
De l'interopérabilité des organisations en gestion de crise

Ce chapitre s'intéresse à l'utilisation des résultats exposés dans le chapitre 3 à un domaine applicatif particulier à savoir celui de la gestion de crise. En effet, les mécanismes de planification avec préférences qui y sont décrits sont ici utilisés pour contribuer à la résolution des problèmes liés à l'interopérabilité d'un ensemble d'organisations qui collaborent dans le but de résoudre une situation de crise.

La section 4.1 introduit le domaine de la gestion de crise en présentant les enjeux et défis qui y sont associés. Elle s'intéresse en particulier aux problèmes de collaboration que peuvent rencontrer les différents partenaires mobilisés lors de la résolution d'une crise. Ces derniers limitent l'efficacité de la réponse à la crise mais peuvent être adressés par la réalisation de plans d'action collaboratifs. La section 4.2 présente une démarche en trois étapes (modélisation, planification et aide à la décision) spécialement conçue pour construire de tels plans. Dans le cadre de ces travaux, un prototype logiciel basé sur cette démarche de construction a été développé. Son utilisation est illustrée dans la section 4.3 à l'aide d'un cas d'usage extrait du projet européen SECTOR [38] qui consiste à résoudre une situation de grande inondation en Europe du Nord.

4.1 De la problématique de la gestion de crise

4.1.1 Enjeux et défis associés à la gestion de crise

Une *crise* (ou *situation critique*) peut être définie comme « une situation ayant des impacts à long terme provoquée par un événement qui a engendré des pertes et dommages importants et entraîné l'interruption d'une ou plusieurs activités critiques » [34]. De telles situations peuvent par exemple être causées par des catastrophes naturelles (tsunamis, séismes, inondations...) ou par des accidents industriels (explosion sur un site industriel...). La gestion des situations de crise représente toujours un défi majeur pour notre société. En effet, entre 2004 et 2013, les crises ont été responsables de la mort d'environ 100 000 personnes par an d'après la dernière étude statistique de l'Emergency Event Database [77].

Les situations critiques ont été largement étudiées afin d'améliorer leur gestion et de réduire leurs conséquences catastrophiques. Les crises sont souvent analysées (voir par exemple [2]) selon quatre phases de référence : *prévention*, *préparation*, *réponse* et *rétablissement*. La prévention et la préparation interviennent avant la survenue de la crise et ont respectivement pour but d'empêcher l'apparition de la crise et de se préparer à la gérer si elle venait à se produire malgré les efforts précédemment réalisés. Dans de tels cas, la phase de réponse a alors pour objectif de transformer la situation de crise en une situation acceptable temporairement. Le rétablissement s'intéresse quant à lui aux actions à mener pour transformer cette situation acceptable temporairement en une situation dite de retour à la normale. Cette étude se focalise particulièrement sur la phase de *réponse*.

Lorsqu'une crise survient, de nombreuses *organisations* sont mobilisées pour y apporter une réponse. Le terme d'organisation (ou d'*entité organisationnelle*) est ici considéré dans son acception courante la plus générique. Il peut par exemple s'agir des services publics de l'Etat tels que les pompiers ou la gendarmerie mais également d'entreprises ou d'associations. Le management de cette réponse est généralement placé sous la responsabilité d'une *cellule de crise* composée des différentes parties prenantes de la gestion de crise : un ou plusieurs décideurs assistés par les acteurs et experts pertinents au vu de la situation. La mission des membres de la cellule est très délicate puisque ces derniers doivent coordonner le travail

collectif des différentes organisations tout en étant soumis à de fortes pressions temporelles et psychologiques. Par ailleurs, dans la plupart des cas, les organisations mobilisées sont relativement hétérogènes (aux niveaux culturel, fonctionnel et technologique) et peu, voire pas du tout, entraînées à travailler ensemble. Ceci génère inévitablement des problèmes de collaboration (définition collective des objectifs difficile, partage d'informations incomplet, mauvaise coordination des acteurs...) qui limitent l'efficacité des actions entreprises par la cellule de crise. Ces problèmes ont été identifiés à travers de nombreux retours d'expérience issus de crises passées [76, 135, 142] montrant ainsi que le niveau de maturité de la collaboration entre les entités organisationnelles mobilisées est l'un des facteurs limitants de l'efficacité de la gestion de crise.

La notion d'*interopérabilité* qui peut être définie comme « la capacité que possède [une organisation] à fonctionner avec d'autres [organisations] existantes ou futures » [1] permet de préciser le niveau de maturité de la collaboration d'un aéropage d'entités organisationnelles. Il est possible de distinguer plusieurs modes d'interopérabilité [134] qui caractérisent l'intensité d'une collaboration :

1. *Communication* : les organisations fonctionnant dans ce mode sont en mesure de s'échanger et de partager des informations ;
2. *Coordination* : dans ce mode d'interopérabilité, les entités organisationnelles peuvent mettre à disposition de leurs partenaires certaines de leurs compétences via la réalisation de tâches spécifiques ;
3. *Coopération* : des organisations travaillent dans ce mode d'interopérabilité si elles cherchent à atteindre un objectif commun. Ce niveau implique l'existence d'une stratégie de collaboration partagée par l'ensemble des partenaires mobilisés.

En outre, le concept d'interopérabilité possède une *dimension opérationnelle* (relative aux différents métiers des parties prenantes) et une *dimension technologique* qui peuvent être analysées séparément. L'aspect opérationnel englobe l'identification des besoins de partage d'informations et de tâches (en mode communication et coordination) ainsi que la définition de la stratégie de collaboration commune (en mode coopération). L'aspect technologique s'assure qu'une organisation est effectivement en mesure de partager certaines informations et tâches (en mode communication et

coordination) ou de s'insérer au sein d'une stratégie de collaboration commune (en mode coopération). Par la suite, lorsqu'il sera fait mention d'interopérabilité, c'est le mode coopération (qui englobe les niveaux « Communication » et « Coordination ») qui sera considéré.

Cette présentation du domaine de la gestion de crise motive la formulation de la problématique suivante : *Comment supporter et améliorer l'interopérabilité au sein d'un aréopage d'organisations mobilisées pour résoudre une situation de crise ?*

4.1.2 Plans d'action collaboratifs de gestion de crise

Pour adresser ces problèmes d'interopérabilité, des plans de gestion de crise sont traditionnellement préparés avant que la crise ne survienne (*planification à froid*). Malheureusement, ces plans sont souvent imparfaits puisque d'une part ils sont générés avant que le contexte opérationnel de la collaboration ne soit connu avec précision et que d'autre part les situations de crise réelles divergent souvent rapidement de celles qui ont été planifiées. Dwight D. Eisenhower dira à ce propos que « Les plans ne sont rien, tout est dans la planification » [53]. Au travers de cette affirmation qui peut sembler obscure de prime abord, le stratège militaire souligne l'absolue nécessité pour un plan de s'inscrire pleinement dans le contexte opérationnel qui justifie sa création. L'approche qui consiste à construire les plans de gestion de crise uniquement après la survenue de la crise (*planification à chaud*) est particulièrement intéressante puisqu'elle permet de coordonner les actions des différents partenaires mobilisés pour résoudre la situation sans souffrir des défauts de la planification à froid.

En raison du niveau de granularité auquel travaille la cellule de crise, les plans de gestion de crise sont des plans singuliers à certains égards. Ils doivent faire intervenir un grand nombre d'acteurs et se concentrent moins sur la description détaillée des actions à mener (ce qui relève du domaine de compétence des différentes organisations mobilisées) que sur l'orchestration des ces différentes actions. En effet, conformément au *principe de subsidiarité*, les décideurs de la cellule de crise précisent aux partenaires ce qu'ils doivent faire et quand ils doivent le faire sans jamais leur dire comment cela doit être réalisé. Ces précisions motivent la définition de la notion de *plan d'action collaboratif*.

Définition 4.1 - Plan d'action collaboratif [13]

Un *plan d'action collaboratif* est un processus qui orchestre les actions qui doivent être mises en œuvre par un aréopage d'entités organisationnelles pour que ces dernières puissent atteindre collectivement leurs objectifs communs.

Un plan d'action collaboratif contient des actions exécutables par les partenaires de la collaboration qui sont invoquées successivement et/ou en parallèle les unes des autres jusqu'à ce que la mission visée soit accomplie. Il doit respecter les objectifs des membres de la cellule de crise et doit, dans la mesure du possible, optimiser leurs préférences. Les plans collaboratifs peuvent être représentés par un sous-ensemble de la notation BPMN (Business Process Model and Notation) [112] comme illustré sur la figure 4.1. Ces derniers sont alors constitués d'un *pool* contenant une unique *lane* (grands rectangles gris) pour chaque partenaire de la collaboration ainsi que d'un *pool* et d'une *lane* dédiés à la cellule de crise. Les actions à exécuter (représentées par les petits rectangles vert, violet et rouge) sont contenues dans les *lanes* de leur acteur respectif. A chaque action d'un partenaire correspond une action d'invocation dans la *lane* de la cellule de crise (représentées en bleu). Celle-ci contient également des connecteurs qui permettent de synchroniser l'invocation des actions des différentes entités organisationnelles considérées.

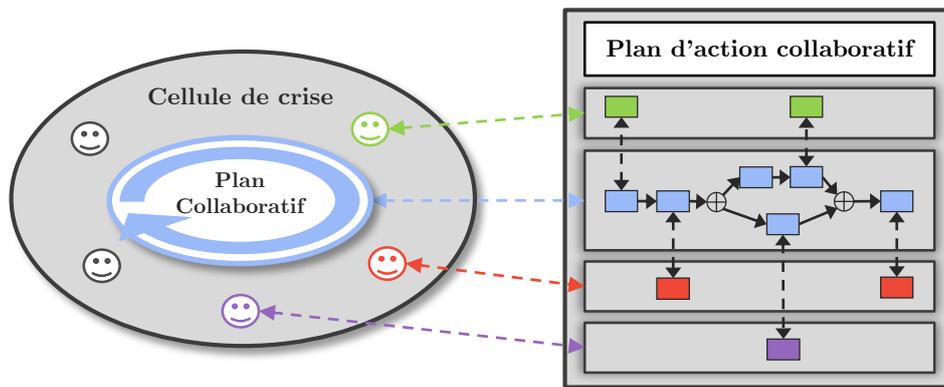


FIGURE 4.1 – Cellule de crise et plan d'action collaboratif

La construction de plans d'action collaboratifs est une problématique qui intéresse la société Thales Communications and Security dans le cadre de ses activités de construction de systèmes C4I (Command, Control, Communications, Computers and Intelligence) pour les acteurs de la sécurité. Cette dernière intéresse également le laboratoire de Génie Industriel de l'Ecole des Mines d'Albi dont le projet de recherche MISE (Mediation Information System Engineering) [15, 17, 18] adresse les problèmes d'interopérabilité des organisations. Ces deux entités ont été amenées à collaborer de 2006 à 2010 dans le cadre du projet ANR ISyCri (Interopérabilité des Systèmes en situation de Crise) [137, 139] et de 2013 à 2016 par l'intermédiaire de ces travaux de thèse.

L'approche mise en œuvre dans le projet ISyCri pour construire des plans collaboratifs de gestion de crise repose sur des mécanismes de modélisation et de déduction logique. En effet, il est demandé aux décideurs de représenter leur problème afin de constituer une base de connaissances qui est ensuite exploitée par inférence dans le but de construire un plan d'action susceptible de résoudre la situation critique considérée. Les travaux présentés dans ce chapitre s'inspirent des résultats du projet ISyCri et en étendent la portée et les applications en tenant compte des ressources à disposition et des préférences des décideurs. Pour ce faire, ils s'appuient sur le planificateur CHOPLAN qui a été présenté dans le chapitre 3 (cf. section 4.2).

Pour finir, il convient de préciser que le périmètre du projet MISE dans lequel s'intègre cette étude ne se limite pas seulement à la construction du plan d'action collaboratif. En effet, une fois que le plan d'action est réalisé, il est déployé sur un système d'information de médiation (SIM). Le SIM est capable d'interconnecter les différents systèmes d'informations des organisations mobilisées afin de supporter leur interopérabilité technologique. L'exécution du plan est ensuite monitorée. Si une divergence entre le plan d'action théorique et sa mise en œuvre dans le monde réel est détectée, celui-ci peut être remis en cause via la ré-exécution des deux étapes précédentes. L'élaboration d'un plan d'action collaboratif [109, 111, 119], son déploiement au sein d'un système d'information de médiation [14, 136, 149] et le monitoring de son exécution [12, 101] constituent les trois étapes de la démarche MISE (cf. figure 4.2). L'approche retenue par le projet MISE est pleinement compatible avec le modèle conceptuel de la planification présenté dans le chapitre 1 et peut être considérée comme une démarche de planification dynamique.

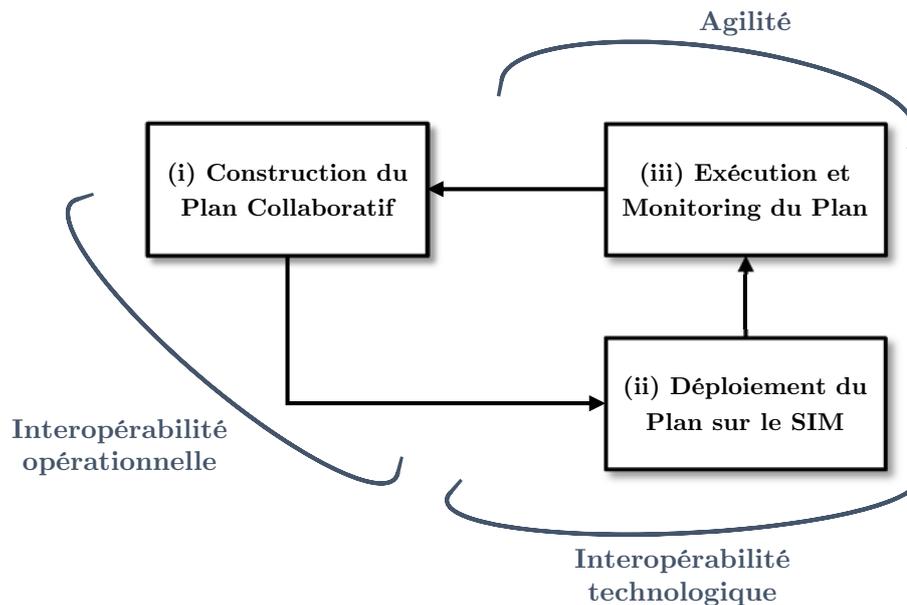


FIGURE 4.2 – Thèmes du projet de recherche MISE

4.2 De la construction de plans d'action collaboratifs

Un système capable de supporter des décideurs lors de la réalisation de plans d'action de réponse à une crise est introduit dans la section 4.2.1. Ce dernier repose sur des mécanismes de modélisation ainsi que des mécanismes de planification et d'aide à la décision (cf. sections 4.2.2 et 4.2.3).

4.2.1 Réalisation d'un système d'aide à la décision

Un système capable de proposer des plans collaboratifs pour supporter la coopération d'un ensemble d'entités organisationnelles ne peut être qu'un système d'aide à la décision. Il ne doit pas prétendre avoir pour vocation de se substituer au pouvoir du (ou des) décideur(s) mais vient au contraire épauler ce(s) dernier(s) lors de la prise de décision. En effet, l'exploitation faite des plans construits doit dépendre entièrement de la volonté du décideur. Il doit pouvoir les utiliser sans modification, les remanier avant de les déployer voire les refuser et demander au système d'en déduire de nouveaux (via la modification du problème de collaboration à résoudre).

Le système proposé a pour objectif d'aider les décideurs lors de la phase de réponse à la crise. Il convient de préciser que d'autres types de systèmes d'aide à la décision peuvent également être considérés pour supporter les membres de la cellule de crise tout au long du management de la crise (voir [143] pour plus de détails).

De par sa nature d'outil d'aide à la décision, un tel système est destiné à être utilisé par des experts opérationnels. Ceci impose naturellement plusieurs contraintes quant à sa conception et à son utilisation. Par exemple, pour que le système soit utilisable rapidement et sans difficulté, il faut que les utilisateurs puissent modéliser la situation collaborative (similaire à une *Common Operational Picture*) en utilisant des termes issus de leur langage opérationnel. En effet, il n'est pas concevable d'imaginer demander à ces derniers d'apprendre et de maîtriser un formalisme complexe. En outre, pour que les décideurs puissent réaliser des choix éclairés, il est nécessaire de leur fournir des éléments d'explication relatifs aux plans qui leurs sont suggérés. Ils peuvent ainsi mener une analyse comparative des différents plans collaboratifs construits par l'outil et comprendre avec précision pourquoi ces plans ont été proposés. Les décideurs maîtrisent alors pleinement la construction des plans collaboratifs. Ayant introduit ces deux prérequis, il est à présent possible de présenter un concept d'un système de construction de plans d'action collaboratifs (cf. figure 4.3).

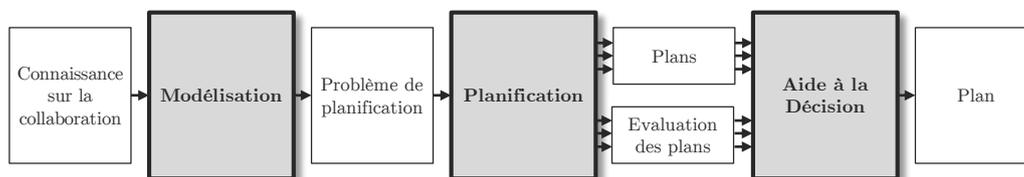


FIGURE 4.3 – Système de construction de plans d'action collaboratifs

Le système proposé s'utilise par l'invocation successive de trois étapes. L'étape de *modélisation* permet de représenter le problème collaboratif à résoudre en langage PDDL. Sous cette forme, il peut être exploité lors de l'étape de *planification* afin de produire un ou plusieurs plans d'action collaboratifs ainsi que leurs évaluations respectives. Finalement, une étape d'*aide à la décision* permet aux utilisateurs de choisir le plan qu'ils souhaitent exécuter. Les mécanismes relatifs aux différentes étapes de cette démarche de construction sont précisés ci-dessous avant d'être présentés en détails dans les sections 4.2.2 et 4.2.3.

Etape de modélisation du problème collaboratif

L'étape de modélisation a pour but de décrire la situation de crise, les partenaires mobilisés pour la résoudre et les objectifs et préférences des membres de la cellule de crise. La formalisation de cette connaissance est réalisée dans le langage opérationnel des utilisateurs avant d'être transformée automatiquement en PDDL (cf. figure 4.4).

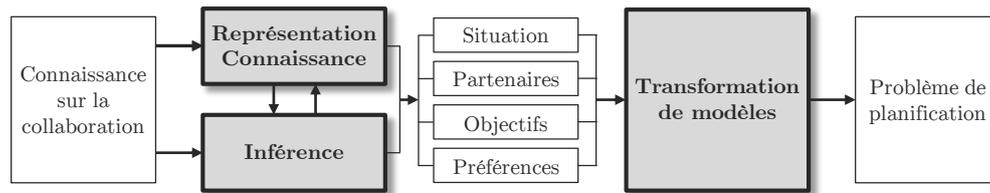


FIGURE 4.4 – Etape de modélisation du problème collaboratif

Lors de la représentation du problème, les membres de la cellule de crise réalisent quatre modèles (*situation*, *partenaires*, *objectifs* et *préférences*) à partir des informations dont ils disposent. Sur la base de situations de référence passées ou de doctrines établies à froid, des mécanismes d'inférence (déduction logique) peuvent être mis en œuvre afin d'aider les utilisateurs dans leur représentation du problème (voire qu'ils n'aient plus qu'à valider des modèles pré-remplis par le système comme suggéré dans [128]). Il convient de noter que les choix de modélisation effectués constituent un acte de prise de décision puisque les plans collaboratifs sont directement construits à partir des modèles réalisés.

Le *modèle de situation* contient les éléments du monde qu'il est pertinent de considérer du point de vue des décideurs dans le contexte de la collaboration étudiée. Il permet d'établir une description de la situation initiale de la crise. De plus, chaque entité organisationnelle impliquée dans la collaboration alimente un *modèle de partenaire* qui précise les capacités qu'elle peut mettre en œuvre ainsi que les ressources potentiellement partageables dont elle dispose. Le *modèle d'objectifs* décrit quant à lui l'ensemble des objectifs que les membres de la cellule de crise ont décidé d'accomplir. Finalement, les préférences des décideurs sont capturées à travers le *modèle de préférences*. Ce dernier permet d'évaluer et de comparer les différents plans solutions les uns par rapport aux autres. Plus la note d'un plan est élevée au regard du modèle de préférences et plus celui-ci maximise la satisfaction des décideurs.

Ces quatre modèles constitués (à l'aide d'éléments de langage opérationnel), une transformation de modèles [89] est appliquée afin de générer un problème de planification formalisé en langage PDDL.

Etapes de planification et d'aide à la décision

Les mécanismes de construction et d'évaluation des plans collaboratifs reposent sur la séquence de trois étapes introduite sur la figure 4.5. Dans un premier temps, le planificateur CHOPLAN est utilisé pour construire des plans d'action collaboratifs. Il convient de remarquer que la construction de plans collaboratifs constitue bien un problème de planification avec préférences. En effet, l'objectif des décideurs n'est pas de trouver une solution quelconque au problème mais un « bon » plan d'un point de vue opérationnel.

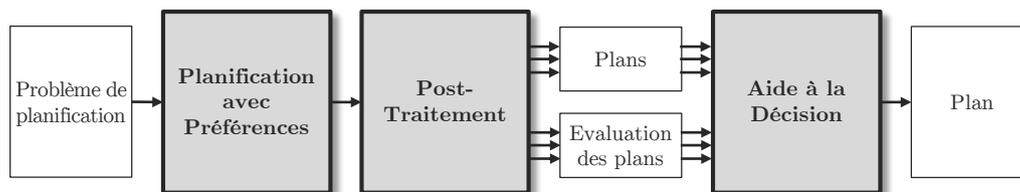


FIGURE 4.5 – Etapes de planification et d'aide à la décision

Le planificateur CHOPLAN est utilisé pour construire un plan d'action collaboratif pour chaque modèle de préférences des décideurs. Les plans ainsi générés sont optimisés au regard du modèle de préférences auxquels ils répondent et évalués selon tous les autres modèles de préférences disponibles. Pour un problème de collaboration donné, si les décideurs spécifient trois modèles de préférences M_1 , M_2 , M_3 , trois plans d'action collaboratifs P_1 , P_2 , P_3 seront construits ainsi que les neuf évaluations correspondantes ($P_1 \leftrightarrow M_1$, $P_1 \leftrightarrow M_2$, $P_1 \leftrightarrow M_3$, $P_2 \leftrightarrow M_1 \dots$). Dans ce cas, le plan P_1 (respectivement P_2 et P_3) maximise la satisfaction des décideurs correspondant au modèle de préférences M_1 (respectivement M_2 et M_3).

Lors de l'étape de post-traitement, la séquence d'action construite par CHOPLAN est transformée afin de paralléliser au maximum les différentes actions du plan tout en s'assurant que ce dernier reste réalisable. Cette parallélisation permet généralement de diminuer le temps d'exécution du plan ce qui est crucial dans la plupart des cas de gestion de situations de crise.

Finalement, l'étape d'aide à la décision permet aux décideurs de visualiser et d'analyser les plans d'action collaboratifs suggérés par le système afin de choisir celui qu'ils souhaitent déployer. Pour cela, l'outil expose des éléments d'analyse relatifs aux différents plans et modèles de préférences considérés. En conséquence, les décideurs peuvent comparer les plans les uns avec les autres avant d'effectuer leur choix.

Architecture et implémentation du système

Afin de démontrer la faisabilité du système décrit dans cette section, un prototype a été développé. Ce dernier s'appuie sur une architecture orientée services [54] ce qui lui permet notamment d'être compatible avec le système d'information de médiation utilisé dans la démarche MISE (voir [13] pour plus de détails). Les différents éléments présentés sur les figures 4.4 et 4.5 sont par conséquent implémentés à l'aide de services web ce qui confère au prototype une grande modularité.

En outre, le prototype peut être utilisé à partir d'un navigateur web ce qui lui permet d'être rapidement déployé lors de n'importe quelle situation réelle. La partie cliente du prototype a été implémentée avec les technologies web classiques (HTML, CSS, JS) tandis que la partie serveur a été développée à l'aide du langage Java. La figure 4.6 précise les modules du système qui ont effectivement été réalisés dans le cadre de cette étude.

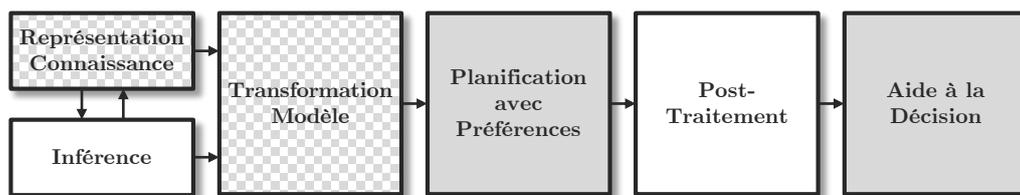


FIGURE 4.6 – Etat d'avancement du prototype. Les éléments sur fond blanc n'ont pas été implémentés tandis que les éléments sur fond gris (respectivement hachuré) sont entièrement (respectivement partiellement) implémentés.

4.2.2 Modélisation du problème collaboratif

Cette section détaille l'étape de modélisation qui permet à des décideurs de représenter un problème de collaboration au sein d'un aréopage d'entités organisationnelles (cf. figure 4.4). Dans un premier temps, des mécanismes de représentation et raisonnement sur les connaissances sont mis en œuvre afin d'aider les décideurs à réaliser un modèle de la situation, un modèle des partenaires mobilisés, un modèle des objectifs à atteindre ainsi qu'un modèle de leurs préférences. Une transformation de modèles est ensuite utilisée afin de générer le problème de planification correspondant.

Représentation des connaissances et inférence

L'activité de métamodélisation est la clef de voute de la représentation des connaissances. Un *métamodèle* est un ensemble de concepts et de règles relatives à ces derniers qui sont utilisés pour construire des modèles. Par conséquent, un métamodèle impose une structure quant à la représentation des connaissances considérées. Ceci permet de guider les utilisateurs lors de la création des modèles tout en s'assurant que ces derniers auront la cohérence nécessaire pour être manipulés par des outils de traitement automatiques.

Plusieurs métamodèles pour caractériser l'interopérabilité des organisations ont été proposés dans le cadre du projet de recherche MISE à l'image de celui dédié à la collaboration d'entreprises [119] ou encore celui pour la gestion collaborative de situations de crise [16, 138]. Par la suite, un *métamodèle cœur* qui généralise ces travaux a également été proposé [102]. Le métamodèle présenté dans cette section (cf. figure 4.7) se limite aux concepts effectivement utilisés dans cette étude.

Le *métamodèle de collaboration* proposé est organisé selon plusieurs modules qui s'articulent les uns par rapport aux autres [22]. Le *module cœur* (qui est utilisé pour construire les modèles de partenaires et d'objectifs) formalise l'essence d'une collaboration. Plusieurs *partenaires* qui fournissent des *capacités* et des *ressources* se regroupent pour former un *réseau collaboratif* (à savoir la cellule de crise) afin d'atteindre un certain nombre d'*objectifs*. Il convient de remarquer que l'existence d'une relation d'agrégation sur le concept de *capacité* permet aux partenaires

de la gestion de crise d'exposer leurs capacités avec la granularité de leur choix. Ces derniers peuvent ainsi décrire leurs savoir-faire avec un niveau de détails cohérent avec le type d'interventions pour lesquelles ils acceptent d'être sollicités. Le *module de situation* regroupe l'ensemble des concepts nécessaires pour décrire l'*environnement* de la collaboration. Les *composants d'environnement* qui peuvent être caractérisés par divers *états* représentent l'ensemble des éléments du monde qu'il est pertinent de considérer dans le cadre de la collaboration. Pour finir, le *module de préférences* formalise, comme son nom le suggère, les *préférences* des membres de la cellule de crise ; lesquelles peuvent être agrégées entre elles pour constituer un *modèle de préférences*.

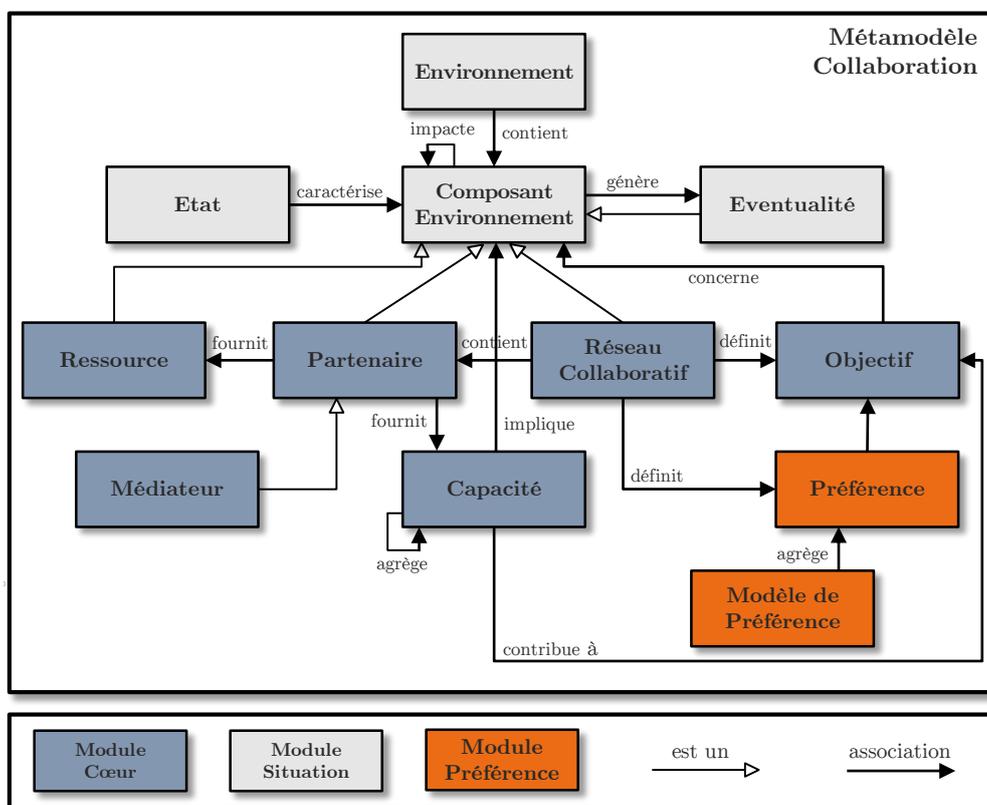


FIGURE 4.7 – Métamodèle de collaboration

Un métamodèle peut être intrinsèquement considéré comme un modèle de son domaine d'intérêt (par exemple, le métamodèle de la figure 4.7 constitue une modélisation du domaine de l'interopérabilité des organisations). A ce titre, un métamodèle décrit la structure d'une *ontologie*, concept défini comme « une spécification explicite d'une conceptualisation » [75]. Cela signifie que des instances des modèles réalisés à l'aide du métamodèle présenté sur la figure 4.7 peuvent être injectées dans une ontologie afin de construire une base de connaissances pour la collaboration d'entités organisationnelles. En conséquence, un système expert peut être utilisé pour appliquer des mécanismes d'inférence sur cette base de connaissances afin de supporter les décideurs lors de la modélisation du problème. Des déductions logiques peuvent ainsi être utilisées pour aider les utilisateurs à construire leurs modèles plus rapidement, suggérer des éléments de modélisation aux décideurs ou encore pour réaliser une réconciliation sémantique entre les différents concepts modélisés par les utilisateurs.

A titre d'exemple, si l'ontologie contient une description des capacités de la BSPP (Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris) et qu'un SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours) fait partie des partenaires mobilisés, alors il est possible de déduire que certaines des capacités de la BSPP sont potentiellement des capacités d'un SDIS. Ce type de déduction aussi triviale soit-elle permet de pré-remplir le modèle du partenaire SDIS lui facilitant ainsi la tâche tout en lui faisant gagner du temps. De plus, en comparant le modèle de situation réalisé par les décideurs à des situations de référence passées, il peut être possible de suggérer certains objectifs à ces derniers. Le système peut par exemple proposer aux utilisateurs de considérer un risque particulier sur la base de retours d'expérience. En outre, les modèles étant réalisés par plusieurs personnes distinctes, il se peut que plusieurs termes aient été employés pour décrire le même concept (« feu » et « incendie » par exemple). Si de tels cas n'entravent généralement pas la réflexion humaine, ils peuvent néanmoins mettre en péril les traitements et raisonnements automatiques effectués par des machines. Il est donc nécessaire d'effectuer une *réconciliation sémantique* entre les différents modèles réalisés afin de supprimer d'éventuelles ambiguïtés. Ceci peut être facilité par la mise en oeuvre de langages pivots ou par l'utilisation de règles d'inférence sur une ontologie puisque cette dernière contient par nature un grand nombre des concepts du domaine considéré (voir [139] par exemple).

Transformation de modèles

Une démarche de transformation de modèles s'appuie sur des connaissances contenues dans un *modèle source* afin de construire (éventuellement automatiquement) un *modèle cible*. La notion de métamodèle est au cœur du processus de transformation de modèles comme illustré sur la figure 4.8. En effet, les concepts partagés par le *métamodèle source* et le *métamodèle cible* définissent les parties spécifiques et partagées des deux modèles considérés. Ainsi, il est possible d'extraire la connaissance de la partie partagée du modèle source puis de la transformer via des *règles de mapping* afin de produire la connaissance qui caractérise la partie partagée du modèle cible. De plus, la connaissance spécifique du modèle source est capitalisée pour une éventuelle utilisation ultérieure tandis que la connaissance spécifique du modèle cible doit être ajoutée afin de compléter ce dernier. Pour que la transformation soit réalisable, les modèles considérés doivent respecter la structure imposée par leurs métamodèles respectifs ; lesquels doivent en outre nécessairement posséder un ensemble de concepts communs.

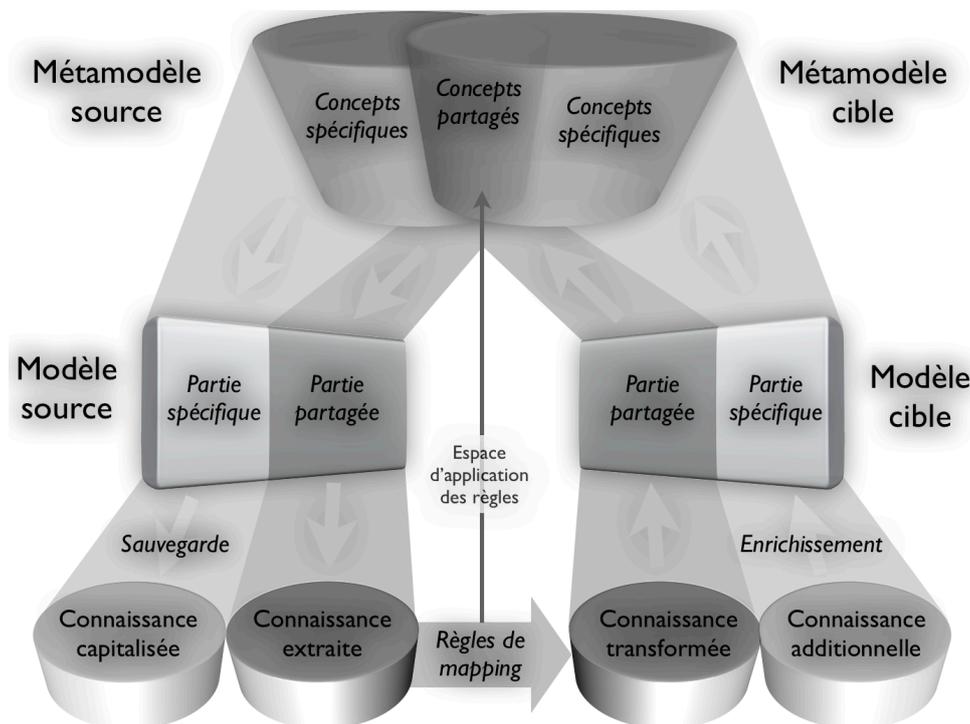


FIGURE 4.8 – Principe de la transformation de modèles ; d'après [13, 140]

Pour réaliser la transformation de modèles considérée dans cette étude, les modèles de situation, de partenaires, d'objectifs et de préférences sont dans un premier temps fusionnés afin de créer un modèle de collaboration. Ce dernier constitue le modèle source de la transformation à partir duquel il faut générer un problème de planification. Afin d'expliquer conceptuellement comment le problème opérationnel est transformé en problème de planification, un métamodèle de la planification est introduit à l'aide de la figure 4.9. Ce métamodèle peut être considéré comme une abstraction de la syntaxe BNF du langage PDDL [63].

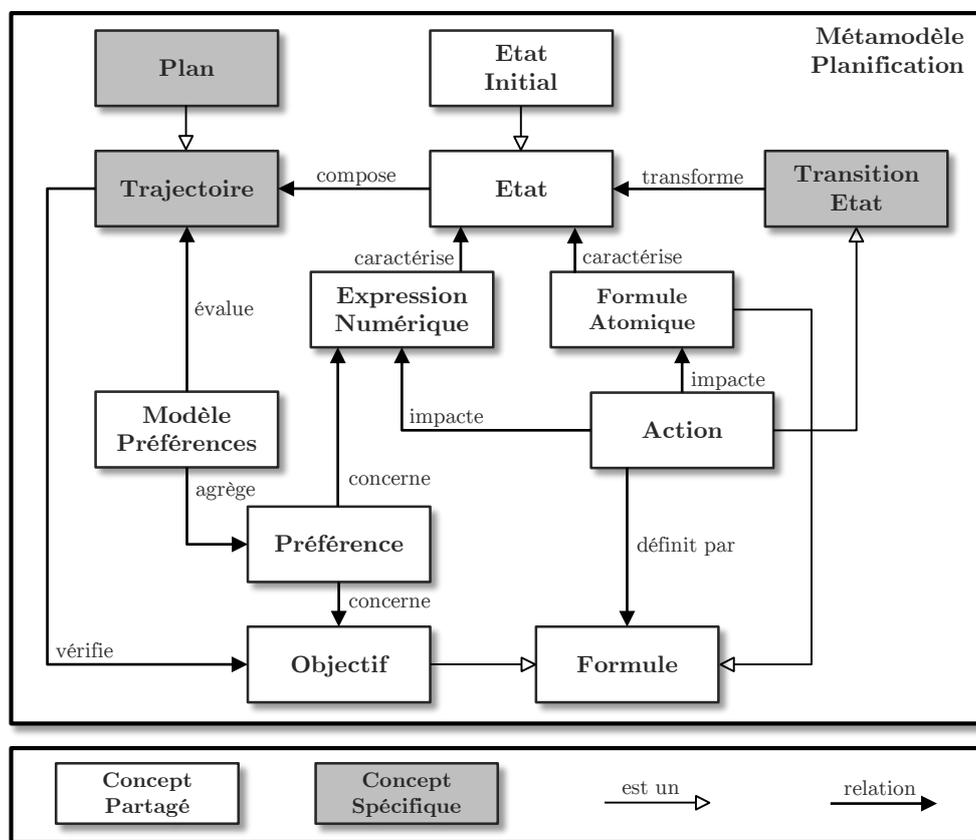


FIGURE 4.9 – Métamodèle de planification. Les concepts communs avec le métamodèle de collaboration sont représentés sur fond blanc tandis que les concepts spécifiques à ce métamodèle sont représentés sur fond gris.

Le tableau 4.1 précise les concepts partagés par les deux métamodèles présentés précédemment (cf. figures 4.7 et 4.9). Ce dernier capture par conséquent l'essence de la transformation de modèles réalisée. Ainsi, les règles de mapping peuvent être obtenues en déclinant techniquement les correspondances présentées dans ce tableau (transformation d'une syntaxe XML/JSON en langage PDDL). Par ailleurs, les concepts de *réseau collaboratif*, *partenaire* et *médiateur* constituent la connaissance spécifique du modèle source. En effet, les actions n'étant pas différenciées en fonction de l'acteur qui les exécute dans le langage PDDL, ces concepts n'ont pas d'équivalent dans le modèle de planification. Cette connaissance est donc capitalisée lors de la transformation de modèles puis utilisée ultérieurement pour réaffecter les actions des plans solutions à leurs acteurs respectifs. Ce mécanisme permet de transformer les plans générés par CHOPLAN en véritable plans d'action collaboratifs au sens de la définition 4.1. Par ailleurs, les concepts spécifiques au modèle cible sont sans surprise les éléments utilisés pour définir la notion de plan (*transition d'état*, *trajectoire* et *plan*). En effet, ces éléments n'ont pas d'équivalent dans le modèle de collaboration puisque ce dernier a uniquement pour vocation de supporter la spécification de la situation initiale, des partenaires mobilisés, des objectifs à atteindre et des préférences à optimiser.

Métamodèle Collaboration	Métamodèle Planification
Capacité	Action
Composant d'Environnement	Formule Atomique
Environnement	Etat Initial
Etat	Formule Atomique
Eventualité	Formule Atomique
Modèle de Préférences	Modèle de Préférences
Objectif	Objectif
Préférence	Préférence
Ressource	Expression Numérique

TABLEAU 4.1 – Correspondances entre les concepts partagés par les métamodèles de collaboration (source) et de planification (cible)

4.2.3 Construction et évaluation de plans collaboratifs

Les mécanismes présentés dans la section 4.2.2 permettent de construire un problème de planification qui correspond à la problématique que les membres de la cellule de crise ont décidé d'adresser. Cette section détaille les trois étapes de résolution de ce problème de planification (cf. figure 4.5) à savoir (i) la construction d'un ou plusieurs plans, (ii) le post-traitement de ces derniers puis (iii) le support apporté aux décideurs lors du choix du plan à exécuter.

Planification avec préférences

Pour des cas d'application réels, la question de la confiance des décideurs vis-à-vis du système est cruciale. En effet, pour que ces derniers s'approprient (et donc in fine mettent en œuvre) les plans proposés, il est nécessaire qu'ils comprennent parfaitement pourquoi ces plans leurs ont été suggérés. En conséquence, la notion de préférences est fondamentale puisqu'elle permet aux décideurs de spécifier avec précision leurs exigences par rapport à la solution attendue. Ce constat motive la mise en œuvre d'une démarche de planification avec préférences pour résoudre les problèmes de gestion de crise. De plus, l'utilisation de CHOPLAN semble particulièrement pertinente puisque ce dernier offre un grand pouvoir expressif aux décideurs quant à la représentation de leurs préférences comme expliqué dans le chapitre 3.

CHOPLAN est utilisé pour construire un plan pour chaque modèle de préférences fourni par les membres de la cellule de crise. L'utilisation de plusieurs modèles de préférences permet aux décideurs de considérer plusieurs stratégies de résolution différentes. Ceci peut être particulièrement utile dans le cas où plusieurs membres de la cellule de crise ne sont pas d'accord quant à l'importance relative à associer aux différentes préférences considérées. En effet, il est alors possible de résoudre une instance du problème de planification pour chaque modèle de préférences réalisé (un par décideur par exemple) puis de comparer les solutions obtenues entre elles. Une autre approche permettant de résoudre cette problématique consiste à agréger l'ensemble des opinions des décideurs en un unique modèle de préférences comme proposé dans [84].

Les mécanismes de configuration de CHOPLAN étant relativement souples, les décideurs peuvent adapter le temps alloué à chaque résolution en fonction de leurs besoins opérationnels. En outre, les problématiques d'interopérabilité entre organisations sont d'une granularité telle que les problèmes de planification correspondants sont souvent moins combinatoires que ceux considérés lors des compétitions de planification. Ainsi, CHOPLAN peut être en mesure d'identifier des solutions satisfaisantes même lorsque les contraintes opérationnelles imposent un faible temps de recherche (de l'ordre de la minute par exemple).

De plus, comme mentionné dans la section 4.2.1, l'architecture de CHOPLAN est relativement ouverte ce qui permet d'ajouter facilement de nouvelles règles de sélection ou règles de coupe à l'outil. En particulier, il est possible d'ajouter des règles opérationnelles pour privilégier certains nœuds à d'autres au cours de la recherche. Ces règles peuvent capturer des éléments qui affectent la prise de décision sans pour autant être formalisés au sein du problème à l'image de retours d'expérience opérationnels par exemple. Un tel ajout fait perdre à CHOPLAN sa portée de solveur générique puisque ces règles ne sont valides que pour un domaine particulier mais peut lui permettre d'être plus pertinent lors de la résolution des problèmes de ce domaine.

Post-traitement des plans

CHOPLAN respecte l'hypothèse H5 dite des plans séquentiels du modèle conceptuel de la planification (cf. section 1.1.1) et génère par conséquent des séquences d'actions linéaires. L'étape de post-traitement a pour but de paralléliser les différentes actions des plans lorsque cela est possible ce qui permet généralement de diminuer le temps d'exécution réel de ces derniers.

La parallélisation des plans peut être réalisée à l'aide de la notion d'*actions mutuellement exclusives* (ou *actions mutex*) [61]. Afin de définir précisément cette notion, la définition d'une action close a (cf. section 1.1.3) est enrichie à l'aide des trois ensembles suivants :

- L_a : l'ensemble des expressions numériques qui apparaissent dans une *lvalue* de a ;

- R_a : l'ensemble des expressions numériques qui apparaissent dans une *rvalue* de a ou dans une précondition de a ;
- L_a^* : l'ensemble des expressions numériques qui apparaissent dans une *lvalue* d'un effet numérique additif de a .

Intuitivement, deux actions sont mutuellement exclusives lorsqu'elles interfèrent l'une avec l'autre. Ainsi, pour que deux actions a et b puissent être exécutées en parallèle, elles doivent être non mutex (voir définition 4.2).

Définition 4.2 - Actions non mutex [61]

Deux actions a et b sont non mutuellement exclusives si elles vérifient les quatre conditions suivantes :

$$\begin{aligned}
 GPre_a \cap (Add_b \cup Del_b) &= GPre_b \cap (Add_a \cup Del_a) = \emptyset \\
 Add_a \cap Del_b &= Add_b \cap Del_a = \emptyset \\
 L_a \cap R_b &= R_a \cap L_b = \emptyset \\
 L_a \cap L_b &\subseteq L_a^* \cup L_b^*
 \end{aligned}$$

La première condition impose que les préconditions de l'action a ne soient pas affectées par les effets de b (et vice-versa). La deuxième condition s'assure quant à elle que les effets de a et b restent cohérents lorsque les deux actions sont exécutées simultanément. La troisième condition impose que les valeurs affectées par les effets numériques de a ne soient utilisés ni dans les préconditions de b ni pour calculer l'un des effets numériques de b (et inversement). Finalement, la quatrième condition précise que deux actions concurrentes ne peuvent affecter la même valeur que si elles le font toutes deux par l'intermédiaire d'effets numériques additifs.

Un ensemble d'actions A_H est un *ensemble d'actions non mutuellement exclusives* si $\forall a, b \in A_H$, a et b sont non mutex [61]. Par définition, toutes les actions de A_H peuvent être parallélisées puisqu'elles sont toutes exécutables simultanément. En conséquence, il est possible de paralléliser une séquence d'actions linéaire (un plan) en la transformant en séquence d'ensemble d'actions non mutex. Une telle transformation peut être réalisée à l'aide de l'algorithme 4.1. Dans ce cas, il convient alors de redéfinir les notions de structure, d'exécution et de validité d'un plan (voir [61] pour une formalisation complète).

Cette étape de post-traitement peut être réalisée a posteriori de la construction des plans et ce sans qu'aucune modification ne soit apportée au planificateur. Pour conduire des raisonnements plus poussés quant à la concurrence des actions du plan, il serait nécessaire d'intégrer de véritables mécanismes d'ordonnancement dans CHOPLAN. Il faudrait notamment étendre ce dernier pour qu'il gère les aspects temporels des problèmes de planification (durée explicite des actions...).

Input : lplan séquence d'actions
Output : pplan séquence d'ensembles d'actions non mutex
Data : action action
 set ensemble d'actions non mutex

Algorithm PARALLELIZE()

```

set ← newList()
for i = 1 to lplan.size() do
    action ← lplan.get(i)
    if ALLNONMUTEX(action, set) = true then
        set.add(action)
    else
        pplan.add(set)
        set ← newList()
        set.add(action)
    end
end
return pplan
    
```

Function ALLNONMUTEX(action, set)

```

for i = 1 to set.size() do
    if MUTEX(action, set.get(i)) = true then
        return false
    end
end
return true
    
```

Algorithme 4.1 : Post-traitement des plans. La fonction **MUTEX** retourne vrai lorsque les deux actions passées en paramètres sont mutex.

Aide à la décision

Lors de l'étape d'aide à la décision, une interface permettant de visualiser rapidement l'ensemble des résultats produits par CHOPLAN est mise à disposition des décideurs. Cette interface (voir section 4.3.3 pour plus de précisions) permet de visualiser les différents plans solutions et possède un tableau qui récapitule les notes des plans par rapport à chaque modèle de préférences considéré. Ainsi, si les décideurs ont défini deux modèles de préférences P_1 et P_2 , deux solutions S_1 et S_2 (respectivement optimisées par rapport à P_1 et P_2) sont construites. Dans ce cas, le tableau récapitulatif comporte quatre valeurs à savoir les évaluations $P_1 \leftrightarrow S_1$, $P_1 \leftrightarrow S_2$, $P_2 \leftrightarrow S_1$ et $P_2 \leftrightarrow S_2$.

De plus, deux graphiques explicatifs sont construits pour chaque évaluation (c.-à-d. pour chaque couple plan/modèle de préférences) comme illustré sur la figure 4.10. Le premier graphique précise les valeurs obtenues par le plan pour chacun des critères du modèle de préférences. Le second graphique utilise la représentation graphique de la valeur d'une intégrale de Choquet proposée dans [95]. Il aide les décideurs à comprendre en détails les notes obtenues par les différents plans. La propriété de monotonie des capacités et la définition des indices d'interaction entre critères imposent :

$$\forall i, j \in P, \left[\phi_i - \frac{1}{2} \sum_{j \neq i} |I_{ij}| \right] \geq 0 \quad (4.1)$$

$$\sum_{I_{ij} > 0} I_{ij} + \sum_{I_{ij} < 0} |I_{ij}| + \sum_{i \in P} \left[\phi_i - \frac{1}{2} \sum_{j \neq i} |I_{ij}| \right] = 1 \quad (4.2)$$

Tous les coefficients d'une intégrale de Choquet 2-additive sont donc non négatifs et leur somme vaut 1 (cf. définition 2.11). Ainsi, cette dernière peut s'écrire comme une somme $C_\mu(x) = \sum_k \alpha_k c_k(x)$ dont les éléments c_k représentent des critères seuls, des conjonctions de critères (synergie positive entre i et j) ou des disjonctions de critères (synergie négative entre i et j). En conséquence, la valeur d'une intégrale de Choquet 2-additive peut astucieusement être représentée par un diagramme en secteurs. En effet, il est possible d'associer à chaque élément c_k un secteur circulaire de longueur d'arc $2\pi\alpha_k$. De plus, si tous ces secteurs circulaires ont un taux de remplissage de $c_k(x)$ alors le taux de remplissage du diagramme en secteurs représente la valeur $C_\mu(x)$. L'interprétation de ce graphique est alors relativement

intuitive puisque plus la surface colorée du diagramme en secteurs est grande et plus la note du plan est élevée (cf. figure 4.10).

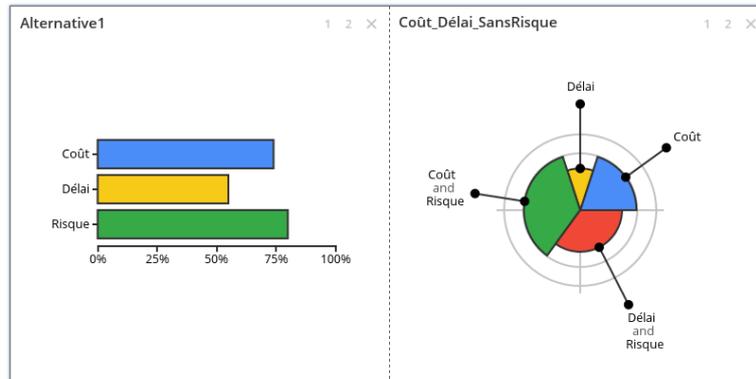


FIGURE 4.10 – Evaluation d'un plan par rapport à un modèle de préférence

En outre, les décideurs ont également la possibilité d'éditer les plans proposés par l'outil. Ceci leur permet de se les approprier plus facilement et d'y apporter des modifications si nécessaire (la validité du plan ainsi modifié n'étant néanmoins pas assurée par l'outil). Pour finir, il convient de rappeler que si aucun des plans proposés n'est satisfaisant, les décideurs peuvent modifier les modèles qu'ils ont réalisés puis demander à l'outil de résoudre le problème à nouveau.

4.3 Exemple de résolution d'une situation de crise

Afin d'illustrer le fonctionnement du prototype développé dans le cadre de ces travaux, un cas d'étude issu du domaine de la gestion de crise est présenté. Cet exemple illustratif est détaillé dans la section 4.3.1. La section 4.3.2 s'intéresse à la modélisation du problème opérationnel tandis que la section 4.3.3 traite de sa résolution.

Le cas d'étude considéré est inspiré d'un scénario opérationnel utilisé dans le cadre du projet européen SECTOR [38]. Ce projet ambitionne de concevoir un *espace d'information partagé* (*Common Information Space* ou *CIS*) par les différents acteurs de la gestion de crise. Le CIS propose un certain nombre de services dits à valeur ajoutée qui permettent de faciliter la mission des acteurs de la gestion

de crise. Une version préliminaire des travaux présentés dans ce manuscrit a été intégrée à la base d'un service à valeur ajoutée au sein du CIS du projet SECTOR. Ce service constitue un module d'aide à la planification collaborative qui permet aux décideurs de la gestion de crise d'élaborer des plans d'actions capables de supporter l'interopérabilité opérationnelle des différents partenaires mobilisés.

4.3.1 Description du scénario opérationnel

Le cas considéré a été retenu pour son réalisme puisqu'il a fait l'objet d'une définition et d'une validation de la part des partenaires opérationnels du projet SECTOR. Ce dernier met en œuvre un scénario de grande inondation en Europe du Nord. Plus précisément, il se déroule aux alentours de la ville de Roermond qui se situe dans la région de Limburg aux Pays-Bas. Le scénario se déroule lors d'un hiver au cours duquel de fortes précipitations ont été enregistrées pendant plusieurs mois. En conséquence, le volume des rivières a atteint son maximum. Par ailleurs, les prévisions météorologiques suggèrent que de fortes pluies sont encore à prévoir. La ville de Roermond et ses alentours sont particulièrement exposés en cas d'inondation puisque cette zone géographique est traversée par plusieurs rivières (la Meuse notamment) et abrite de nombreux plans d'eau naturels.

L'objectif de ce cas d'étude est de gérer au mieux la situation de crise qui serait provoquée par les inondations à venir. Dans le cadre du projet SECTOR, la gestion de cette situation critique mobilise des opérateurs de secours pendant plusieurs jours. Le module de planification collaborative est utilisée à plusieurs reprises lors de la résolution du problème via une mise à jour des modèles lorsque la situation évolue (ce qui constitue une mise en œuvre manuelle des mécanismes d'agilité de la démarche MISE). Cette section illustre la première utilisation du prototype à savoir l'élaboration du premier plan d'action collaboratif considéré par les décideurs.

L'interface du prototype est présentée sur la figure 4.11. Ce dernier est utilisé en mode « réponse », mode qui permet de construire des plans. Le menu vertical décrit les étapes d'utilisation du prototype : réalisation des modèles (« Modelling »), appel au planificateur CHOPLAN (« Planning ») et aide à la décision (« Decision Making »). Dans la suite de cette section, l'interface du prototype n'est plus représentée.

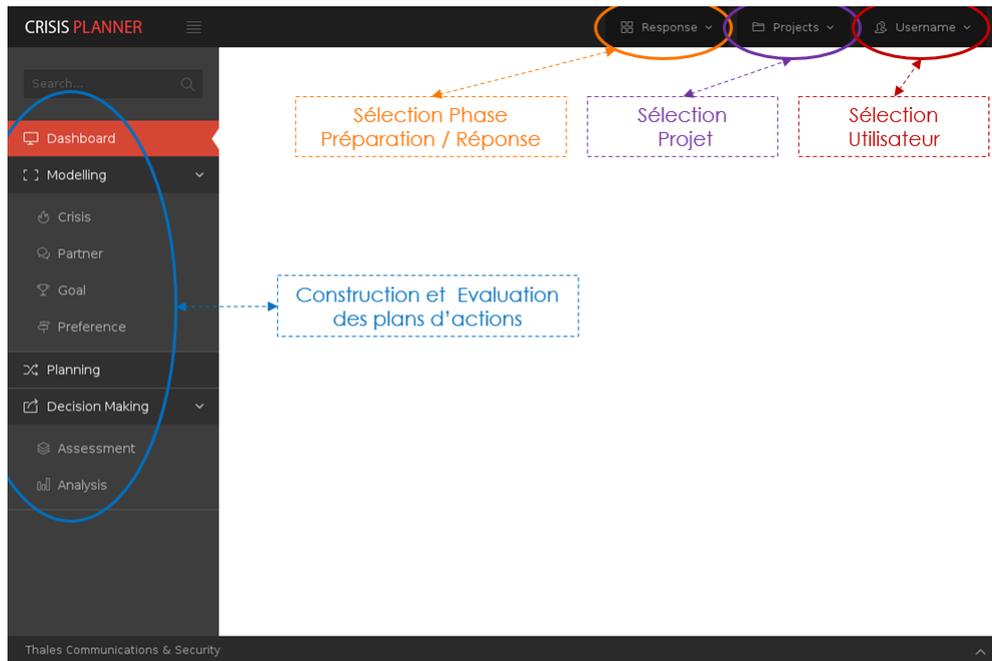


FIGURE 4.11 – Interface du prototype

4.3.2 Modélisation opérationnelle du problème

Cette section présente les quatre modèles réalisés (Situation, Partenaires, Objectifs et Préférences) pour représenter le problème collaboratif de ce cas d'étude. Le prototype réalisé ne permet de construire les modèles qu'à partir d'une unique machine. En supprimant cette contrainte technique, il serait possible de mettre en œuvre une démarche de modélisation collaborative ; laquelle permettrait à plusieurs utilisateurs, éventuellement distants, de participer en temps réel à l'élaboration des modèles. Il faudrait alors s'assurer que les éléments modélisés par les différents utilisateurs soient cohérents les uns avec les autres. Cette problématique est déjà adressée pour certains domaines industriels, voir par exemple [125].

Modélisation de la situation

Un modeleur graphique permet aux décideurs de décrire l'*environnement* de la collaboration. Pour cela, ces derniers peuvent employer les concepts de *composant d'environnement* (rectangle bleu à bords arrondis), d'*éventualité* (trapèze rectangle

violet) et d'états (ellipse verte) du métamodèle de collaboration présenté précédemment (cf. figure 4.7). Ces différents concepts peuvent être reliés les uns aux autres conformément aux relations du métamodèle. Ainsi, un *composant d'environnement* peut *générer* (flèche grise) une *éventualité* ou encore *impacter* (flèche violette) un autre *composant d'environnement*. En outre, les *composants d'environnement* peuvent être *caractérisés* (flèche verte) par des *états*. Le modèleur graphique permet aux décideurs de représenter la situation rapidement tout en leur interdisant de créer des relations non conformes à celles spécifiées dans le métamodèle de collaboration. Le modèle de situation du cas d'étude considéré est présenté sur la figure 4.12.

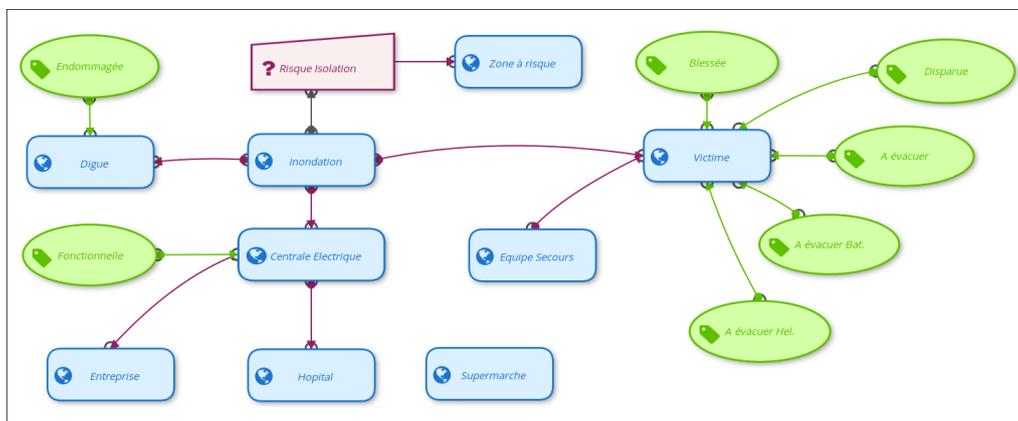


FIGURE 4.12 – Modèle de situation conforme au métamodèle de collaboration

Bien que l'inondation ait été anticipée, cette dernière est survenue plus rapidement que prévu à cause d'un fort événement climatique dont l'ampleur n'avait pas été correctement estimée. En conséquence, tous les dispositifs de prévention n'ont pas encore été déployés au début de la crise. Sans surprise, le composant d'environnement central de ce modèle est l'*inondation* à traiter. Cette dernière a *endommagé* une *digue* et impacte une *centrale électrique* qui alimente actuellement l'*hôpital* et les usines de production d'une grande *entreprise* de la région. Par ailleurs, elle génère également un risque d'isolation pour les habitants d'une zone géographique surélevée qui bien qu'a priori non inondable pourrait devenir complètement inaccessible si le niveau d'eau continuait de croître. De plus, l'inondation a fait plusieurs victimes qui peuvent être blessées, disparues ou qui doivent être évacuées (par bateau ou hélicoptère dans les cas les plus difficiles). Pour finir, il convient de préciser que le modèle de la figure 4.12 a été simplifié pour des fins d'illustrations. Pour représenter

pleinement le problème, il aurait fallu créer autant de composants d'environnement *Victime* et *Equipe Secours* qu'il y a de victimes et d'équipes de secours dans le scénario. Ceci s'explique par le choix des décideurs de modéliser ces éléments comme des composants d'environnement et non pas comme des ressources (auquel cas un seul composant d'environnement associé à une quantité aurait été nécessaire).

Modélisation des partenaires

Le prototype fournit au décideur une interface qui lui permet de visualiser l'ensemble des partenaires mobilisés pour résoudre la crise (cf. figure 4.13). Il est ensuite demandé à chaque partenaire de décrire l'ensemble des capacités qu'il peut mettre en œuvre (cf. colonne « Status »). Des profils de partenaires prédéfinis (appelés « Role » sur la figure 4.13) peuvent être utilisés pour aider les utilisateurs à modéliser leurs capacités plus rapidement. La figure 4.14 présente les capacités et ressources des pompiers néerlandais. Dans le cas d'étude considéré, la majorité des partenaires mobilisés sont des équipes de secours néerlandaises ou des acteurs locaux. De plus, une aide internationale peut être mobilisée pour renforcer les équipes de police et les équipes de la Croix Rouge si nécessaire.

Partner	Role	Edit	Status
Ministre de l'Intérieur - Pays-Bas	None selected ▾		
Pompiers - Pays-Bas	Pompier ▾		
Police - Pays-Bas	Force Ordre ▾		
Croix Rouge - Pays-Bas	None selected ▾		
Hopital Roermond	None selected ▾		
Opérateur Electricité	None selected ▾		
Supermarché Roermond	None selected ▾		
Police - Allemagne	Force Ordre ▾		
Croix Rouge - Allemagne	None selected ▾		
Croix Rouge - Belgique	None selected ▾		

FIGURE 4.13 – Liste des partenaires mobilisés dans le cas d'étude

<input type="checkbox"/>	Partner	Capability	Requirement	Effect
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Eteindre incendie faible ampleur	Incendie [Faible ampleur] Equipe Secours Fourgon d'Incendie [1]	Remove <i>Incendie [Faible ampleur]</i>
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Eteindre incendie grande ampleur	Incendie [Grande ampleur] Equipe Secours Fourgon d'Incendie [2]	Remove <i>Incendie [Grande ampleur]</i>
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Réaliser évacuation	Victime [A évacuer] Equipe Secours	Modify <i>Victime [A évacuer]</i> to <i>Victime [Secourue]</i>
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Réaliser évacuation par bateau	Victime [A évacuer Bat.] Equipe Secours [Evacuation Bat.] Bateau sauvetage [1]	Modify <i>Victime [A évacuer Bat.]</i> to <i>Victime [Secourue]</i>
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Réaliser évacuation par hélicoptère	Victime [A évacuer Hel.] Equipe Secours [Evacuation Hel.] Hélicoptère [1]	Modify <i>Victime [A évacuer Hel.]</i> to <i>Victime [Secourue]</i>
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Réaliser évacuation blessé	Victime [Blessé] Equipe Secours [PremierSoin] CentreSoin [AxePrioritaire]	Modify <i>Victime [Blessé]</i> to <i>Victime [Transféré CentreSoin]</i>
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Renforcer digue	Digue [Endommagée]	Modify <i>Digue [Endommagée]</i> to <i>Digue [Renforcée]</i>

<input type="checkbox"/>	Partner	Resource	Quantity
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Couverture	120
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Fourgon d'Incendie	10
<input type="checkbox"/>	Pompiers - Pays-Bas	Bateau sauvetage	6

FIGURE 4.14 – Exemple de capacités et ressources dans le cas d'étude

Modélisation des objectifs

Le modèle permettant de représenter les objectifs des décideurs n'a pas été développé dans le cadre de ces travaux. En conséquence, les objectifs du cas d'étude (représentés par le tableau 4.2) ont été ajoutés manuellement au problème PDDL lors de l'étape de transformation de modèles. Ces derniers concernent pour la plus grande partie du secours aux victimes ; lesquelles peuvent être blessées, avoir besoin d'être évacuées suite à la montée du niveau de l'eau ou encore être portées disparues. Par ailleurs, les membres de la cellule de crise ont décidé de placer l'hôpital de la ville en état d'alerte et d'installer un centre d'accueil provisoire pour les victimes. De plus, l'activité de la centrale électrique étant menacée par l'inondation, cette dernière doit être fermée. Il convient d'alimenter au préalable l'hôpital à l'aide de groupes électrogènes afin de s'assurer que ce dernier reste opérationnel. Des opérations de maintien de l'ordre (diffusion de consignes de sécurité, régulation de trafic...) sont également à prévoir afin de gérer le plus efficacement possible les axes routiers de la région (priorité aux secours et ravitaillement par exemple).

Objectifs
Add <i>centreAccueil</i> with state [<i>Operationnel</i>]
Modify <i>hopital</i> by adding state [<i>EtatAlerte</i>]
Modify <i>centraleElectrique</i> state from [<i>Fonctionnelle</i>] to [<i>Eteinte</i>]
Modify <i>hopital</i> by adding state [<i>AlimentéParGroupeElectrogène</i>]
Add <i>consigneSecuriteDiffusée</i> component
Add <i>traficRoutierRegulé</i> component
Modify <i>digue</i> state from [<i>Endommagée</i>] to [<i>Renforcée</i>]
Modify <i>victime01</i> state from [<i>A évacuer</i>] to [<i>Secourue</i>]
Modify <i>victime03</i> state from [<i>A évacuer Hel.</i>] to [<i>Secourue</i>]
Modify <i>victime04</i> state from [<i>Blessé</i>] to [<i>Soignée</i>]
Modify <i>victime13</i> state from [<i>A évacuer Bat.</i>] to [<i>Secourue</i>]
Modify <i>victime14</i> state from [<i>Disparue</i>] to [<i>Retrouvée</i>]
Modify <i>victime20</i> state from [<i>A évacuer</i>] to [<i>Secourue</i>]
...
<i>hopital</i> [<i>AlimentéParGroupeElectrogène</i>] Before <i>centraleElectrique</i> [<i>Etteinte</i>]

TABLEAU 4.2 – Exemple d'objectifs considérés dans le cas d'étude

Modélisation des préférences

Les modèles de préférence des décideurs sont réalisés à l'aide du logiciel MYRIAD (cf. figures 4.15, 4.16 et 4.17) qui a déjà été mentionné dans la section 2.4. MYRIAD permet aux décideurs de construire un modèle mathématique de leurs préférences sur la base d'informations préférentielles opérationnelles. Une fois que les modèles de préférence ont été élaborés, ces derniers peuvent être importés dans le prototype à l'aide d'une interface dédiée (cf. figure 4.18). Cette dernière permet également aux partenaires de préciser l'impact de leurs capacités sur les préférences numériques retenues.

Dans le scénario de cet exemple illustratif, les décideurs réalisent trois modèles de préférences qui correspondent aux trois stratégies de résolution qu'ils envisagent de mettre en œuvre (voir tableau 4.3). Le premier modèle de préférences évalue la performance de la réponse à la crise sur la base de trois critères : (i) l'*efficacité* des opérations de secours (qui a été modélisée par le nombre d'équipes de secours déployées) ; (ii) le *confort* des habitants de la zone soumise au risque d'isolation (qui varie s'il y a eu approvisionnement en nourriture et électricité pour les habitants ou non) et (iii) le *coût* de la réponse (hors coûts liés aux sauvetages des victimes). En outre, ce dernier interdit de recourir à l'aide internationale proposée par les nations voisines afin que les décideurs puissent apprécier la qualité de la solution qu'ils seraient en mesure de déployer avec les seules équipes de secours néerlandaises. Le deuxième modèle de préférences utilise les mêmes critères que le premier sans interdire l'utilisation de l'aide internationale. Ce dernier permettra ainsi d'estimer la plus-value apportée par l'intervention des équipes de secours allemandes et belges. Le troisième et dernier modèle de préférences comporte un critère supplémentaire qui concerne l'usine de production alimentées par la centrale électrique. En effet, l'arrêt total de la centrale électrique pourrait endommager l'usine ce qui entraînerait des pertes économiques pour la région à moyen terme. Aux trois préférences numériques *efficacité*, *confort* et *coût*, le troisième modèle ajoute donc une préférence de trajectoire dénotée *entreprise* qui traduit la volonté d'alimenter les usines de l'entreprise à l'aide de groupes électrogènes avant l'arrêt de la centrale électrique. Les usines de production pourraient alors achever leur cycle de production de façon nominale avant d'être stoppées évitant ainsi d'endommager les machines et les infrastructures.

	Critère	Contrainte
1	Efficacité, Confort, Coût	Never <i>aideInternationale</i>
2	Efficacité, Confort, Coût	-
3	Efficacité, Confort, Coût, Entreprise	-

TABLEAU 4.3 – Modèles de préférences du cas d'étude

La construction d'une fonction d'utilité via le logiciel MYRIAD est illustrée ci-dessous pour le premier modèle de préférences. Celle-ci débute par la création de l'arbre de préférences du modèle comme présenté sur la figure 4.15.

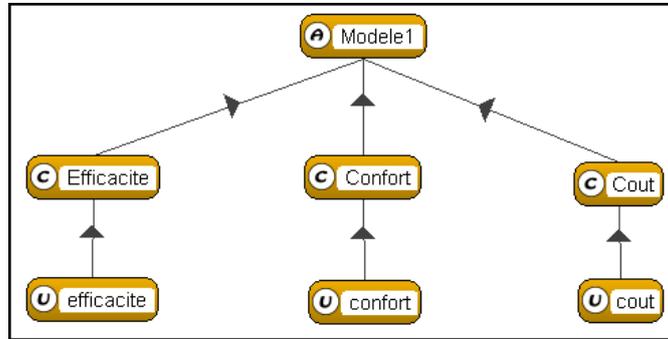


FIGURE 4.15 – Arbre de préférence du modèle 1 dans MYRIAD [95]

Il convient ensuite de déterminer la fonction d'utilité associée à chaque critère. Pour cela, le logiciel MYRIAD met en œuvre une procédure de questionnement analogue à celle décrite dans la section 2.4.1. La figure 4.16 présente les réponses des décideurs pour le critère de coût et la fonction d'utilité partielle correspondante construite par l'outil.

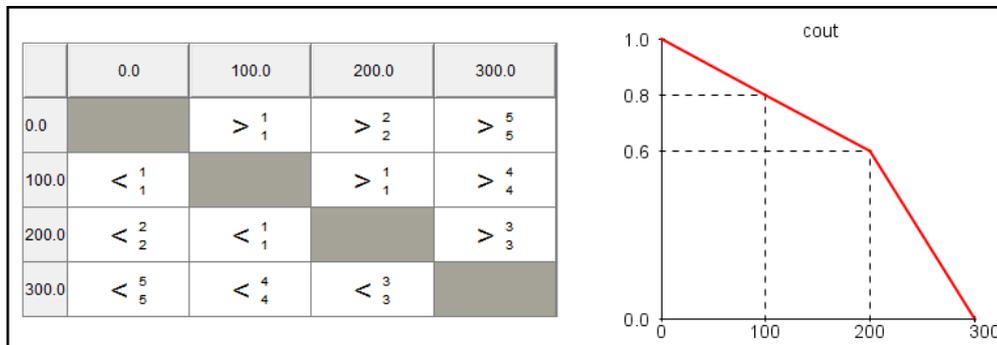


FIGURE 4.16 – Construction d'un critère dans MYRIAD [95]

Après que toutes les fonctions d'utilités partielles aient été déterminées, il faut construire la fonction d'agrégation du modèle de préférences comme mentionné dans la section 2.4.2. La figure 4.17 présente les réponses des décideurs à la procédure de questionnement proposée par MYRIAD. La fonction de capacité (dont l'interprétation est précisée dans la section 4.3.3) correspondant aux choix des décideurs est présentée dans le tableau 4.4.

	{}	Efficacite	Confort& Efficacite	Cout& Efficacite	Confort	Cout& Confort	Cout
{}		$< \begin{smallmatrix} 4 \\ 3 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 5 \\ 5 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 5 \\ 4 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 3 \\ 3 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$
Efficacite	$> \begin{smallmatrix} 4 \\ 3 \end{smallmatrix}$		$< \begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 2 \\ 1 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix}$
Confort& Efficacite	$> \begin{smallmatrix} 5 \\ 5 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix}$		$> \begin{smallmatrix} 2 \\ 1 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 4 \\ 4 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 3 \\ 3 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 4 \\ 4 \end{smallmatrix}$
Cout& Efficacite	$> \begin{smallmatrix} 5 \\ 4 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 2 \\ 1 \end{smallmatrix}$		$> \begin{smallmatrix} 4 \\ 3 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 4 \\ 3 \end{smallmatrix}$
Confort	$> \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 4 \\ 4 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 4 \\ 3 \end{smallmatrix}$		$< \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$	=
Cout& Confort	$> \begin{smallmatrix} 3 \\ 3 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 2 \\ 1 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 3 \\ 3 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$> \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$		$> \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$
Cout	$> \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 4 \\ 4 \end{smallmatrix}$	$< \begin{smallmatrix} 4 \\ 3 \end{smallmatrix}$	=	$< \begin{smallmatrix} 2 \\ 2 \end{smallmatrix}$	

FIGURE 4.17 – Construction d'une fonction d'agrégation dans MYRIAD [95]

$\mathfrak{P}(P)$	\emptyset	{1}	{2}	{3}	{12}	{13}	{23}	{123}
μ	0	0.5	0.2	0.2	0.8	0.7	0.4	1
m	0	0.5	0.2	0.2	0.1	0	0	0

TABLEAU 4.4 – Fonction de capacité correspondant aux choix des décideurs. Les critères 1, 2 et 3 sont les critères d'efficacité, de confort et de coût.

Une fois les modèles de préférences réalisés, ces derniers peuvent être importés dans le prototype comme illustré par la figure 4.18. Les partenaires peuvent alors préciser l'impact de leurs capacités sur les préférences numériques des modèles de préférences retenus pour adresser le problème.

Transformation de modèles

Les mécanismes de transformation de modèles n'ont été implémentés que partiellement dans le cadre de cette étude. En conséquence, la transformation des modèles opérationnels en problèmes PDDL a été réalisée manuellement pour ce cas d'étude.

Preference Model	Type	Status	Remove
Model 1	Optimization	☑	🗑
Model 2	Optimization	☑	🗑
Model 3	Optimization	☑	🗑

Partner	Capability	Efficacité	Confort	Coût (kEuros)
Pompiers - Pays-Bas	Eteindre incendie faible ampleur	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pompiers - Pays-Bas	Eteindre incendie grande ampleur	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pompiers - Pays-Bas	Réaliser évacuation	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>
Pompiers - Pays-Bas	Réaliser évacuation par bateau	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>
Pompiers - Pays-Bas	Réaliser évacuation par hélicoptère	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>
Pompiers - Pays-Bas	Réaliser évacuation blessé	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>
Pompiers - Pays-Bas	Renforcer digue	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="30"/>
Police - Pays-Bas	Rechercher victime	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>
Police - Pays-Bas	Diffuser consignes sécurité	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="-"/>
Police - Pays-Bas	Réguler trafic	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>

«	1	2	3	»
---	---	---	---	---

10	25	50	100
----	----	----	-----

FIGURE 4.18 – Import des modèles de préférences dans le prototype

4.3.3 Résolution du problème de planification

Cette section présente les trois étapes de résolution des problèmes de planification à savoir : (i) l'appel au planificateur CHOPLAN, (ii) le post-traitement des solutions et (iii) la mise en œuvre de mécanismes d'aide à la décision pour supporter les décideurs lors de la sélection du plan à déployer.

Planification et post-traitement des solutions

Le planificateur CHOPLAN est utilisé pour résoudre les problèmes PDDL générés lors de la phase de modélisation. Pour ce cas d'étude, CHOPLAN a disposé d'une minute de temps de calcul et a été paramétré pour employer la stratégie de résolution $SR_1 - h_2$ (cf. section 3.2). Pour chacun des trois problèmes considérés, seule la meilleure solution identifiée par le planificateur a été retenue (voir plans 4.19, 4.20 et 4.22). Comme mentionné dans la section 4.2.1, les mécanismes de post-traitement des plans n'ont pas été implémentés dans le prototype. En conséquence, le post-traitement des solutions retournées par CHOPLAN a été réalisé manuellement pour

ce cas d'étude (voir figure 4.21 pour un exemple). Cette étape a pour objectif de paralléliser les actions du plans lorsque cela est possible. Il convient de préciser qu'il ne s'agit pas d'un réel ordonnancement du plan puisque le temps d'exécution des différentes actions du plan n'est pas connu.

Plan 1	
1.	Diffuser_Consignes_Seurite pb-police-equipe2
2.	Installer_Lits_Centre_Accueil
3.	Mettre_A_Disposition_Helicoptere
4.	Determiner_Plan_Deroutement pb-police-equipe1
5.	Mettre_En_Place_Axe_Circulation_Prioritaire hopital1 pb-police-equipe1
6.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime17 pb-pompier-equipe3
7.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime11 pb-pompier-equipe4
8.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime09 pb-pompier-equipe5
9.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime20 pb-pompier-equipe3
10.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime05 pb-pompier-equipe4
11.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime04 pb-pompier-equipe5
12.	Mettre_En_Place_Axe_Circulation_Prioritaire centreacceuil1 pb-police-equipe2
13.	Approvisionner_Nourriture_Centre_Acceuil
14.	Installer_Dispensaire_Centre_Acceuil pb-croixrouge-equipe1
15.	Ouvrir_Centre_Acceuil_Provisoire
16.	Transferer_Patient
17.	Mobiliser_Personnel_Garde
18.	Renforcer_Digue pb-police-equipe1
19.	Approvisionner_Pour_Etat_Alerte
20.	Declarer_Hopital_En_Etat_Alerte
21.	Reguler_Trafic pb-police-equipe2
22.	Soigner_Blesse victime05
23.	Soigner_Blesse victime09
24.	Soigner_Blesse victime11
25.	Soigner_Blesse victime17
26.	Soigner_Blesse victime20
27.	Rechercher_Victime victime14 pb-police-equipe1
28.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime07 pb-pompier-equipe3
29.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime12 pb-pompier-equipe3
30.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime13 pb-pompier-equipe3
31.	Soigner_Blesse victime04
32.	Rechercher_Victime victime15 pb-police-equipe1
33.	Realiser_Evacuation victime19 pb-pompier-equipe4
34.	Realiser_Evacuation victime18 pb-pompier-equipe5
35.	Realiser_Evacuation_Par_Helicoptere victime03 pb-pompier-equipe4
36.	Realiser_Evacuation victime10 pb-pompier-equipe5
37.	Rechercher_Victime victime16 pb-police-equipe1
38.	Realiser_Evacuation victime08 pb-pompier-equipe2
39.	Realiser_Evacuation victime06 pb-pompier-equipe2
40.	Realiser_Evacuation victime02 pb-pompier-equipe4
41.	Realiser_Evacuation victime01 pb-pompier-equipe5
42.	Alimenter_Groupe_Electrogene_Hopital
43.	Arreter_Centrale_Electrique

FIGURE 4.19 – Plan obtenu en optimisant le modèle de préférences 1

Plan 2	
1.	<i>Demander_Aide_Internationale</i>
2.	Diffuser_Consignes_Securite pb-police-equipe2
3.	Installer_Lits_Centre_Acceuil
4.	Mettre_A_Disposition_Helicoptere
5.	Determiner_Plan_Deroutement pb-police-equipe1
6.	Mettre_En_Place_Axe_Circulation_Prioritaire hopital1 pb-police-equipe1
7.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime17 pb-pompier-equipe3
8.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime11 pb-pompier-equipe4
9.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime09 pb-pompier-equipe5
10.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime20 pb-pompier-equipe3
11.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime05 pb-pompier-equipe4
12.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime04 pb-pompier-equipe5
13.	Mettre_En_Place_Axe_Circulation_Prioritaire centreacceuil1 pb-police-equipe2
14.	Approvisionner_Nourriture_Centre_Acceuil
15.	Installer_Dispensaire_Centre_Acceuil pb-croixrouge-equipe1
16.	Ouvrir_Centre_Acceuil_Provisoire
17.	Transferer_Patient
18.	Mobiliser_Personnel_Garde
19.	Renforcer_Digue pb-police-equipe1
20.	Approvisionner_Pour_Etat_Alerte
21.	Declarer_Hopital_En_Etat_Alerte
22.	Reguler_Trafic pb-police-equipe2
23.	Soigner_Blesse victime05
24.	Soigner_Blesse victime09
25.	Soigner_Blesse victime11
26.	Soigner_Blesse victime17
27.	Soigner_Blesse victime20
28.	Rechercher_Victime victime14 pb-police-equipe1
29.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime07 pb-pompier-equipe3
30.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime12 pb-pompier-equipe3
31.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime13 pb-pompier-equipe3
32.	Soigner_Blesse victime04
33.	Rechercher_Victime victime15 pb-police-equipe1
34.	Realiser_Evacuation victime19 pb-pompier-equipe4
35.	Realiser_Evacuation victime18 pb-pompier-equipe5
36.	Realiser_Evacuation_Par_Helicoptere victime03 pb-pompier-equipe4
37.	Realiser_Evacuation victime10 pb-pompier-equipe5
38.	Rechercher_Victime victime16 pb-police-equipe1
39.	Realiser_Evacuation victime08 pb-pompier-equipe2
40.	Realiser_Evacuation victime06 pb-pompier-equipe2
41.	Realiser_Evacuation victime02 pb-pompier-equipe4
42.	Alimenter_Groupe_Electrogene_Hopital
43.	Arreter_Centrale_Electrique
44.	<i>Mettre_A_Disposition_Nourriture</i>
45.	<i>Distribuer_Nourriture_Zone_A_Risque al-croixrouge-equipe1</i>
46.	Realiser_Evacuation victime01 pb-pompier-equipe5

FIGURE 4.20 – Plan obtenu en optimisant le modèle de préférences 2. Les actions en bleu mettent en exergue les différences avec le plan 1.

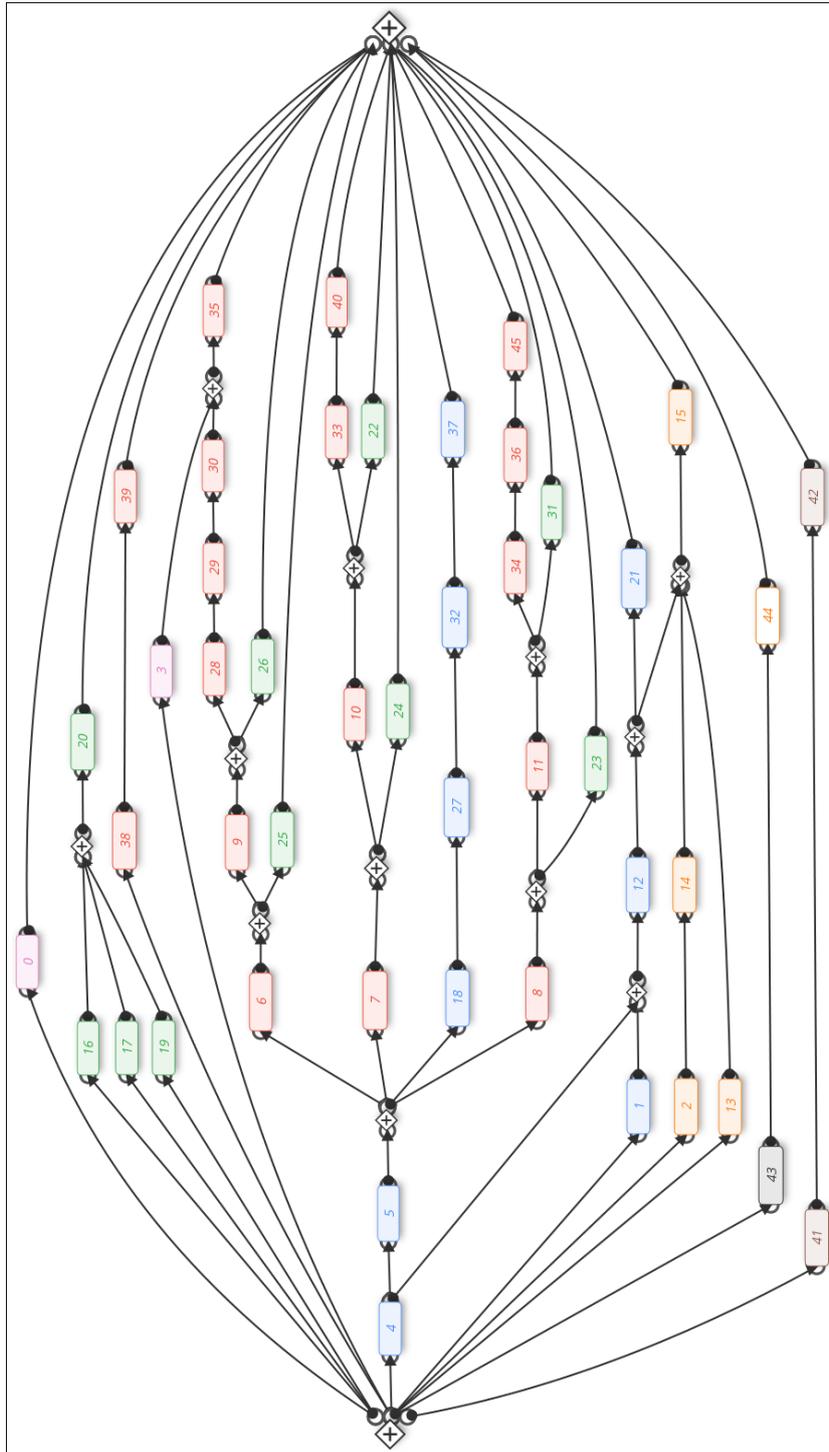


FIGURE 4.21 – Illustration des mécanismes de post-traitement sur le plan 2.
Chaque couleur correspond aux actions d'un partenaire différent.

Plan 3	
1.	Demander_Aide_Internationale
2.	Diffuser_Consignes_Seurite pb-police-equipe2
3.	Installer_Lits_Centre_Acceuil
4.	Mettre_A_Disposition_Helicoptere
5.	Alimenter_Groupe_Electrogene_Entreprise
6.	Determiner_Plan_Deroutement pb-police-equipe1
7.	Mettre_En_Place_Axe_Circulation_Prioritaire hopital1 pb-police-equipe1
8.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime17 pb-pompier-equipe3
9.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime11 pb-pompier-equipe4
10.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime09 pb-pompier-equipe5
11.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime20 pb-pompier-equipe3
12.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime05 pb-pompier-equipe4
13.	Realiser_Evacuation_Blesse_Hopital victime04 pb-pompier-equipe5
14.	Mettre_En_Place_Axe_Circulation_Prioritaire centreacceuil1 pb-police-equipe2
15.	Approvisionner_Nourriture_Centre_Acceuil
16.	Installer_Dispensaire_Centre_Acceuil pb-croixrouge-equipe1
17.	Ouvrir_Centre_Acceuil_Provisoire
18.	Transferer_Patient
19.	Mobiliser_Personnel_Garde
20.	Renforcer_Digue pb-police-equipe1
21.	Approvisionner_Pour_Etat_Alerte
22.	Declarer_Hopital_En_Etat_Alerte
23.	Reguler_Trafic pb-police-equipe2
24.	Soigner_Blesse victime05
25.	Soigner_Blesse victime09
26.	Soigner_Blesse victime11
27.	Soigner_Blesse victime17
28.	Soigner_Blesse victime20
29.	Rechercher_Victime victime14 pb-police-equipe1
30.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime07 pb-pompier-equipe3
31.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime12 pb-pompier-equipe3
32.	Realiser_Evacuation_Par_Bateau victime13 pb-pompier-equipe3
33.	Soigner_Blesse victime04
34.	Rechercher_Victime victime15 pb-police-equipe1
35.	Realiser_Evacuation victime19 pb-pompier-equipe4
36.	Realiser_Evacuation victime18 pb-pompier-equipe5
37.	Realiser_Evacuation_Par_Helicoptere victime03 pb-pompier-equipe4
38.	Realiser_Evacuation victime10 pb-pompier-equipe5
39.	Rechercher_Victime victime16 pb-police-equipe1
40.	Realiser_Evacuation victime08 pb-pompier-equipe2
41.	Realiser_Evacuation victime06 pb-pompier-equipe2
42.	Realiser_Evacuation victime02 pb-pompier-equipe4
43.	Alimenter_Groupe_Electrogene_Hopital
44.	Arreter_Centrale_Electrique
45.	Mettre_A_Disposition_Nourriture
46.	Distribuer_Nourriture_Zone_A_Risque al-croixrouge-equipe1
47.	Realiser_Evacuation victime01 pb-pompier-equipe5

FIGURE 4.22 – Plan obtenu en optimisant le modèle de préférences 3. Les actions en bleu mettent en exergue les différences avec le plan 2.

Aide à la décision

Afin d'aider les décideurs à choisir le plan à exécuter, le prototype présente les scores obtenus par les différents plans solutions par rapport à chacun des modèles de préférences considérés (cf. figure 4.23).

Summary	Model 1	Model 2	Model 3	Min †	Max †	Average †
Alternative 1	58 %	58 %	58 %	58 %	58 %	58 %
Alternative 2	0 %	81 %	81 %	0 %	81 %	54 %
Alternative 3	0 %	78 %	86 %	0 %	86 %	55 %

FIGURE 4.23 – Résumé des scores des plans solutions dans le cas d'étude

Les modèles de préférences 1 et 2 ne diffèrent que par la contrainte relative à l'utilisation de l'aide internationale. Seule l'alternative 1 (qui a été obtenue en cherchant à optimiser le modèle 1) respecte cette contrainte ce qui explique la note nulle des plans 2 et 3 par rapport au modèle de préférence 1. Les scores des alternatives 1 et 2 par rapport au modèle 2 peuvent être interprétés à l'aide des diagrammes en secteurs de la figure 4.24. Conformément aux choix des décideurs lors de la procédure de questionnement (cf. figure 4.17), l'efficacité de la réponse est le critère prépondérant du modèle puisqu'il est responsable de 50% du score. De même, les critères de confort et de coût impactent tous deux 20% de la note. Les 10% du score restant sont dus à une complémentarité entre les critères d'efficacité et de confort. Ainsi, cette section de la note favorise les plans qui sont satisfaisants sur ces deux critères conjointement. C'est par exemple le cas de l'alternative 2 dont les scores d'efficacité et de confort sont relativement similaires (cf. diagrammes à barres de la figure 4.24) mais pas de l'alternative 1 dont le score du critère d'efficacité est largement supérieur à celui du critère de confort.

Les figures 4.19 et 4.20 permettent de comprendre les différences de scores entre les alternatives 1 et 2. En effet, le plan 2 se distingue du premier plan par son recours à l'aide internationale offerte par l'Allemagne et la Belgique. En conséquence, le nombre d'équipes de secours mobilisées dans le plan 2 est supérieur ce qui impacte positivement son critère d'efficacité. Les effectifs de la Croix Rouge sont ainsi renforcés ce qui permet à cet acteur d'effectuer une mission supplémentaire dans le plan 2 (distribution de nourriture aux habitants de la zone qui va être isolée) par

rapport à l'unique mission qu'elle assume dans le plan 1 (prise en charge de blessés dans le dispensaire du centre d'accueil). En conséquence, l'alternative 2 obtient un bon score par rapport au critère de confort. En revanche, le score de coût du plan 2 est plus faible que celui du plan 1 à cause des frais d'approvisionnement occasionnés par cette distribution de nourriture.

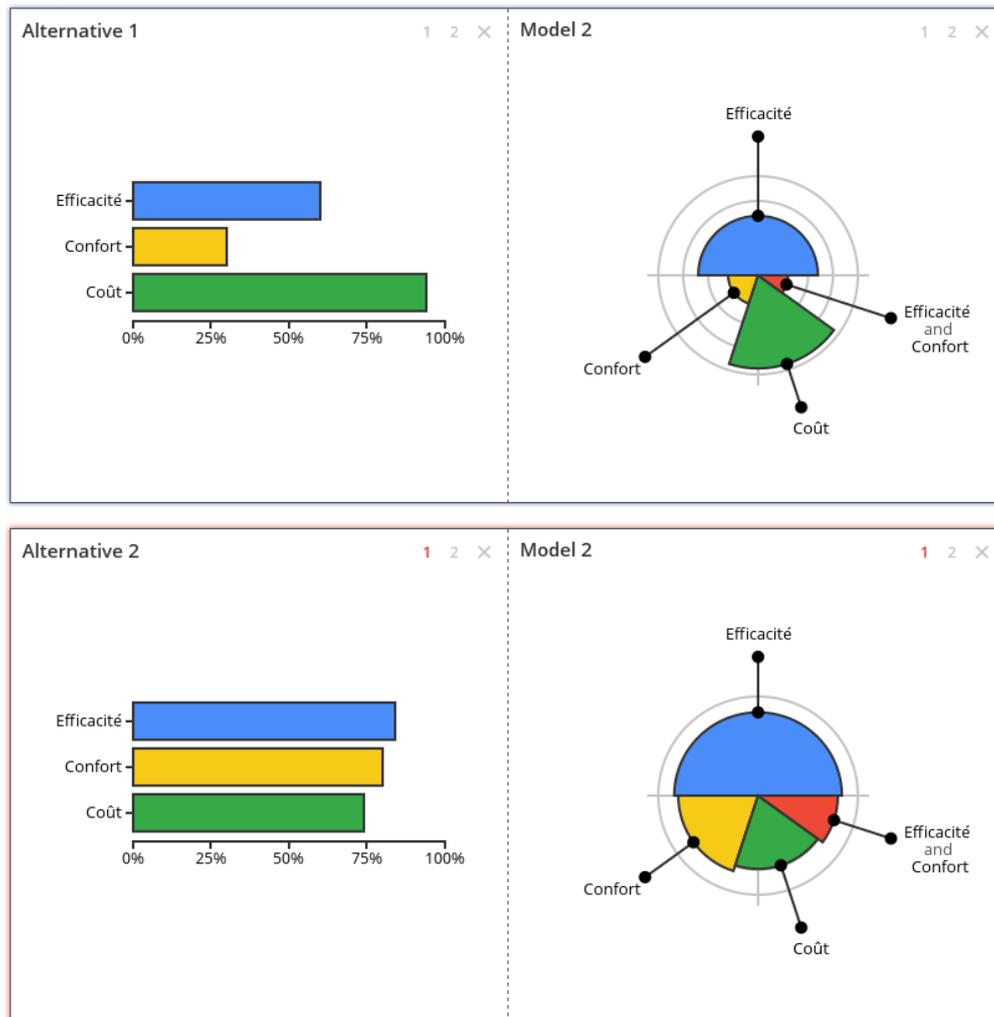


FIGURE 4.24 – Comparaison des plans 1 et 2 selon le modèle de préférences 2

L'analyse des résultats peut se poursuivre à l'aide de la figure 4.25 qui compare les alternatives 2 et 3 par rapport au modèle de préférences 3. Ce dernier présente des similarités avec les modèles de préférences 1 et 2 puisque le critère d'efficacité représente 50% de la note, le critère de coût représente 20% de la note et la

complémentarité entre les critères d'efficacité et de confort représente également 10% du score. Néanmoins, les 20% restants de la note sont définis par une interaction négative entre les critères de coût et d'entreprise. En effet, dans ce modèle de préférences, ces deux critères sont complètement substituables l'un à l'autre. Ainsi, un bon score sur le critère d'entreprise peut compenser un mauvais coût de la solution et vice-versa.

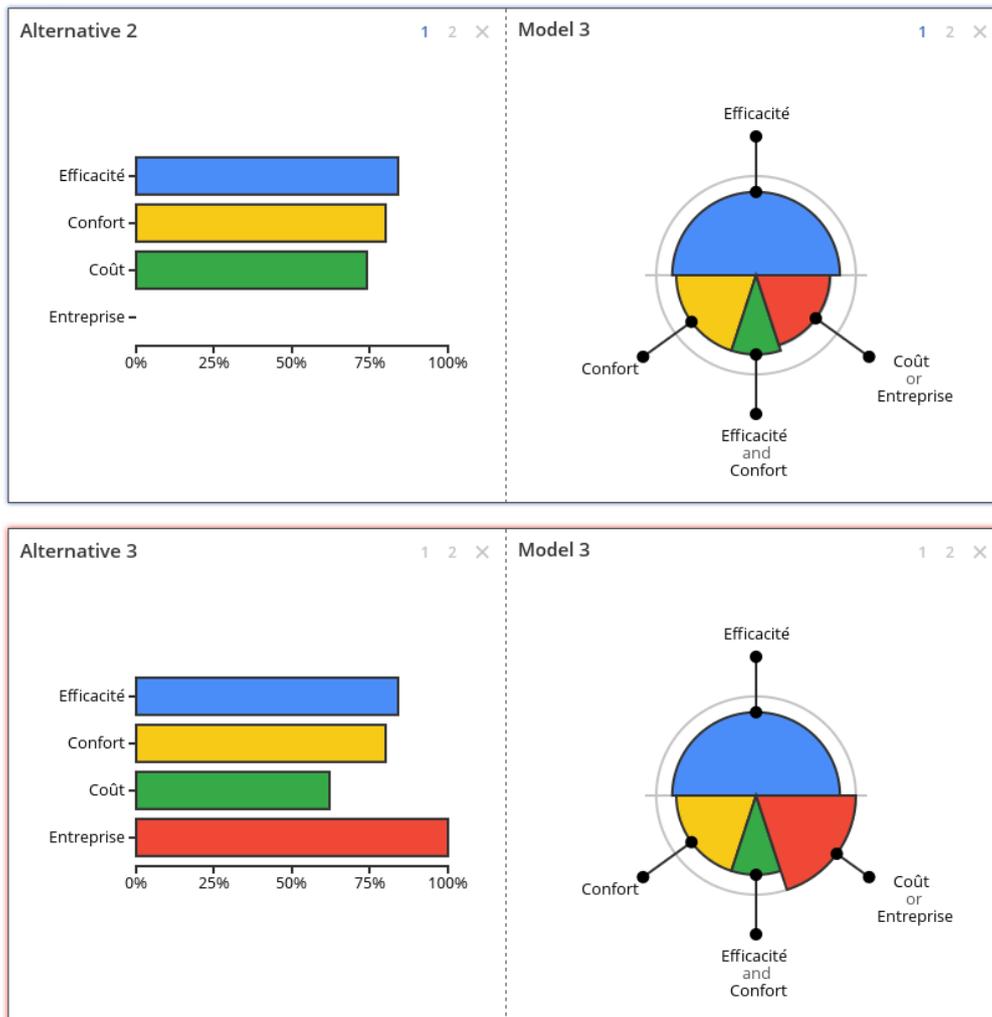


FIGURE 4.25 – Comparaison des plans 2 et 3 selon le modèle de préférences 3

L'alternative 3 (qui est obtenue en optimisant le troisième modèle de préférences) se distingue de l'alternative 2 par le fait qu'elle respecte la préférence relative à l'alimentation électrique des usines de l'entreprise (cf. figure 4.22). Par conséquent,

le score du plan 3 selon le critère entreprise est maximal. En revanche, son critère de coût est moins bon que celui du plan 2 à cause des frais liés à l'alimentation électrique de l'entreprise. Ces deux critères étant substituables l'un à l'autre, l'alternative 3 surpasse l'alternative 2 au sens du troisième modèle de préférences. La qualité du plan 2 reste néanmoins supérieure à celle du plan 3 en ce qui concerne le modèle de préférences 2.

Dans ce cas d'étude, les décideurs choisissent finalement de déployer le troisième plan. En effet, il leur semble difficile de se passer de la présence des partenaires internationaux au vue de l'impact de ces derniers sur la qualité de la réponse. Par ailleurs, le surcout associé au troisième plan leur semble acceptable au vue des avantages de ce dernier par rapport au deuxième plan.

Conclusion

Ce chapitre a débuté par une introduction du domaine de la gestion de crise. Il a notamment présenté les différents problèmes d'interopérabilité auxquels peuvent être confrontés des organisations qui collaborent dans le but de résoudre une situation de crise. Un système d'aide à la décision qui adresse ces difficultés via la construction de plans d'action collaboratifs a été présenté. Il permet à un aréopage d'entités organisationnelles de représenter le problème qu'elles souhaitent résoudre collectivement puis leur propose un ou plusieurs plans collaboratifs dont l'exécution permettrait d'atteindre leurs objectifs. Pour cela, ce dernier met en œuvre des mécanismes de représentation de la connaissance et de transformation de modèles ainsi que les mécanismes de planification présentés dans le chapitre 3. Par ailleurs, un prototype de ce système a été développé dans le cadre de cette étude. Son utilisation a été illustrée à l'aide d'un exemple dans lequel plusieurs partenaires sont amenés à travailler collectivement pour faire face à une inondation et à ses conséquences. Ce prototype met en exergue d'une part l'intérêt et d'autre part la faisabilité conceptuelle du système d'aide à la décision proposé. Il reste néanmoins perfectible notamment en ce qui concerne la transformation des modèles opérationnels des décideurs en problèmes de planification PDDL qui n'a été que partiellement implémentée.