Puis, nous avons validé l'usage flexible en situation réelle, en vérifiant en partie l'aspect déclaratif du système à travers son affordance. De plus, les retours évaluatifs ont pu être réalisés et ont été utiles aux acteurs. Finalement, le système offre les moyens de lever de conflits dans une situation complexe et remarquable de problème de collaboration en gestion de crise. Ainsi, le système peut, à partir d'une entrée tangible (simulée), interpréter une activité et l'analyser sans interdire les actions non valides. Le retour informé peut être produit selon le contexte. Une analyse complexe, intelligible, peut rendre compte d'un conflit organisationnel ou multi-organisationnel. La mise en place de plusieurs niveaux d'analyse (règles et leurs violations, et méta-règles et leurs exceptions) permet de lever des conflits explicites et latents en termes d'interaction et d'activité soutenue.

Au delà de l'aspect conceptuel, l'architecture et les formalisations proposées ont été réellement déployées.

4.7 Contributions

Nous allons maintenant prendre davantage de recul sur les contributions. Nous reviendrons sur la manière dont le modèle proposé intègre des éléments de différents domaines de recherche. Nous aborderons comment le modèle OrA unifie les cycles d'interaction et d'analyse. En fin, nous nous pencherons sur la mise en place d'une conscience partagée multi-organisationnelle à travers le système proposé.

Le modèle OrA comme une solution intégrative. Dans l'état de l'art, nous avons vu comment de multiples éléments issus des CSCW, des Traces, des SMA et des systèmes normatifs répondaient en partie à la problématique applicative adressée dans cette thèse. Le modèle OrA propose d'intégrer les Traces et les espaces de Production, de Coordination et de Communication inspirés des modèles de CSCW afin de garantir flexibilité, déclarativité

et suivi évaluatif. Dans sa version multi-agent, nous allons plus loin dans la spécification des éléments du modèle OrA. Nous intégrons ainsi des agents, et qu'une dimension normative. Le modèle OrA multi-agent intègre, en plus des éléments tels que les traces et les concepts des CSCW, les SMA et les systèmes normatifs.

Le modèle OrA comme une architecture unifiée pour le suivi de l'interaction et de l'activité soutenue. Nous avons abordé dans l'état de l'art les avantages des architectures de CSCW conceptuels et fonctionnels, et les modèles hybrides pour combiner leurs points forts. Le modèle OrA propose une architecture unifiée pour l'ensemble des espaces de Production, de Coordination et de Communication. Notre redécoupage de ces espaces permet de lier les fonctionnalités avec le cycle d'interaction. L'utilisation des traces permet de faire le lien entre chacun de ces espaces, par la propagation des informations.

Conscience partagée de l'organisation. Durant nos expériences, nous avons pu montrer que notre système est utilisable en situation réelle. En outre, nous avons montré comment deux niveaux de normes (règles et méta-règles) permettent de développer une conscience multi-organisationnelle dans deux configurations. Dans un premier temps, il est possible d'identifier les différents attendus entre organisations et au sein d'une organisation. Grâce à cela, les incohérences explicites entre organisations peuvent être identifiées dynamiquement quand elles apparaissent. Dans un second temps, nous avons vu qu'il était possible de modéliser des règles sur l'environnement ou sur des critères de bonne collaboration extérieurs aux règles à suivre par les acteurs. Il s'agit de la possibilité d'expliciter des règles non plus sur les moyens, mais sur les résultats. Dans ce cadre, il est possible d'identifier des conflits implicites apparaissant dynamiquement

Évolutivité du modèle. Nous proposons un modèle évolutif. Tout d'abord, la cohabitation de spécifications organisationnelles permet de spécifier différents types d'utilisateurs (notamment, joueurs et animateurs dans notre cas d'étude). De plus, pour un même contexte (par exemple une inondation sur une commune), nous pouvons envisager plusieurs utilisations (apprentissage, aide à la décision), où les modalités d'analyse de l'activité et de l'interaction pourront varier, en proposant différentes spécifications de Production (interaction tangible, souris/clavier, tactile etc.), de Coordination (modèle d'apprenant, modèle des interactions non détectées par le système informatique ect.) et de Communication (retour sur une table tangible, sur un écran, modification des objets etc.). Enfin, selon les besoins, les propriétés proposées (flexibilité, suivi évaluatif et déclarativité) pourront être relaxées.

4.8 Limites

Ce travail présente certaines limites. Il s'agit notamment la validation des processus d'interaction, certaines limites dans l'usage réel et des problématiques liées à l'implémentation.

Limites dans l'étude de l'interaction tangible. Dans notre étude, nous avons apporté une attention particulière à l'espace de coordination, et l'interaction tangible mériterait d'être davantage traitée. En effet, les retours à l'acteur et la conscience multi-organisationnelle partagée reposent d'abord sur une bonne analyse de l'activité en cours selon la situation. Cette analyse est réalisée dans l'espace de coordination. Pour autant, l'interaction entrante doit supporter la flexibilité nécessaire offerte par l'interaction tangible notamment. De plus, la production de retours informés est complexe, et demande de prendre en compte l'activité et la présence d'objets interactifs. L'activité de Production (par exemple la pose d'un objet tangible) avoir une gestion temporelle dynamique de l'activité de Coordination associée (par exemple, l'action de gestion de crise liée à l'objet tangible déposé). Ainsi un objet tangible "évacuer" va être déposé puis retiré (début puis fin de l'action de Production) pour commencer l'"évacuation" en espace de Coordination (début de l'action de Coordination qui n'est pas finie à la fin de l'action de Production).

Limites dans l'analyse de l'activité soutenue. Nous avons réalisé certaines démonstrations techniques afin de vérifier le potentiel d'analyse. Pour un usage réel, il manque néanmoins certains mécanismes, car l'analyse normative actuelle est réalisée à court terme. Entre autres, si une action n'est pas réalisée alors qu'elle est attendue, l'action suivante ne sera pas disponible. Ainsi, si un acteur "oublie" une action, toutes les actions suivantes seront invalides. Notre système nécessiterait un moyen pour permettre le suivi sur plus long terme et détecter que le plan est "rattrapé" plus loin, sans considérer les actions suivantes comme non valides.

4.9 Perspectives

Après avoir vu les limites du système, nous allons en aborder les perspectives. Dans un premier temps nous aborderons des perspectives pour la gestion de l'interaction tangible, réalisables dans des délais assez courts (désambigüisation de l'interaction tangible) ou à plus long terme (intentionnalité dans l'interaction tangible). Nous proposerons ensuite des perspectives pour l'analyse de l'activité soutenue, pouvant être réalisées dans des délais assez courts (boucle socio-technique, incohérence dans l'interprétation des contextes) ou à plus long terme (analyse de l'activité prescrite et réelle).

Activité tangible : Désambigüisation de l'interaction tangible. Dans notre modèle, multi-agent notamment, les spécifications organisationnelles de production représentent la syntaxe de l'interaction tangible. Si cette syntaxe est incorrecte, une perspective serait d'utiliser les spécifications organisationnelles de coordination pour voir si des actions attendues pourraient correspondre à la séquence tangible ambigüe. Cette perspective nécessitera de revoir la propagation de la trace, et d'interroger l'état de l'organisation de Coordination.

Activité tangible : Intentionnalité dans l'interaction tangible. Notre modèle OrA utilise les normes de Production pour détecter la syntaxe des séquences d'objets tangibles

déposés. Or la manière de déplacer des objets à la surface de la table peut correspondre à un pattern d'activité complexe, voire transmettre une intention en soutenant une dimension narrative. Au-delà de l'analyse syntaxique et sémantique, un niveau prosodique pourrait être envisagé. Cette perspective permettrait de tirer parti de l'implication du corps dans l'interaction et d'interpréter des éléments de communication non verbaux. Par exemple, parmi les gestes évoqués dans le premier chapitre, nous pouvons citer la détection de les mouvements hésitants, caractérisé par des allers-retours avec l'objet tangible, la détection de mécanismes pour attirer l'attention des autres acteurs en faisant du bruit en déplaçant l'objet, ou encore la détection de situation où un acteur attend l'approbation des autres acteurs lors de la réalisation d'un mouvement lent.

Activité soutenue : Boucle socio-technique. Le modèle OrA pose des bases pour un système socio-technique. Le système technique a besoin des actions de l'acteur pour pouvoir analyser l'activité, et l'analyse du système technique modifie le comportement des acteurs humains. Nous pourrions aller plus loin en donnant à l'acteur la possibilité de réaliser un suivi évaluatif du système technique. Ainsi, un tangible d'annotation permettrait à l'acteur humain de valider ou d'invalider une analyse du système technique, en déposant ce tangible d'annotation sur un retour informé produit par le système technique. Cela pourrait, par propagation dans la trace, aller jusqu'à modifier la valeur du suivi évaluatif de l'action humaine à l'origine du retour.

Activité soutenue : Détection d'incohérences organisationnelles dans l'interprétation du contexte. Notre modèle OrA présente des Connaissances inspirées des SAI, qui permettent d'associer un élément de contexte dans les Traces à un contexte ayant un sens dans une Organisation. Il serait alors intéressant de mettre en lumière des divergences dans l'interprétation du contexte afin d'aller plus loin pour la mise en place d'une conscience organisationnelle partagée. Plus précisément, l'interprétation d'une même situation pourrait être détectée lorsque dans deux artefacts de Connaissances équivalents (mais utilisés par deux organisations différentes), une même clef renvoie deux valeurs différentes.

Activité soutenue : Analyse de l'activité prescrite et réelle. En ergonomie, une distinction est classiquement utilisée entre l'activité prescrite (la Tâche) et l'activité réelle (l'Activité). Les spécifications normatives représentent la Tâche (prescrite), auxquelles peuvent s'ajouter des éléments de scénarios. Les actions des acteurs non bridées représentent l'Activité. En dehors d'un scénario, le modèle OrA permettrait spécifiquement de suivre la différence entre la Tâche décrite dans une procédure et l'Activité réalisée, pour éventuellement repérer les éléments non adaptés à une utilisation réelle.

Annexe A

Annexe 1

Nous présentons dans cette annexe le déroulé détaillé des liens entre les Traces et les Organisations. Nous séparons les évènements se déroulant dans les organisations et dans les traces, tandis que la logique temporelle est représentée par les lettres de l'alphabet, reportées sur la figure.

A.1 Cycle de Production : objets et séquence

A.1.1 Figure A.1 :

Deux objets tangibles (*observation* et *cellule soutien* sont déposés sur la table par Claude (étape **a** sur la figure A.1), et l'agent le détecte (étape **b**).

Organisation de Production :
- **c**. création d'un nouveau scheme de Production dédié à l'objet *observation* associé au tag 001, suite à sa détection
- **c**. création d'un nouveau scheme de Production dédié à l'objet *cellule soutien* associé au tag 002, suite à sa détection
- **d**. plan "choix" orienté vers la création de trace d'objet dans les deux schemes

Traces de Production :
- **e**. création de la trace de Production correspondant à l'objet **observation**, avec les éléments déjà connus (Id = 1, temps=1, et tag=001)
- **e**. création de la trace de Production correspondant à l'objet **cellule soutien**, avec les éléments déjà connus (Id = 2, temps=2, et tag=002)

A.1.2 Figure A.2 :

L'Agent de Production Claude suit les schemes de Production pour chaque trace.

Organisation de Production :
- **f**. but "nom de l'objet défini" en attente d'être réalisé pour le scheme Tag 001
- **f**. but "nom de l'objet défini" en attente d'être réalisé pour le scheme Tag 002
- **h**. but "nom de l'objet défini" accompli dans le scheme Tag 001

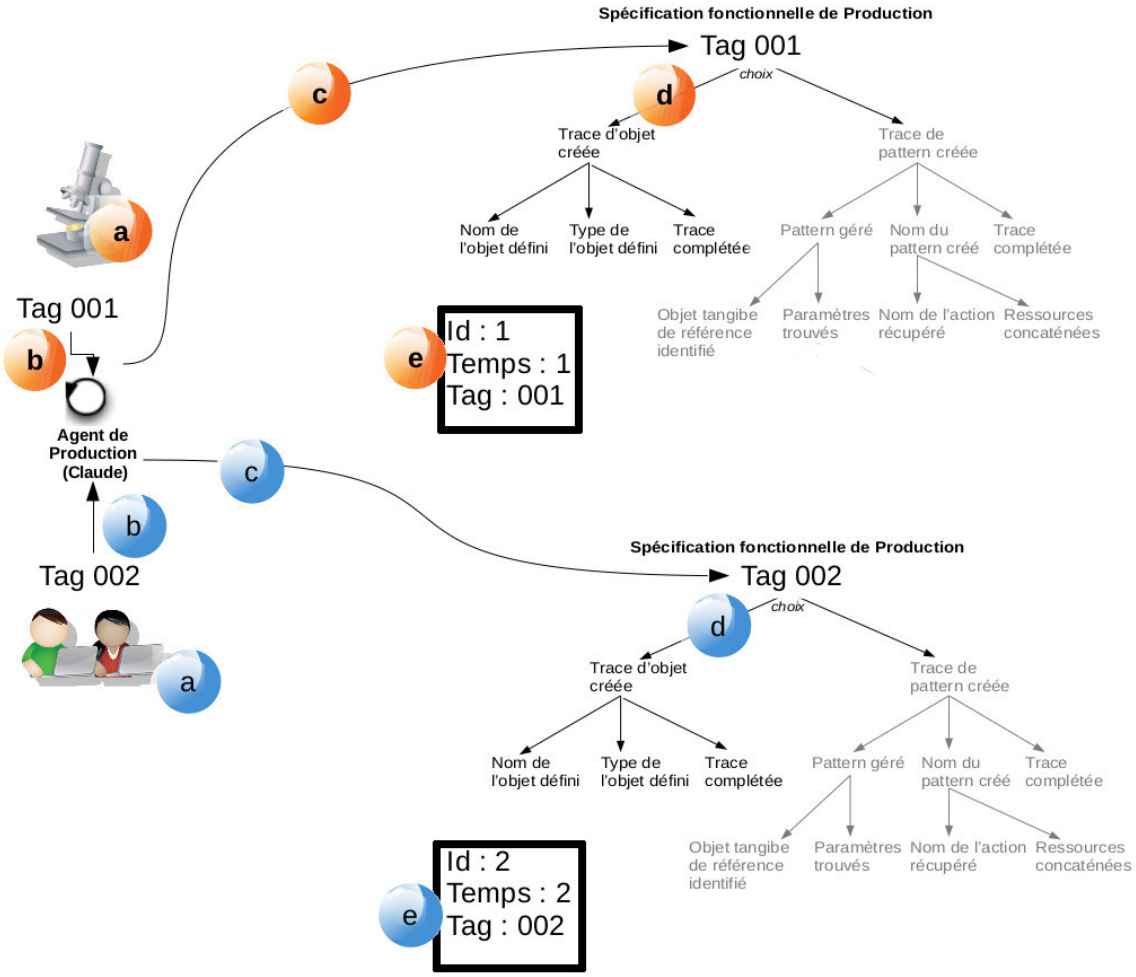


FIGURE A.1 – Déroulé de l'activité de Production (1)

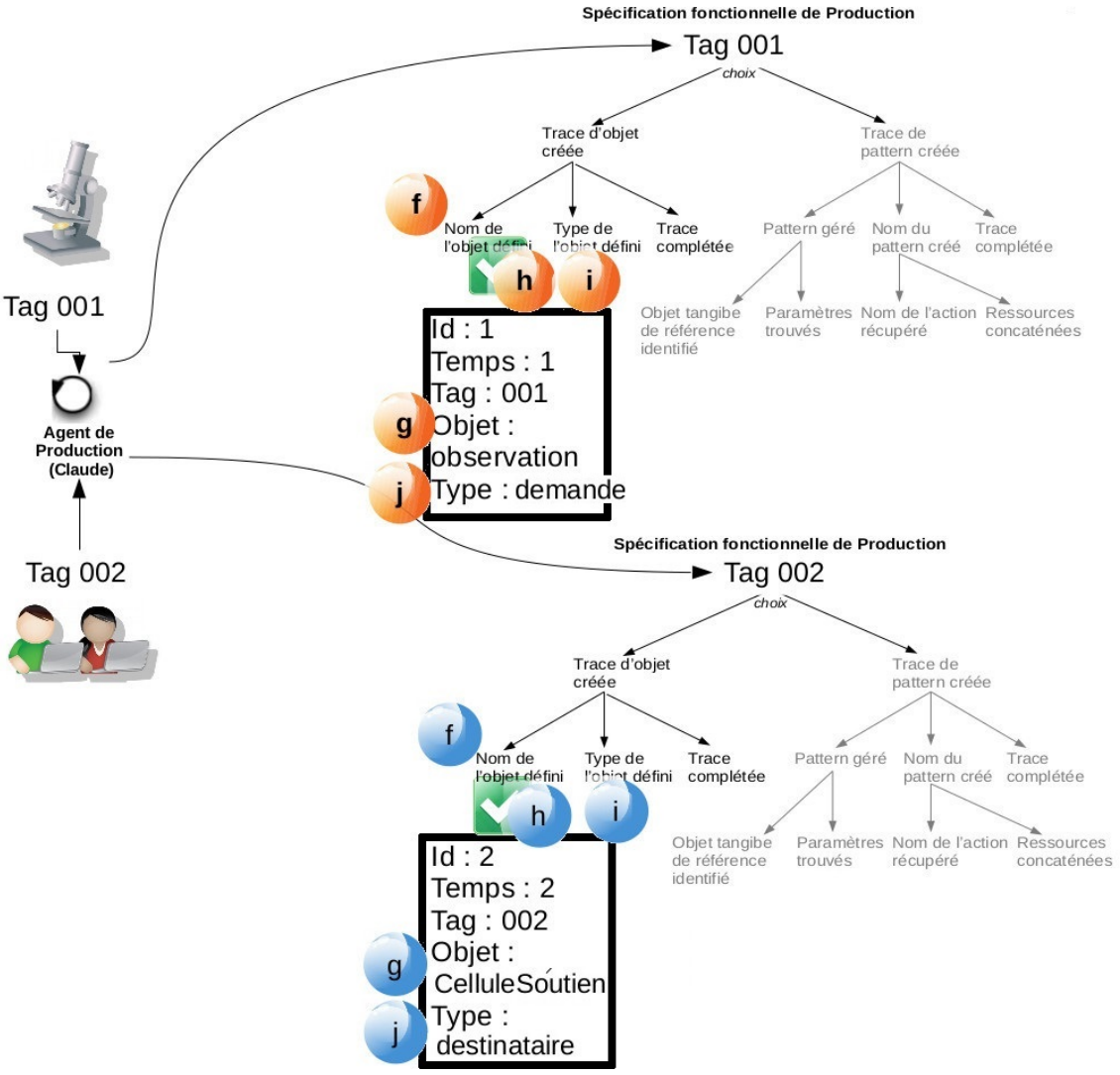


FIGURE A.2 – Déroulé de l'activité de Production (2)

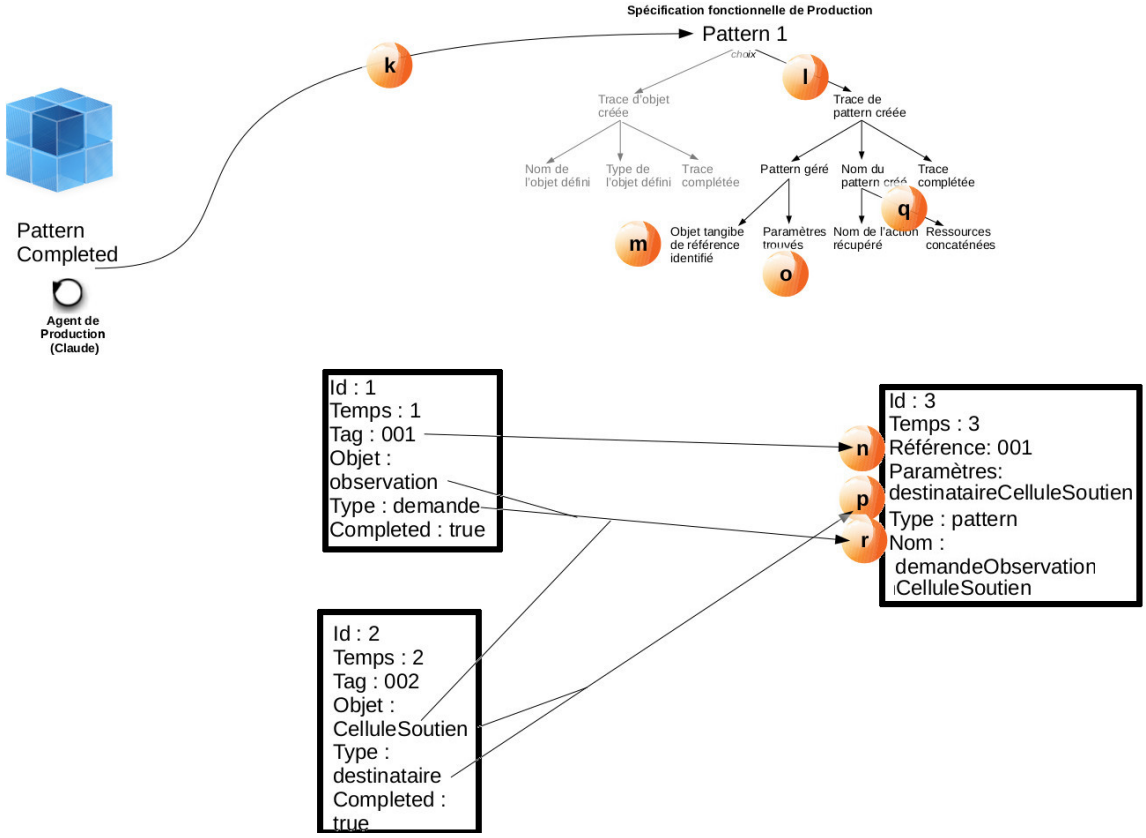


FIGURE A.3 – Déroulé de l'activité de Production (3)

— **h**. but "nom de l'objet défini" accompli dans le scheme Tag 002
— **i**. but "type de l'objet défini" disponible, et maintenant en attente d'être réalisé dans le scheme Tag 001
— **i**. but "type de l'objet défini" disponible, et maintenant en attente d'être réalisé dans le scheme Tag 002

Traces de Production :
— **g**. nom associé au tag 001 de l'objet **observation** ajouté à la trace 1
— **g**. nom associé au tag 002 de l'objet **cellule soutien** ajouté à la trace 2
— **j**. type=**demande** du tag 001 de l'objet observation ajouté à la trace 1
— **j**. type=**destinataire** du tag 002 de l'objet cellule soutien ajouté à la trace 2

A.1.3 Figure A.3 :

Le sous-but "Trace complétée" est disponible, les traces objet 1 et 2 sont donc annotées par "Completed = true". En déposant l'objet "completed", Claude indique que le pattern est complété. Organisation de Production :
— **k**. création d'un nouveau scheme de Production dédié au pattern 1

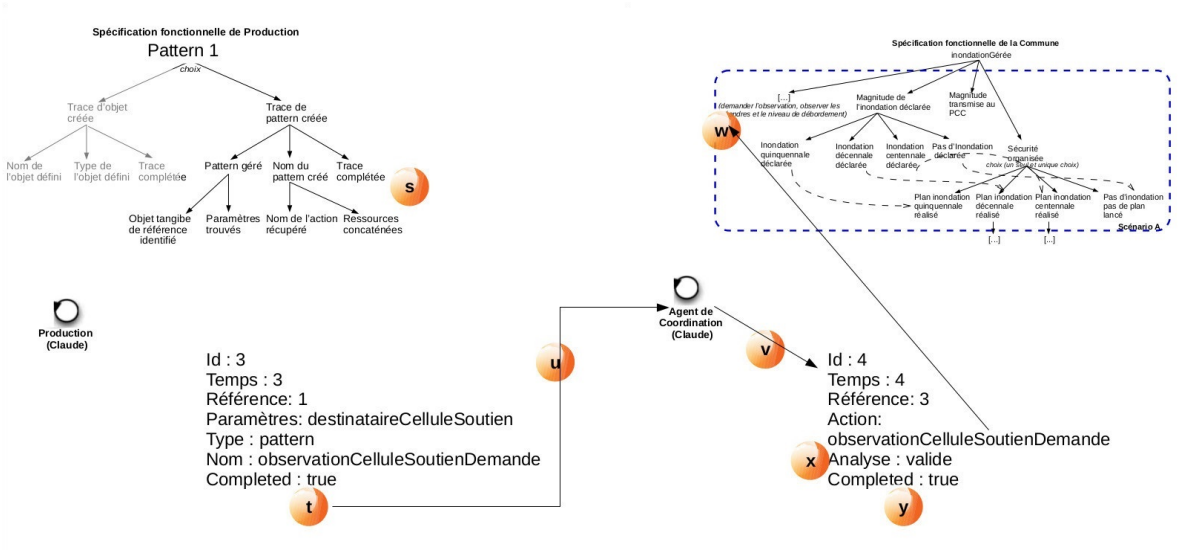


FIGURE A.4 – Déroulé de l'activité de Production jusqu'à la Coordination

— **l**. plan "choix" orienté vers la création de trace de pattern
— **m**. but "Objet tangible de référence identifié" en attente d'être réalisé dans le scheme Pattern 1
— **o**. but "paramètres trouvés" en attente d'être réalisé dans le scheme Pattern 1
— **q**. but "nom du pattern créé"

Traces de Production :
— **n**. tangible de référence=**001** (tangible *observation*) ajouté à la trace 3 (correspondant au pattern), en identifiant le tangible d'*action* de la séquence
— **p**. paramètres=**destinataireCelluleSoutien** ajouté à la trace 3, en identifiant le tangible qui ne sont pas du type *action* de la séquence, et en les concaténant le type avec le nom de l'objet
— **r**. nom du pattern=**demandeObservationCelluleSoutien** ajouté à la trace 3, en concaténant le type avec le nom de l'objet d'action et des paramètres.

A.1.4 Figure A.4 :

La Trace pattern doit être complétée (étape s), ce que réalise l'Agent de Production Claude (étape t). Cela est détecté par l'Agent de Coordination Claude (étape u),

Organisation de Coordination :
— **w**. accomplissement du but avec le nom de l'action "observationCelluleSoutienDemande"

Traces de Coordination :
— **v**. création de la trace 4

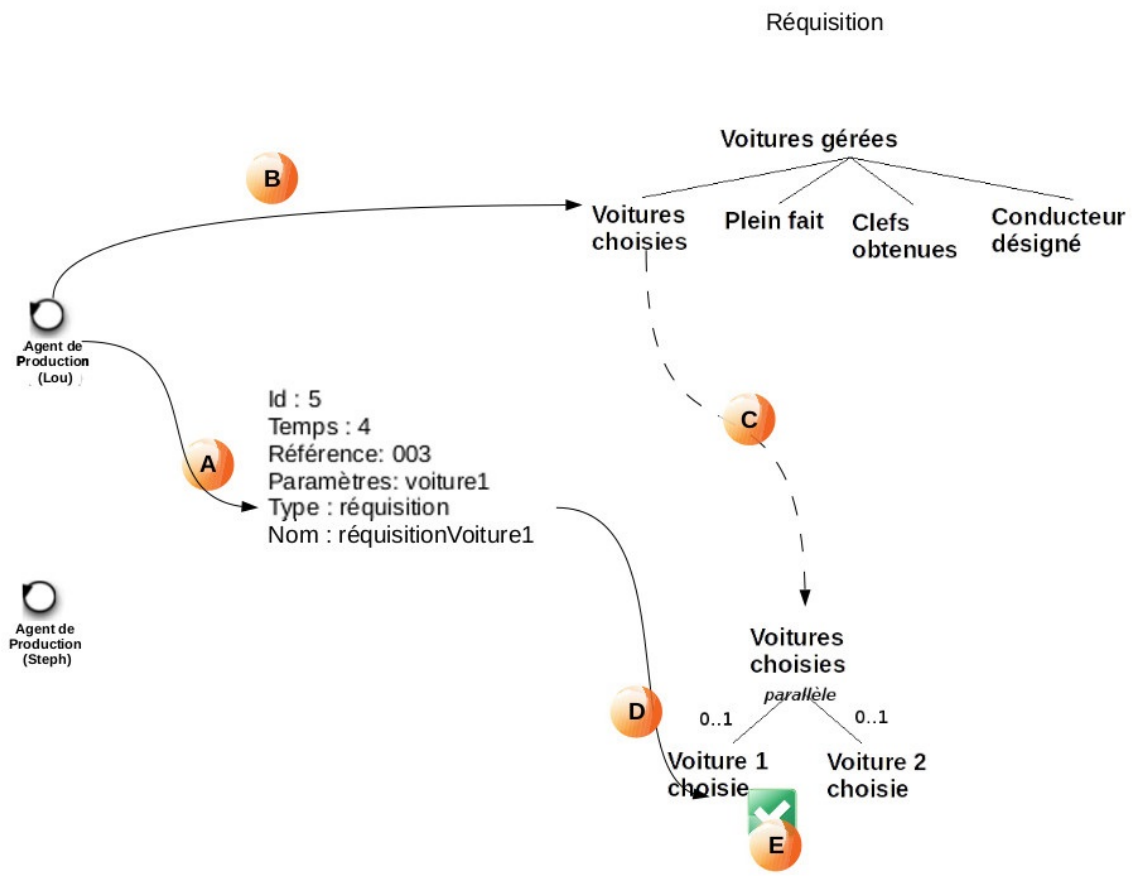


FIGURE A.5 – Déroulé de l'activité de Coordination (1)

— **x**. la validité=**true** ajouté à la trace 4, suite au signal de succès de l'organisation
— **y**. trace 4 annontée comme **complétée**

A.2 Cycle de Coordination : objets partagés

A.2.1 Figure A.5 :

Lou réquisitionne la voiture 1.

Organisation de Coordination :
— **B**. création d'un nouveau scheme de Coordination par l'agent de Coordination Lou dédié à la réquisition de la voiture 1 par Lou
— **C**. le but "Voitures choisies" est associé à un scheme qui gère les ressources voitures
— **D**. le but "Voiture 1 choisie" va être réalisé à partir de la trace "réquisitionVoiture1".
— **E**. le but "Voiture 1 choisie" est accompli une fois

Traces de Coordination :

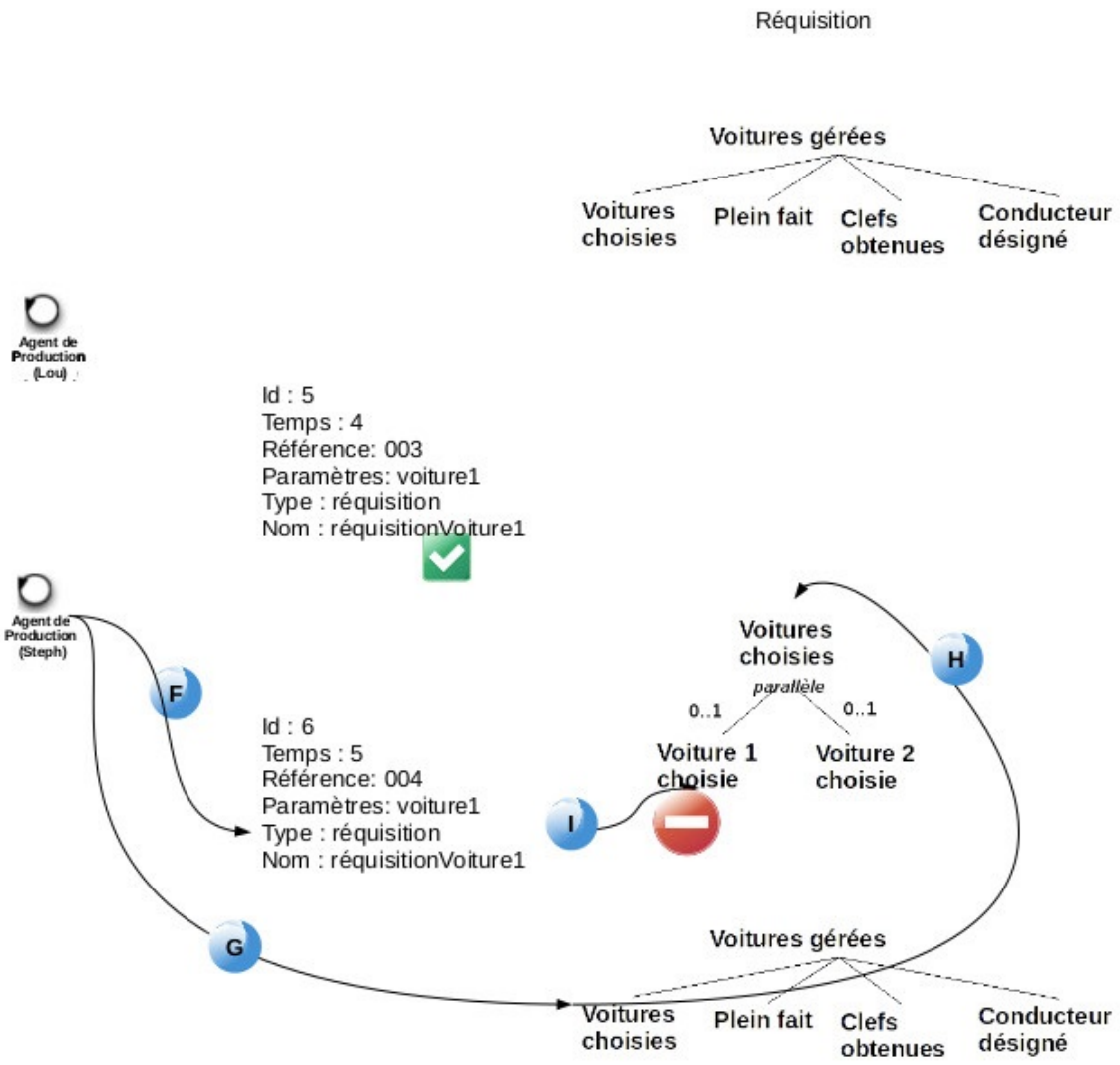


FIGURE A.6 – Déroulé de l'activité de Coordination (2)

— **A**. création de la trace de Coordination par l'agent de Coordination Lou dédié à la réquisition de la voiture 1 par Lou
— **D**. récupération de la valeur liée à Voiture1 pour accomplir le but correspondant dans l'organisation

A.2.2 Figure A.6 :

Steph réquisitionne la voiture 1.

Organisation de Coordination :
— **G**. création d'un nouveau scheme de Coordination par l'agent de Coordination Steph dédié à la réquisition de la voiture 1 par Steph

- **H**. le but "Voitures choisies" est associé à un scheme qui gère les ressources voitures
- **I**. le but "Voiture 1 choisie" ne va pas pouvoir être réalisé, car ce but est déjà réalisé par Lou, et deux réalisations dépasseraient la cardinalité 0..1

Traces de Coordination :

- **F**. création de la trace de Coordination par l'agent de Coordination Steph dédié à la réquisition de la voiture 1 par Steph
- **I**. récupération de la valeur liée à Voiture1 pour accomplir le but correspondant dans l'organisation

Le but "Voitures gérées" du plan partagé n'est pas accompli, car toutes les voitures ne sont pas réquisitionnées. Il le serait s'il n'y avait plus de voiture disponible, ce qui permet de différencier deux les cas de figures.

Bibliographie

ADAM, Emmanuel, Emmanuelle GRISLIN-LE STRUGEON et René MANDIAU (2008). "Flexible hierarchical organisation of role based agents". In : *Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops, 2008. SASOW 2008. Second IEEE International Conference on.* IEEE, p. 186–191 (cf. p. 66).

AFOUTNI, Zoubida (2015). "Un modèle multi-agents pour la représentation de l'action située basé sur l'affordance et la stigmergie". Thèse de doct. Université de la Réunion (cf. p. 82–84).

AHN, Hyung Jun et al. (2005). "Utilizing knowledge context in virtual collaborative work". In : *Decision Support Systems* 39.4, p. 563–582 (cf. p. 55, 57, 60).

ANDRIAMASINORO, Fenintsoa et Remy COURDIER (2004). "Integration of generic motivations in social hybrid agents". In : *Regulated Agent-Based Social Systems.* Springer, p. 281–300 (cf. p. 83).

BACON, Liz, Gill WINDALL et Lachlan MACKINNON (2012). "The development of a rich multimedia training environment for crisis management : using emotional affect to enhance learning". In : *Research in Learning Technology* 19 (cf. p. 2, 24).

BALET, O et al. (2008). "The Crimson Project. Simulating populations in massive urban environments. 8th". In : *World Congress on Computational Mechanics (WCCM8)* (cf. p. 2, 24).

BANDINI, Stefania, Sara MANZONI et Carla SIMONE (2002). "Dealing with space in multi–agent systems : a model for situated MAS". In : *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems : part 3.* ACM, p. 1183–1190 (cf. p. 64, 81).

BOISSIER, Olivier, Sylvain GITTON et Pierre GLIZE (2004). "Caractéristiques des Systèmes et des Applications". In : *Systèmes multi-agents / Observatoire français des techniques avancées, ARAGO 29.* Sous la dir. d'Observatoire Français des TECHNIQUES AVANCÉES. Diffusion Editions TEC & DOC, pp 25–54 (cf. p. 80, 83).

BOISSIER, Olivier, Jomi Fred HÜBNER et Alessandro RICCI (2016). "The JaCaMo Framework". In : *Social Coordination Frameworks for Social Technical Systems.* Sous la dir. de Virginia Dignum Pablo Noriega Julian Padget HUIB ALDEWERELD Olivier Boissier. T. 30. Law, Governance and Technology Series. Springer International Publishing, pp 125–151 (cf. p. 4, 83, 86).

BOISSIER, Olivier et al. (2013). "Multi-agent oriented programming with JaCaMo". In : *Science of Computer Programming* 78.6, p. 747–761 (cf. p. 105, 114).

BORDINI, Rafael H, Jomi Fred HÜBNER et Michael WOOLDRIDGE (2007). *Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason.* T. 8. John Wiley & Sons (cf. p. 4, 86).

BÜSCHER, Monika et Preben Holst MOGENSEN (2007). "Designing for material practices of coordinating emergency teamwork". In : *Proceedings of the 4th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*, p. 1–11 (cf. p. 2, 22, 23).

CAELEN, Jean et Anne XUEREB (2007). "Interaction et pragmatique". In : *Jeux de dialogue et de langage, Hermès-Lavoisier, Paris* (cf. p. 42).

CAI, Guoray (2005). "Extending distributed GIS to support geo-collaborative crisis management". In : *Geographic information sciences* 11.1, p. 4–14 (cf. p. 20, 21, 36).

CALVARY, Gaëlle et al. (2004). "Adaptation des interfaces homme-machine à leur contexte d'usage : Plasticité des IHM". In : *Revue d'intelligence artificielle* 18.4, p. 577–606 (cf. p. 59).

CARROLL, John M et al. (2003). "Notification and awareness : synchronizing task-oriented collaborative activity". In : *International Journal of Human-Computer Studies* 58.5, p. 605–632 (cf. p. 60).

CERNEA, Daniel et al. (2012). "Tangible and wearable user interfaces for supporting collaboration among emergency workers". In : *Collaboration and Technology*. Springer, p. 192–199 (cf. p. 20, 22, 36).

CHAMPIN, Pierre-Antoine, Yannick PRIÉ et Alain MILLE (2003). "Musette : Modelling uses and tasks for tracing experience". In : *ICCBR*. T. 3, p. 279–286 (cf. p. 63).

CHEAIB, Nader (2010). "Contribution à la malléabilité des collecticiels : une approche basée sur les services web et les agents logiciels". Thèse de doct. Université d'Evry-Val d'Essonne (cf. p. 84, 85).

CHELLA, Antonio et al. (2004). "From passi to agile passi : Tailoring a design process to meet new needs". In : *Intelligent Agent Technology, 2004.(IAT 2004). Proceedings. IEEE/WIC/ACM International Conference on*. IEEE, p. 471–474 (cf. p. 83).

COUTAZ, Joëlle (1988). "Interface Homme-Ordinateur : Conception et Réalisation". Thèse de doctorat d'Etat ès sciences Mathématiques, préparée au Laboratoire de Génie Informatique (IMAG), Université Joseph Fourier 402 pages. Thèses et habilitations (cf. p. 75).

COUTAZ, Joëlle et al. (1987). "PAC : an implementation model for dialog design". In : *Proceedings of INTERACT*. T. 87, p. 431–436 (cf. p. 75).

COUTHON, Christopher, Régis MARTINEAU et Pascal SALEMBIER (2014). "De la qualité de la coopération à l'identification d'indicateurs de pilotage". In : *IC-25èmes Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances*, p. 119–124 (cf. p. 64).

CRAM, Damien, Denis JOUVIN et Alain MILLE (2007). "Visualisation interactive de traces et réflexivité : application à l'EIAH collaboratif synchrone eMédiathèque". In : *Revue Sticef.org* 21.07 (cf. p. 63).

DA SILVA, Joao Luis T et Yves DEMAZEAU (2002). "Vowels co-ordination model". In : *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems : part 3*. ACM, p. 1129–1136 (cf. p. 4, 82).

DARWICH AKOUM, Hind (2014). "Approche organisationnelle basée sur le paradigme agent pour la synthèse et la réutilisation des connaissances en ingénierie collaborative". Thèse de doct. Université de Lorraine (cf. p. 62, 63).

DE BRITO, Maiquel, Jomi Fred HÜBNER et Olivier BOISSIER (2014). "A conceptual model for situated artificial institutions". In : *Computational Logic in Multi-Agent Systems*. Springer, p. 35–51 (cf. p. 82).

DELOMIER, Florent (2013). "Jeux Pédagogiques Collaboratifs Situés : Conception et mise en œuvre dirigées par les modèles". Thèse de doct. Ecole Centrale de Lyon (cf. p. 71).

DEWAN, Prasun (2001). "An integrated approach to designing and evaluating collaborative applications and infrastructures". In : *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 10.1, p. 75–111 (cf. p. 74).

DIGNUM, MV et al. (2004). "A model for organizational interaction : based on agents, founded in logic". Thèse de doct. (cf. p. 68).

DIGNUM, Virginia, Javier VÁZQUEZ-SALCEDA et Frank DIGNUM (2004). "A model of almost everything : Norms, structure and ontologies in agent organizations". In : *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 3*. IEEE Computer Society, p. 1498–1499 (cf. p. 83).

DUGDALE, Julie et al. (2004). "Emergency fire incident training in a virtual world". In : t. 167 (cf. p. 24).

ESENTHER, Alan et al. (2002). "Diamondtouch sdk : Support for multi-user, multi-touch applications". In : *Mitsubishi Electronics Research Laboratory, Report No. TF2002-48* (cf. p. 36).

FALCÃO, T. P. et S. PRICE (2011). "Interfering and resolving : How tabletop interaction facilitates co-construction of argumentative knowledge". In : *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* 6.4, 539–559 (cf. p. 40).

FERBER, Jacques, Olivier GUTKNECHT et Fabien MICHEL (2003). "From agents to organizations : an organizational view of multi-agent systems". In : *Agent-Oriented Software Engineering IV*. Springer, p. 214–230 (cf. p. 69).

FERNAEUS, Y. et J. THOLANDER (2006). ""Looking At the Computer but Doing It On Land" : Children's Interactions in a Tangible Programming Space". In : *People and computers XIX—The bigger picture*. Springer, 3–18 (cf. p. 39).

FERRARIS, Christine et Christian MARTEL (2000). "Regulation in groupware : the example of a collaborative drawing tool for young children". In : *Groupware, 2000. CRIWG 2000. Proceedings. Sixth International Workshop on*. IEEE, p. 119–127 (cf. p. 72).

FISCHER, Gerhard et Yunwen YE (2001). "Exploiting context to make delivered information relevant to tasks and users". In : *Proc. UM'2001 Workshop on User Modelling in Context-Aware Applications* (cf. p. 59).

FISHKIN, K. P. (2004). "A taxonomy for and analysis of tangible interfaces". In : *Personal and Ubiquitous Computing* 8, 347–358 (cf. p. 38, 41).

FLECK, R. et al. (2009). "Actions speak loudly with words : unpacking collaboration around the table". In : *Proceedings of the ACM international conference on interactive tabletops and surfaces*. ACM, 189–196 (cf. p. 40, 41).

GOLDKUHL, Göran et Ewa BRAF (2001). "Contextual knowledge analysis-understanding knowledge and its relations to action and communication". In : *Second European Conference on Knowledge Management : Bled School of Management Bled, Slovenia, 8-9 November 2001*. Academic Conferences Limited, p. 197 (cf. p. 57).

GOMEZ-SANZ, Jorge J et al. (2008). "INGENIAS development kit : a visual multi-agent system development environment". In : *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems : demo papers*. International Foundation for Autonomous Agents et Multiagent Systems, p. 1675–1676 (cf. p. 83).

HEVNER, Alan R (2007). "A three cycle view of design science research". In : *Scandinavian journal of information systems* 19.2, p. 4 (cf. p. 146).

HILL, Ralph D (1992). "The abstraction-link-view paradigm : using constraints to connect user interfaces to applications". In : *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems.* ACM, p. 335–342 (cf. p. 75).

HMIDA, Faten Ben (2013). "Évakuation des performances des SMA". Thèse de doct. Université Bordeaux I ; Université de la Manouba, Tunisie (cf. p. 80, 81, 84).

HOLMQUIST, L. E., J. REDSTRÖM et P. LJUNGSTRAND (1999). "Token-based access to digital information". In : *Handheld and Ubiquitous Computing.* Springer, 234–245 (cf. p. 38).

HORN, M. S. et al. (2009). "Comparing the use of tangible and graphical programming languages for informal science education". In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* ACM, 975–984 (cf. p. 39).

HORNECKER, E. (2005). "A Design Theme for Tangible Interaction : Embodied Facilitation." In : *ECSCW.* T. 5. Springer, 23–43 (cf. p. 56).

HORNECKER, E. et J. BUUR (2006). "Getting a Grip on Tangible Interaction : A Framework on Physical Space and Social Interaction". In : (cf. p. 35).

HUBNER, Jomi F, Jaime S SICHMAN et Olivier BOISSIER (2007). "Developing organised multiagent systems using the MOISE+ model : programming issues at the system and agent levels". In : *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering* 1.3-4, p. 370–395 (cf. p. 4, 69).

HUBNER, Jomi Fred, Jaime Simao SICHMAN et Olivier BOISSIER (2002). "Specification structurelle, fonctionnelle et deontique d'organisations dans les sma". In : *JFIADSMA* 2 (cf. p. 81).

ISHII, H. (2008). "Tangible bits : beyond pixels". In : *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction.* ACM, xv–xxv (cf. p. 35).

ISHII, H. et B. ULLMER (1997). "Tangible bits : towards seamless interfaces between people, bits, and atoms". In : *CHI'97 conference on human factors in computing systems.* Atlanta (Georgia), 234–241 (cf. p. 35).

JAMONT, Jean-Paul et Michel OCCELLO (2006). "Une approche multi-agents pour la gestion de la communication dans les réseaux de capteurs sans fil". In : *Revue des Sciences et Technologies de l'Information-Série TSI : Technique et Science Informatiques* 25.5, p. 661–690 (cf. p. 81).

JEANNE, Florian et Indira THOUVENIN (2015). "KIVA : environnement virtuel informé pour la formation au geste technique". In : *10èmes journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, Augmentée, Mixte et d'Interaction 3D* (cf. p. 65).

JENNINGS, Nick R (1996). "Coordination techniques for distributed artificial intelligence". In : *Foundations of distributed artificial intelligence*, p. 187–210 (cf. p. 84).

JOURDE, F., Y. LAURILLAU et L. NIGAY (2009). "Collecticiels : neuf degrés de couplage". In : *Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine.* ACM, p. 265–272 (cf. p. 41).

KARSENTY, A (1994). "Le collecticiel : de l'interaction homme-machine à la communication homme-machine-homme". In : *TSI. Technique et science informatiques* 13.1, p. 105–127 (cf. p. 9).

KHEZAMI, Narjes, Samir OTMANE et Malik MALLEM (2005). "A new interface for collaborative teleoperation". In : *IFAC Proceedings Volumes* 38.1, p. 6–11 (cf. p. 66, 82, 85).

KLEMKE, Roland (2000). "Context Framework-an Open Approach to Enhance Organisational Memory Systems with Context Modelling Techniques." In : *PAKM*. T. 3 (cf. p. 57, 59, 64, 68, 89).

KLEMMER, S. R., B. HARTMANN et L. TAKAYAMA (2006). "How bodies matter : five themes for interaction design". In : *Proceedings of the 6th conference on Designing Interactive systems*. ACM, 140–149 (cf. p. 41).

KOLEVA, B. et al. (2003). "A framework for tangible user interfaces". In : *Physical Interaction (PI03) Workshop on Real World User Interfaces*, p. 46–50 (cf. p. 35, 37, 38).

KOLSKI, Christophe et Emmanuelle LE STRUGEON (1998). "A review of intelligent human-machine interfaces in the light of the ARCH model". In : *International Journal of Human-Computer Interaction* 10.3, p. 193–231 (cf. p. 72).

KUBICKI, Sébastien et al. (2009a). "Exploitation de la technologie RFID associée à une table interactive avec objets tangibles et traçables, Application à la gestion de trafic routier". In : *Génie logiciel* 31, p. 41–45 (cf. p. 36).

KUBICKI, Sébastien et al. (2009b). "TangiSense : présentation d'une table interactive avec technologie RFID permettant la manipulation d'objets tangibles et traçables". In : *Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*. ACM, p. 351–354 (cf. p. 35).

LAURILLAU, Yann et Laurence NIGAY (2002a). "Clover architecture for groupware". In : *Proceedings of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work*. ACM, p. 236–245 (cf. p. 3, 71).

— (2002b). "Le modèle d'architecture Clover pour les collecticiels". In : *Proceedings of the 14th Conference on l'Interaction Homme-Machine*. ACM, p. 113–120 (cf. p. 72).

LEBRUN, Yoann (2012). "Architecture multi-agent pour la gestion d'objets tangibles et virtuels sur Table Interactive". Thèse de doct. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis (cf. p. 59, 66, 84).

LOUKA, Michael N et Claudio BALDUCELLI (2001). "Virtual reality tools for emergency operation support and training". In : *Proceedings of TIEMS (The International Emergency Management Society), Oslo* (cf. p. 2, 24).

LUND, Kris et Alain MILLE (2009). "Traces, traces d'interactions, traces d'apprentissages : définitions, modèles informatiques, structurations, traitements et usages". In : *Analyse de traces et personnalisation des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Hermès*, p. 21–66 (cf. p. 62, 101).

MANDRAN, Nadine (2015). "Méthode de conduite de la recherche en informatique centrée humain : processus et inclusion d'une démarche centrée utilisateur". working paper or preprint (cf. p. 146).

MANDRAN, Nadine, Sophie DUPUY-CHESSA, Dominique RIEU et al. (2013). "Démarche centrée utilisateur pour une ingénierie des langages de modélisation de qualité". In : *Ingénierie des systèmes d'information* 18.3 (cf. p. 146).

MARSHALL, P. (2007). "Do tangible interfaces enhance learning". In : *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*. ACM, 163–170 (cf. p. 39).

MAUS, Heiko (2001). "Workflow context as a means for intelligent information support". In : *Modeling and Using Context*. Springer, p. 261–274 (cf. p. 59).

MONTICOLO, Davy (2015). "Approches organisationnelles pour la conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances ; Application aux projets d'ingénierie et d'innovation Composition du jury". Accreditation to supervise research. Université de Lorraine (cf. p. 83).

NOWACKA, D. et D. KIRK (2014). "Tangible Autonomous Interfaces (TAIs) : Exploring Autonomous Behaviours in TUIs". In : *8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI'14)*. ACM. Munich (Allemagne), 234–241 (cf. p. 35).

OUADOU, Kamel Eddine (1994). "AMF : Un modèle d'architecture multi-Agents Multi-Facettes pour Interfaces Hommes-Machine et les outils associés". Thèse de doct. (cf. p. 75).

PARAISO, Emerson Cabrera et Cesar A TACLA (2009). "Using Embodied Conversational Assistants to Interface Users with Multi-Agent Based CSCW Applications : The WebAnima Agent". In : *J. UCS* 15, p. 1991–2010 (cf. p. 64, 81).

PATTERSON, John F (1995). "A taxonomy of architectures for synchronous groupware applications". In : *ACM SIGOIS Bulletin* 15.3, p. 27–29 (cf. p. 74).

PEREDA, J. et L. ISAKSEN (2014). "Developing Downloadable TUIs for Online Pedagogic Activities". In : *8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI'14)*. ACM. Munich (Allemagne) (cf. p. 38).

PUTTEN, Bart-Jan van et al. (2008). "Opera and brahms : a symphony ?" In : *Agent-Oriented Software Engineering IX*. Springer, p. 257–271 (cf. p. 68).

RAS, E. et al. (2012). "Empirical studies on a tangible user interface for technology-based assessment : Insights and emerging challenges". In : *International Journal of e-Assessment (IJEA), CAA*, 201–241 (cf. p. 35, 41).

RATTI, C. et al. (2004). "Tangible User Interfaces (TUIs) : a novel paradigm for GIS". In : *Transactions in GIS* 8.4, 407–421 (cf. p. 36, 40).

RICCI, Alessandro, Mirko VIROLI et Andrea OMICINI (2007). "Give agents their artifacts : the A&A approach for engineering working environments in MAS". In : *Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*. ACM, p. 150 (cf. p. 4, 86).

ROGERS, Yvonne, Youn-Kyung LIM et William R HAZLEWOOD (2006). "Extending tabletops to support flexible collaborative interactions". In : *Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2006. TableTop 2006. First IEEE International Workshop on*. IEEE, 8–pp (cf. p. 36, 38, 41).

SAMAAN, Kinan et Franck TARPIN-BERNARD (2004). "The AMF architecture in a multiple user interface generation process". In : *Developing User Interfaces with XML, AVI'2004 Workshop* (cf. p. 78).

SAMIR, Otmane. "GI81 : Réseaux et Travail Collaboratif, Partie I : Travail Collaboratif (M1 GEII et M1 RVSI)". cours (cf. p. 73, 74, 76–78).

SANOU, Loé et al. (2008). "Tester la conformité d'une IHM à son modèle de tâches". In : *Proceedings of the 20th Conference on l'Interaction Homme-Machine*. ACM, p. 159–162 (cf. p. 65, 154).

SETTOUTI, Lotfi Sofiane et al. (2006). "Systèmes à base de trace pour l'apprentissage humain". In : *Colloque international TICE* (cf. p. 63).

SHAER, O. et al. (2004). "The TAC paradigm : specifying tangible user interfaces". In : *Personal and Ubiquitous Computing* 8.5, 359–369 (cf. p. 47).

SINGH, Munindar P (2013). "Norms as a basis for governing sociotechnical systems". In : *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)* 5.1, p. 21 (cf. p. 59, 68).

STANTON, D. et al. (2001). "Classroom collaboration in the design of tangible interfaces for storytelling". In : *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM, 482–489 (cf. p. 40).

STEINFIELD, Charles, Chyng-Yang JANG et Ben PFAFF (1999). "Supporting virtual team collaboration : the TeamSCOPE system". In : *Proceedings of the international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work*. ACM, p. 81–90 (cf. p. 56, 60, 64).

TARPIN-BERNARD, Franck, BT DAVID et P PRIMET (1999). "Frameworks and patterns for synchronous groupware : AMF-C approach". In : *Engineering for Human-Computer Interaction*. Springer, p. 225–241 (cf. p. 75).

THOUVENIN, Indira Mouttapa (2009). "HdR Interaction et connaissance : construction d'une expérience dans le monde virtuel". Thèse de doct. Université de Technologie de Compiègne (cf. p. 65).

ULLMER, B. A. (2002). "Tangible interfaces for manipulating aggregates of digital information". Thèse de doct. Massachusetts Institute of Technology (cf. p. 38, 47).

ULLMER, Brygg et Hiroshi ISHII (2000). "Emerging frameworks for tangible user interfaces". In : *IBM systems journal* 39.3.4, p. 915–931 (cf. p. 38).

VERDEL, Thierry et al. (2010). "Crisis™ : un dispositif original de simulation de gestion de crise". In : *17e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement* (cf. p. 2, 22).

VOIDA, Stephen et al. (2002). "Integrating virtual and physical context to support knowledge workers". In : *Pervasive Computing, IEEE* 1.3, p. 73–79 (cf. p. 56).

WICKLER, Gerhard et al. (2011). "The Virtual Collaboration Environment : New Media for Crisis Response". In : *Proceedings of the 8th International ISCRAM Conference–Lisbon*. T. 1 (cf. p. 2, 24).

XUEREB, Anne et Jean CAELEN (2004). "Un modèle d'interprétation pragmatique en dialogue homme-machine basé sur la SDRT". In : *Journées scientifiques Sémantique et Modélisation, Lyon* (cf. p. 58).

YAO, Xiang, Murray TUROFF et R HILTZ (2010). "A field trial of a collaborative online scenario creation system for emergency management". In : *Proc. 7th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2010)* (cf. p. 2, 8, 11, 26).

ZUCKERMAN, O. et al. (2005). "Extending tangible interfaces for education : digital montessori-inspired manipulatives". In : *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM, 859–868 (cf. p. 39).

Résumé —

Nous nous interrogeons sur la possibilité d'assister un travail collaboratif par ordinateur en proposant un soutien évaluatif à la fois sur l'activité collaborative et à la fois sur les process qui régissent cette activité (règles, plans, normes). En termes de suivi de l'activité soutenue par un tel collecticiel, la première difficulté réside dans le fait que l'on ne peut faire l'hypothèse ni de l'aspect correct de l'activité comme référence pour évaluer les process, ni de l'aspect correct des process comme référence pour évaluer l'activité. De plus, déployer un collecticiel nécessite de gérer l'activité d'interaction, en plus de l'activité soutenue. En définissant comme cadre applicatif la gestion de crise et l'entrainement à la gestion de crise, et comme cadre technologique l'interaction tangible, nous proposons d'étudier la mise en place d'un système socio-technique pour le soutien évaluatif afin de déployer une conscience multi-organisationnelle dans un contexte distribué. Nous proposons de traiter dans cette thèse trois verrous : (1) la gestion des différents fils de contextes (de l'activité soutenue et de l'interaction), (2) différents fils de process (de l'activité soutenue et de l'interaction), et (3) l'articulation de l'activité soutenue et de l'interaction (incluant des contextes et des process).

Notre approche nous amène à présenter le modèle OrA, qui propose d'articuler process et contexte, et d'articuler activité soutenue et activité d'interaction. Nous nous attacherons dans OrA à respecter trois propriétés : l'***intelligibilité*** à travers la *modularité* et la *description* des éléments de process et de contexte, et de l'activité soutenue et de l'interaction, la ***flexibilité*** à travers le *découplage* et la *préservation de l'autonomie* entre les éléments de process et de contexte, et de l'activité soutenue et de l'interaction, le ***suivi évaluatif*** à travers la *propagation* et l'*appréciation* des éléments de process et de contexte, et de l'activité soutenue et de l'interaction.

Pour cela, nous nous inspirons des modèles pour les collecticiels, avec en particulier les espaces de CLOVER, de la gestion de contexte avec en particulier les Traces, de la gestion des process avec en particulier les Organisations normatives, et de l'articulation des process et des contextes avec en particulier les SMA. Nous proposons d'articuler de manière homogène les approches conceptuelles et fonctionnelles des collecticiels, en considérant que chaque étape de l'interaction Humain-Machine-Humain suit sa propre logique fonctionnelle. Nous montrerons comment nous arrivons à proposer un soutien évaluatif à la fois sur l'activité des utilisateurs Humains et sur les process associés à cette activité, selon différents niveaux de process.

Nous évaluerons ce modèle en démontrant la possibilité de modéliser les process d'un cas pratique d'exercice de gestion de crise, puis en proposant une utilisation en situation d'un exercice réel d'entrainement à la gestion de crise. Nous aborderons finalement plus en détail à travers quatre situations simulées les possibilités d'interaction tangible, d'analyse d'activité et de mise en place de retours informés.

Mots clés :

Collaboration assistée par ordinateur, interaction humain-machine, systèmes multi-agents normatifs, gestion de crises

Abstract —

We address the possibility of regulating collaborative work by offering evaluative support both about the collaborative activity and about the processes that guide this activity (rules, plans, standards, norms). In designing a groupware tool, the first difficulty of monitoring the activity is that neither the activity can be assumed to be correct as a reference for evaluating the processes, nor can the processes be assumed to be correct as a reference for evaluating the activity. Moreover, deploying a groupware tool requires managing and sustaining the interaction activity. We use crisis management and in particular training in crisis management as the application case study, and tangible interaction as the technological support. From this we establish a socio-technical system for evaluative support in order to deploy multi-organizational awareness in a distributed context. In this document, we treat three main issues : the management of (1) the different threads of contexts (sustained activity and interaction), and of (2) the different process threads (sustained activity, and interaction), and of (3) the articulation of sustained activity and interaction (including contexts and processes). Our approach brings us to design the OrA model, which articulates process and context, and articulates sustained activity and interaction activity. Three properties are respected in OrA : 1. ***intelligibility*** through the *modularity* and the *description* of the process and context elements, together with the sustained activity and the interaction ; 2. ***flexibility*** through *decoupling* and the *preservation of autonomy* between process and context elements, and the sustained activity and the interaction : 3. ***evaluative monitoring*** through the *propagation* and the *appreciation* of the process and context elements, and the sustained activity and the interaction. To this aim, we take inspiration from groupware models, in particular CLOVER spaces. We also take inspiration from the context management with the Traces in particular. We take inspiration from the process management with in particular the normative Organizations, and from process and context articulation with in particular the MAS. We propose to articulate in a homogeneous model the conceptual and the functional groupware approaches, considering that each step in Human-Machine-Human interaction follows its own functional rules. We show how we can offer evaluative support on both the activity of human users and the processes associated with this activity, according to different process levels.

We evaluate our approach by modelling the processes of a practical crisis management exercise and then using the tool in a real crisis management training exercise. Finally, in four simulated situations, we discuss in more detail the establishment of tangible interaction, activity analysis and informed feedback.

Keywords :

Computer-supported cooperative work, human-machine interaction, normative multi-agent systems, crisis management

Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Campus, Avenue Centrale
Saint Martin d'Hères