Prise en compte d'un contexte évolutif dans la coordination des opérations de secours

Florence Aligne[1], Pierre Savéant[1], Vincent Vidal[2]

[1] THALES Research & Technology, 1, avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau Cedex
[2] ONERA – DCSD, Toulouse, France

florence.aligne@thalesgroup.com, pierre.saveant@thalesgroup.com, vincent.vidal@onera.fr

Résumé – Dans le cadre du projet DESCARTES (projet du pole Systém@tic), une étude menée à Thales Research & Technology a établi le rôle central des plans de secours dans la construction de la réponse à la crise et proposé un outil d'ordonnancement d'une mission d'intervention pour améliorer et coordonner leur mise en œuvre [2]. Cet outil repose sur une modélisation simplifiée de la problématique de crise établie sur la traduction des plans de secours en actions liées les unes aux autres par des contraintes. Dans la deuxième phase du projet Descartes, Thales Research & Technology a fait évoluer cet outil d'ordonnancement pour prendre en compte un **contexte opérationnel évolutif**. Cela constitue une avancée majeure et permet d'établir un ordonnancement optimal des opérations qui intègre des prévisions de l'évolution de la situation telles qu'établies par des outils dédiés (prévisions météorologiques, prévisions de mouvements sociaux, de trafic, etc.). Nous présentons dans cette publication les résultats de ces derniers travaux de recherche. La première partie est un rappel des travaux initiaux. La seconde partie propose une modélisation simplifiée d'un contexte évolutif en prenant l'exemple de la gestion du trafic routier. La troisième partie décrit la solution d'ordonnancement mise en œuvre et les résultats obtenus.

Abstract – Within the DESCARTES project (project of the pole Systém@tic), a study led to Thales Research and Technology assessed the central role of rescue plans in the organisation of the crisis response, and proposed a planning tool to improve and coordinate the implementation of these plans in emergency cases [2]. This planning tool is based on a simplified modelling of the crisis domain, established on the translation of the rescue plans into constrained actions. In the second phase of the Descartes project, Thales Research and Technology improved this planning tool to take into account an evolving context. This constitutes a major step and allows establishing an optimal organization of the operations which integrates forecasts of the situation evolution such as established by dedicated tools (weather forecasts, forecasts of social movements, of traffic conditions, etc.). We present hereafter the results of this recent work. The first section summarises the initial results. The second section proposes a simplified modelling of an evolving context taking the example of road traffic forecasts. The third section describes the new planning solution and the obtained results.

1. Introduction

Aujourd'hui, la réponse à la crise (catastrophe naturelle, accident industriel, ou attaque terroriste) est organisée à travers la mise en œuvre de plans de secours prédéfinis. Ces plans structurent l'organisation des secours et leur coexistence doit être la plus complémentaire et efficace possible.

Cette recherche d'efficacité est un des objectifs du projet Descartes (projet du pôle systém@tic, [9]) qui définit un ensemble d'outils d'aide à la décision pour améliorer la gestion de la crise. Dans le cadre de ce projet, une étude menée à Thales Research & Technology a montré qu'un outil d'ordonnancement établi à partir de la traduction des plans de secours en actions liées les unes aux autres par des contraintes optimise la coordination des opérations de secours. Une modélisation simplifiée de la problématique de crise et une première version du module d'ordonnancement[3] Descartes avait ainsi été proposées dans la première phase de ce projet [2].

Dans la **deuxième phase du projet Descartes**, Thales Research & Technology a fait évoluer cet outil d'ordonnancement pour prendre en compte un contexte opérationnel évolutif. Cela constitue une **avancée majeure** et permet d'établir un **ordonnancement optimal des opérations qui intègre des prévisions de l'évolution de la situation telles qu'établies par des outils dédiés (prévisions météorologiques, prévisions de mouvements sociaux, de trafic, etc.)**.

Nous présentons dans cette publication les résultats de ces derniers travaux de recherche.

[3] Pour éviter des confusions avec le sens opérationnel de la « planification » de crise (élaboration des plans de secours), l'outil d'aide à la décision proposé par Thales & Technology est désigné dans cet article par outil « d'ordonnancement ». Dans le domaine de l'intelligence artificielle cet outil est cependant un outil de « planification » car les d'actions séquencées sont sélectionnées par l'outil (parmi un ensemble de possible) et non fournies en entrée.

La seconde section est un rappel des résultats obtenus dans la première phase du projet Descartes. La seconde partie propose une modélisation simplifiée d'un contexte évolutif en prenant l'exemple de la prédiction et gestion de trafic routier. La quatrième section montre comment cette modélisation et l'utilisation des *littéraux temporels* (*timed initial literals*) proposés dans le langage standardisé de représentation des problèmes de planification, PDDL2., permettent de tenir compte et d'influer sur cette prédiction.

2. Modélisation de la problématique de crise

Dans cette section, nous rappelons les conclusions issues de la première phase du projet Descartes [2].

Dans cette première étude, l'analyse des procédures actuelles ([1], [8], [18], [19], [21]) a montré que l'**amélioration de la mise en œuvre des plans d'urgence** réside dans la capacité des responsables de crises à coordonner la mise en œuvre de plans simultanés et à **adapter ces plans à une situation courante**. La prise en compte des plans de secours dans la modélisation de la problématique de crise est donc apparue indispensable pour initialiser, contraindre et construire les solutions d'ordonnancement. En partant de ce constat, nous avons proposé une modélisation simplifiée de la problématique de crise qui repose sur une traduction des plans de secours en listes d'actions liées les unes aux autres par des contraintes (FIG. 1). Cette modélisation est générique et adaptable à tout type de scénario [2].

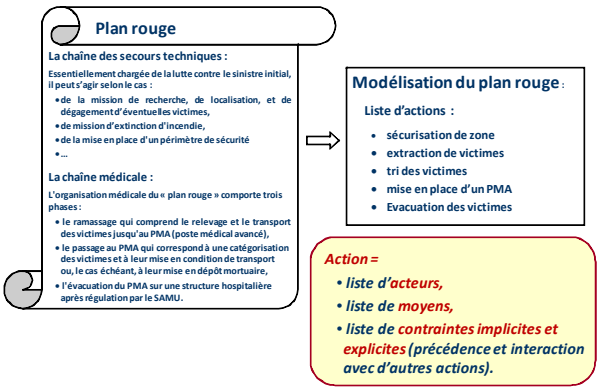

FIG. 1: Modélisation du plan rouge en liste d'actions élémentaires [2]

Basé sur cette modélisation, nous avons développé un outil d'ordonnancement des opérations en s'appuyant sur le langage de représentation des problèmes de planification temporelle, le langage PDDL2.1 [14]. L'avantage de cette solution est qu'elle formalise la modélisation du domaine de gestion de crise indépendamment du solveur considéré et offre une grande facilité de modifications.

Nous avons choisi d'utiliser un solveur optimal pour nous guider dans la définition du domaine de crise, de façon à pouvoir vérifier pas-à-pas que la résolution du problème dans ce domaine conduit aux solutions optimales attendues. Il est entendu que les solveurs optimaux ont du mal à passer à l'échelle (difficulté à résoudre des problèmes de grande taille) comparés aux solveurs approchés (qui ne fournissent pas de preuve d'optimalité). Cependant, si ces derniers seront un meilleur choix dans un contexte opérationnel, les solveurs optimaux sont très utiles dans un contexte de modélisation pour établir une preuve de principe.

L'outil d'ordonnancement obtenu dans ces travaux préliminaires permet de garantir le respect des différents plans mis en œuvre, de coordonner les différents acteurs, d'optimiser la coordination des opérations de secours de l'ensemble des plans activés, de réduire les délais d'intervention et d'optimiser l'utilisation des moyens de secours.

Une limitation de cette première version de l'outil est de ne pas tenir compte d'une situation évolutive mais prédictible. En effet, la modélisation proposée à l'issue de la phase 1 du projet Descartes fait l'hypothèse que la situation est figée sur l'ensemble de la période d'intervention. Pourtant, du fait que les métriques utilisées dans le critère d'optimisation sont temporelles et que les zones de crise considérées dans deux scénarios Descartes sont des zones à forte densité de population, l'impact d'une évolution des conditions de circulation peut être non négligeable sur le déroulement des actions de secours. En effet, en zone urbaine les temps de transfert varient considérablement au cours de la journée selon l'heure à laquelle ils sont effectués. Par ailleurs, les forces de l'ordre ont la possibilité de modifier ces temps de parcours en réduisant l'accès de la circulation sur certaines portions du réseau pour libérer des axes pour les secours. Ces interventions influent à leur tour sur l'état du trafic.

L'objectif des travaux présentés ci-après est de prendre en compte des évolutions prévisibles de la situation résultant de facteurs exogènes ou d'intervention directes dans l'ordonnancement des opérations de secours. Cette modification de l'outil est complexe car elle nécessite une prévision fiable de l'évolution du contexte de crise, ce qui soulève plusieurs questions, d'une part la prédictibilité d'une situation, sa modélisation et sa prise en compte dans le module d'ordonnancement d'autre part.

3. Prévision de l'évolution du contexte : exemple du trafic routier

Aujourd'hui, il existe des logiciels capables de fournir une estimation fiable de l'évolution d'un certain nombre de phénomènes tels que la variation du climat, l'état du trafic routier ou la dispersion d'un nuage toxique. Ces outils reposent soit sur des analyses statistiques, soit sur une modélisation de la physique des phénomènes ; et leur précision et leur qualité dépendent des objectifs qui leur sont fixés (granularité et horizon de temps considérés).

Dans la théorie du trafic, des modèles statistiques ont été développés en appliquant des régressions statistiques sur des échantillons de données collectées sur plusieurs années (boucles magnétiques, caméras). C'est le cas notamment des prévisions « Bison futé », établies par un modèle de régression complexe (programme SAS, 13 variables explicatives et 25 variables croisées de second ordre, [7]).

Pour les modèles de prévision de trafic comportementaux, on distingue classiquement les modèles microscopiques des modèles macroscopiques [15]. Les modèles microscopiques se situent à l'échelle du véhicule et prennent en compte toutes les interactions des véhicules avec leur environnement. Ils modélisent le mouvement du véhicule à l'aide d'équations différentielles et sont adaptés pour prévoir l'évolution d'un contexte local, par exemple pour un outil de simulation [22]. Les modèles de prévision macroscopiques se situent au niveau d'un réseau global (ex. la région parisienne) et s'appuient sur la mécanique des fluides. Les voies de circulation sont décomposées en tronçons et le trafic est modélisé par un « flux » caractérisé par une densité et une vitesse [16].

Nous avons étudié les analyses statistiques fournies par la Direction Interdépartementale des Routes (DIR) sur le site web Sytadin[4]. Ces données représentent 456 km de routes urbaines rapides, 331 km de routes nationales avec un trafic chargé et 4 millions de véhicules par jour. Le trafic est généralement apprécié au travers de trois indicateurs globaux, le cumul des congestions (en km, trafic inférieur à 30 km/h), la vitesse moyenne (en km/h) et la congestion relative (en %). Une synthèse annuelle indique des variations horaires de la charge de trafic spécifiques en fonction des jours de la semaine (FIG. 2, [11]).

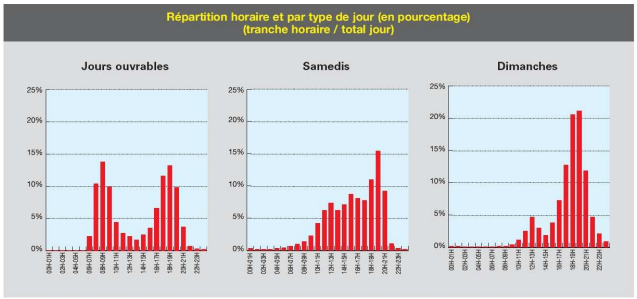

FIG. 2: Répartition journalière du trafic par tranches horaires, [11]

À chacune de ces charges horaires correspond une répartition géographique moyenne du trafic. Par exemple, la répartition moyenne des congestions de trafic pour la tranche horaire 7-8 heures un jour de semaine 2008 est représentée sur la figure FIG. 3, [12].

[4] www.sytadin.fr

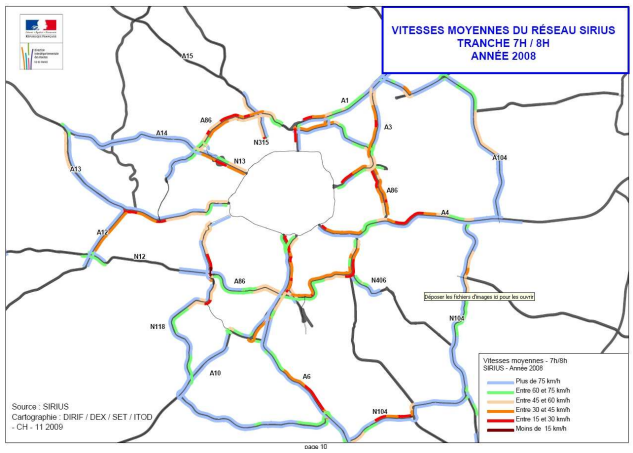

FIG. 3: Répartition géographique du trafic, [12]

Nous avons ainsi considéré que l'évolution du trafic peut être approximée par des situations de trafic de référence pré-calculées. Par exemple, pour un jour de la semaine, nous caractérisons l'évolution de trafic par 5 situations de référence (FIG. 4), identifiées en considérant trois intervalles de valeurs pour l'indice de congestion global et en distinguant les trajets du matin (S_1, S_2) et du soir (S_3, S_4) car les flux de trafic sont inversés.

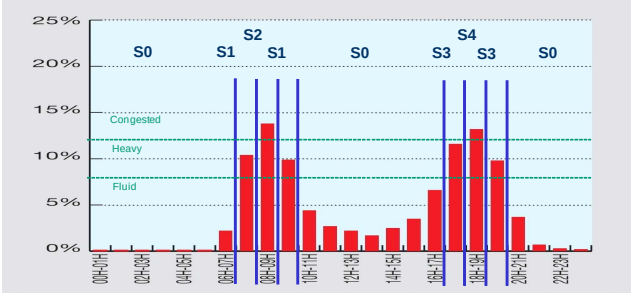

FIG. 4 : Situations de trafic de référence

Une prédiction de l'évolution du trafic peut ainsi être définie comme une liste séquentielle de situations choisies parmi ces situations de référence : (S_0, S_1, S_2, S_1, S_0, S_3, S_4, S_3, S_0). Le modèle de prédiction ainsi obtenu peut se ramener à l'ensemble des temps de parcours entre deux points quelconques du réseau pour une situation de référence donnée. Ces temps de parcours peuvent être produits par un outil de prévision de trafic externe (macroscopique ou statistique) et enregistrés dans des abaques pour chaque situation. La prévision de trafic est par suite obtenue à partir de ces abaques et de la séquence de situations de référence. On peut augmenter la précision de cette prévision en augmentant le nombre de situations de références ou en définissant des points de passage intermédiaires.

Les interventions des forces de l'ordre sur le trafic sont modélisées de façon similaire. Il peut être opportun de dégager une voie de circulation pour faciliter le passage des secours en bloquant les accès en amont pour n'autoriser que le seul passage des secours. Cette action fluidifie le trafic sur la voie réservée aux secours et sature

le réseau voisin. On dit alors que l'on a mis en place une « configuration » de trafic particulière, C_1 ou C_2 ou …, selon l'axe dégagé. L'impact d'une telle action est modélisé en considérant des temps de parcours modifiés sur l'ensemble du réseau. Sans intervention de police, configuration nominale C_0, les temps de parcours sont estimés comme précédemment en considérant la situation de trafic de référence S_i ; lorsqu'on met en place une intervention de police, on passe en configuration C_j, les temps de parcours sont estimés à partir d'une simulation de la charge de trafic (fonction de la situation S_i) avec restriction des voies. Ces temps de parcours peuvent être pré-calculés par un outil de simulation du trafic [3].

La section suivante montre que ce modèle de prévision de trafic permet de prendre en compte l'impact de l'évolution du trafic sur les opérations de secours et des interventions des forces de l'ordre pour dégager certains axes.

4. Prise en compte de l'évolution du contexte dans l'ordonnancement

Cette quatrième partie montre que la modélisation précédente peut-être traduite dans le langage de représentation des problèmes de planification PDDL2.2 et que cela permet de prendre en compte l'évolution de la situation dans l'ordonnancement. Cette capacité est illustrée sur un scénario mettant en jeu des prévisions de trafic routier et des actions de gestion de trafic.

4.1 Les contraintes temporelles dans CPT

Nous avons choisit le solveur optimal CPT ([14], [5], [24], [25], [26], [27]) car le domaine de la gestion de crise nécessite l'introduction d'actions concurrentes et avec des notions de durées, et, à notre connaissance, CPT est le solveur optimal temporel, indépendant du domaine considéré, le plus efficace. Il faut noter que CPT ne résout pas la sémantique temporelle complète de PDDL2.1 [14]. Dans cette dernière, des pré-conditions peuvent être définies au début de l'action, à la fin ou sur la période entre ces dates, et les effets peuvent être activés soit au début soit à la fin de l'action. CPT résout des plans basés sur une *sémantique conservative*, où les pré-conditions peuvent être vraies au début, les effets sont produits à la fin de l'action, et ni les uns ni les autres ne peuvent être annulés par une action concurrente pendant l'exécution de l'action. Cela interdit de fait les plans requérant des concurrences imposées (*required concurrency*, [6]), ce dont on peut se passer dans notre cas même si cela simplifierait l'écriture du domaine. En effet, la concurrence imposée n'intervient que pour prendre en compte la prévision d'évènements exogènes, et elle peut être obtenue en utilisant les littéraux temporels (*timed initial literals*) introduits dans le langage PDDL2.2 [13].

CPT a été étendu dans le cadre du projet Descarwin [10] et permet aujourd'hui une mise en œuvre très simple des littéraux temporels. Chaque littéral temporel de la forme `(at <timepoint> <literal>)`, signifiant que le littéral *l* doit être vrai à un temps précis pour tous les plans, est traduit comme une action *a* de durée nulle sans pré-condition et ayant *l* comme effet. L'introduction d'une telle action dans tous les plans au temps spécifié est forcé dans CPT par l'ajout des contraintes supplémentaires suivantes : $InPlan(a)=true$ (*a* appartient à chaque plan), et $T(a)=t$(*a* est exécutée au temps *t*, et sa durée est nulle, son effet *l* est immédiatement vrai). Finalement, le mécanisme décrit dans [27] pour introduire plusieurs instances de la même action est désactivé pour les actions introduites pour mettre en œuvre les littéraux temporels.

4.2 Le domaine de gestion de crise

La modélisation de l'évolution de trafic a été intégrée dans la modélisation de la problématique de crise. Nous avons ainsi représenté l'environnement de crise par un ensemble de lieux (lieu de crise, hôpitaux, casernes de pompiers, commissariats de police…), connectés par le biais d'une fonction PDDL qui établi le temps de parcours entre deux lieux en fonction de la situation de trafic, S_i (prévision) et une configuration du réseau, C_j (intervention de police). On suppose par ailleurs que le meilleur itinéraire pour passer d'un lieu à l'autre est connu à l'avance afin d'éviter la combinatoire induite par la recherche du chemin optimal (on permet cependant la définition d'itinéraires alternatifs). Les ressources sont principalement des véhicules de secours associés à des tâches d'extraction, de tri, de décontamination, de soin et d'évacuation des victimes, des unités de police et des lits d'hôpitaux. Les hôpitaux ont un nombre de lits limité et sont spécialisés (brûlés, soins intensifs, chirurgie…), et les victimes sont évacuées en tenant compte du type de lit disponible.

Pour tenir compte de l'évolution du contexte, fournie par un module de prévision externe, on utilise les littéraux temporels introduits dans PDDL2.2, et l'on modélise l'évolution du trafic en exprimant la séquence de situations de référence, prédites dans l'état initial du problème. Par exemple :

```
(:init
      (currentSituation heavy)
      (at 121 (not (currentSituation heavy)))
      (at 121 (currentSituation congested))
      (at 300 (not (currentSituation congested))))
```

établit que le trafic sera dense (situation S_2) dans l'intervalle de temps [0, 120] et [121, 300]. Le temps de parcours moyen entre deux points est défini dans des abaques pour chaque situation et configuration de trafic. On tient compte l'état du trafic, dans la définition de l'action de déplacement (`move`), définie comme suit :

```
(:durative-action move
```

```
:parameters (?v - Vehicle ?p1 ?p2 - Place ?s
                                        - Situation)
:duration (= ?duration (averageTime ?s ?p1 ?p2))
:condition    (and (currentSituation ?s)
              (loc ?v ?p1))
:effect (and (not (loc ?v ?p1)) (loc ?v ?p2)))
```

On prend en compte l'impact des interventions des forces de l'ordre sur le trafic lors des opérations de dégagement des voies prioritaires, en modifiant la fonction de déplacement comme suit :

```
(:durative-action move
:parameters (?v - Vehicle ?p1 ?p2 - Place ?s
                      - Situation ?c - Config)
:duration (= ?duration (averageTime ?s ?c ?p1 ?p2))
:condition (and (currentSituation ?s)
              (currentConfig ?c) (loc ?v ?p1))
:effect (and (not (loc ?v ?p1)) (loc ?v ?p2)))
```

Les interventions de police pour libérer des voies de circulation sont modélisées à travers une fonction `switch`, qui représente la transition entre deux configurations de secours :

```
(:action switchConfiguration
:parameters (?c1 ?c2 - Configuration
              ?v1 ?v2 - policeunit ?s - Situation)
:duration (= ?duration (deployTime ?c1 ?c2 ?s))
:condition (and (currentSituation ?s)
     (currentConfig ?c1) (loc ?v1 ?s1) (loc ?v2 ?s2)
     (available ?v2))
:effect (and  (not (available ?v2)) (available ?v1)
              (not (currentConfig ?c1))
              (currentConfig ?c2)))
```

Deux autres actions `switch` sont définies pour les cas où la configuration initiale ou finale est une configuration nominale (sans intervention des forces de l'ordre sur le trafic). Une action représente la sécurisation de la zone et utilise un nombre d'unités de police proportionnel à la taille de la zone à sécuriser. Tandis que les actions d'extraction, de tri et de décontamination sont des affectations de ressources simples, l'évacuation des victimes est rendue dépendante du type de lit, en se référant au standard EDXL-HAVE (Oasis, [20]) : *AdultIntensiveCare, PediatricsIntensiveCare, Medical-Surgical, Burn, AdultPsychiatric, PediatricPsychiatric, NegativeFlowIsolation, or OperatingRooms*. Lors de la construction d'un scénario chaque victime est associé à un type de lit, et la fonction d'évacuation est représentée de la façon suivante :

```
(:action host
:parameters (?v - Victim ?h - Hospital
                      ?n1 ?n2 – Natural ?b - BedType)
:condition (and (loc ?v ?h) (bedRequired ?v ?b)
              (bedCapacity ?h ?b ?n1) (next ?n2 ?n1))
:effect (and  (not (bedCapacity ?h ?b ?n1))
              (bedCapacity ?h ?b ?n2)
              (not (loc ?v ?h))(rescued ?v)))
```

Une solution d'ordonnancement optimal pour un scénario réduit impliquant trois victimes est la suivante :

```
0:(move truck_pma station9 crisis1 heavy c0)[14]
0:(move amb12 station9 crisis1 heavy c0)[14]
0:(move truck_rbc station10 crisis1 heavy c0)[16]
0:(move truck_ext station11 crisis1 heavy c0)[14]
0:(move amb22 station10 crisis1 heavy c0)[16]
0:(move pol1b station1 crisis1 heavy c0)[10]
0:(move amb31 station11 crisis1 heavy c0)[14]
10:(secureZone crisis1 medium pol1b)[2]
12:(moveToConfiguration c0 c1 pol1b crisis1 heavy)[3]
14:(installPMA truck_pma crisis1)[1]
14:(installExtraction truck_ext crisis1)[1]
15:(extract casualty3 truck_ext crisis1)[2]
15:(switchConfiguration c0 c1 pol1b heavy)[2]
16:(installDecontamination truck_rbc crisis1)[1]
17:(decontaminate casualty3 truck_rbc crisis1)[2]
17:(extract casualty2 truck_ext crisis1)[2]
19:(diagnose casualty3 truck_pma crisis1)[2]
19:(decontaminate casualty2 truck_rbc crisis1)[2]
19:(extract casualty1 truck_ext crisis1)[2]
21:(load casualty3 amb12 crisis1)[2]
21:(diagnose casualty2 truck_pma crisis1)[2]
21:(decontaminate casualty1 truck_rbc crisis1)[2]
23:(move amb12 crisis1 hop2 heavy c1)[10]
23:(load casualty2 amb22 crisis1)[2]
23:(diagnose casualty1 truck_pma crisis1)[2]
25:(move amb22 crisis1 hop1 heavy c1)[3]
25:(load casualty1 amb31 crisis1)[2]
27:(move amb31 crisis1 hop1 congested c1)[5]
28:(unload casualty2 amb22 hop1)[5]
32:(unload casualty1 amb31 hop1)[5]
33:(unload casualty3 amb12 hop2)[5]
33:(host casualty2 hop1 n4 n3 AdultIntensiveCare)[1]
37:(host casualty1 hop1 n3 n2 AdultIntensiveCare)[1]
38:(host casualty3 hop2 n2 n1 Burn)[1]
```

Dans cette solution on peut voir que les premiers déplacements des secours ont lieu avec un trafic `dense` dans une configuration nominale (C_0, pas d'intervention de police). Au temps 15, la configuration de trafic bascule en configuration C_1 qui correspond à la mise en place d'une intervention police pour libérer des voies pour les secours, et anticiper la situation de trafic saturée (au temps 27, la situation de trafic devient `congested`). On note également que la victime `casualty2` est évacuée avant `casualty1` car son état est critique (modélisé par une mort au temps 35 si elle n'est pas évacuée).

L'ordonnancement ainsi obtenu permet bien d'**anticiper l'impact d'une saturation de trafic et de proposer en réponse des actions de dégagement de voies prioritaires de façon optimale**.

Si l'on avait conservé l'hypothèse d'une situation de trafic constante sur toute la période d'intervention, la solution aurait été soit optimiste (hypothèse d'une situation de trafic dense), soit pessimiste (hypothèse d'une situation de trafic saturé), et l'ordonnancement n'aurait pu proposer une intervention de dégagement des voies pour fluidifier les axes sensibles.

Nous avons joué plusieurs scénarios de taille croissante avec la dernière version du solveur CPT qui intègre les littéraux temporels, et avons obtenu des solutions optimales pour 10 victimes. Un autre scénario est en cours de test, impliquant une seconde attaque déclenchée plus tard (deux lieux de crise) et donc avec un impact sur l'ordonnancement initial des actions.

Un tel outil peut être utilisé dans un contexte opérationnel pour initialiser une séquence ordonnée et optimisée des opérations de secours. Cette séquence doit ensuite être adaptée et validée par les gestionnaires de crise à partir de leur propre analyse de la situation. Il peut aussi être utilisé en amont de la crise pour dimensionner les moyens de secours (utilisation en *What-if*). L'outil repose en effet sur des modélisations génériques et adaptables des actions de secours et du contexte de la crise, il peut facilement être modifié pour « jouer » de nouveaux scénarios.

5. Conclusion

La deuxième phase du projet Descartes, constitue une avancée majeure du point de vue de l'ordonnancement des opérations. L'outil que nous proposons aujourd'hui permet d'établir un **ordonnancement optimal des opérations qui tient compte des prévisions de l'évolution de la situation de crise telles qu'établies par des outils dédiés (prévisions météorologiques, prévisions de mouvements sociaux, de trafic, etc.)**. Appliqué à la problématique de la coordination des secours dans un environnement routier très dense, nous avons montré l'intérêt de tenir compte d'une situation évolutive pour coordonner les opérations de secours en tenant compte de la prévision du trafic routier. L'outil d'ordonnancement proposé permet à la fois d'**anticiper l'impact d'une saturation du réseau routier et de proposer en réponse des actions de dégagement de voies prioritaires**.

Ces résultats sont prometteurs et **laissent entrevoir des applications beaucoup plus larges**. Le projet Descartes est aujourd'hui dans une phase d'intégration qui permettra de connecter l'outil d'ordonnancement de Thales Research & Technology avec l'outil de simulation et de visualisation de MASA [16]. Cela facilitera l'analyse des ordonnancements proposés et, dans le cas d'une utilisation en *What-if*, le dimensionnement des moyens de secours. Une étude menée dans le cadre du projet Descarwin [10] devrait permettre le passage à l'échelle grâce à une décomposition du problème d'ordonnancement en sous-problèmes plus simples avec des techniques évolutionnaires [4]. **La preuve de principe de l'outil d'ordonnancement sera effectuée lors de la démonstration du projet Descartes pendant l'été 2011**.

Références

[1] Aligne F., « *Which Information and Decision Support System for the Crisis Management?* », NATO RTO Symposium, IST086, C3I for Crisis, Emergency and Consequence Management, Bucharest, Romania, 11-12 may 2009.

[2] Aligne F. et Savéant P., « *Gestion de crise : optimisation de la mise en œuvre des plans de secours* », WISG 2010 (Workshop Interdisciplinaire sur la Sécurité Globale), Troyes, France

[3] Awasthi A., « *Développement d'un système de routage hiérarchique pour les réseaux urbains* », thèse, Université de Metz, 2004.

[4] Bibaï J., Savéant P., Schoenauer M., Vidal V., « *An Evolutionary Metaheuristic Based on State Decomposition for Domain-Independent Satisficing Planning, 20th International Conference on Automated Planning and Scheduling* », ICAPS-2010, pp. 18-25, AAAI Press, May 2010.

[5] Castillo L., Fdez.-Olivares J., García-Pérez O., and Palao F., « *Bringing Users and Planning Technology Together. Experiences in SIADEX* », 16th International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS 2006), pp. 11-20, 2006.

[6] Cushing, W.; Kambhampati, S.; Mausam; et Weld, D., « *When is Temporal Planning Really Temporal?* », In 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), pp. 1852-1859, 2007.

[7] Danech-Pajouh M., « *Les modèles de prévision du dispositif Bison futé et leur évolution* » Recherche Transports Sécurité n°78 janvier-mars 2003, http://mdpdanech.free.fr/PDF-article/rts78-bison.pdf

[8] Dautun, C., « *Organisation de la gestion de crise : 'Les secours face à une crise de grande ampleur'* », Thèse professionnelle, mastère Sécurité Industrielle et Environnement, Ecole des Mines d'Alès et INERIS, France, 2004

[9] DESCARTES, Projet du pôle System@tic Paris Region Sytems & ICT Clusters, contrat n°08 2 93 0368, http://www.systematic-paris-region.org/fr/projets/descartes

[10] DESCARWIN, Projet ARN, ANR-09-COSI-002 http://www.agence-nationale-recherche.fr/documents/aap/2009/finance/cosinus-financement-2009.pdf

[11] Direction Régionale de l'Équipement (DRE), « *Les déplacements sur le réseau de voies rapides urbaines d'Île-de-France, année 2004* », DRE, Observation des déplacements sur Voies Rapides, http://www.dir.ile-de-france.developpement-

durable.gouv.fr/IMG/pdf/Deplacements_VRU_AN_2004_cle59612c.pdf

[12]Direction Régionale de l'Équipement (DRE), « *Les déplacements sur le réseau de voies rapides urbaines d'Île-de-France en 2008*», DRE, Observation des déplacements sur Voies Rapides, http://www.dir.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/indicateurs_2007_2008_cle6ff7a5.pdf

[13]Edelkamp, S.; and Hoffmann, J. « *PDDL 2.2: The Language for the Classical Part of IPC-4* ». In Proceedings of the International Planning Competition. 14th International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS 2004), pp. 1-7, 2004

[14]Fox M. and Long D., « *PDDL2.1 : An Extension to PDDL for Expressing Temporal Planning Domains* », Journal of Artificial Intelligence Research, Vol. 20, pp. 61-124, 2003

[15]Haut B. and Bastin G., « *A second Order Model of road Junctions in Fluid models of Traffic Networks* », Networks and Heterogeneous Media, Vol. 2(2), pp. 227 - 253, 2007

[16]Lebacque, J.-P.; Mammar, S.; and Haj Salem, H., « *Generic second order traffic flow modelling* », In Proc. of the 17th ISTTT (International Symposium on Transporation and Traffic Theory), London, 2007.

[17]MASA, « *MASA Sword for Security* », http://www.masagroup.net/images/products/sword/masa-sword-security-brochure.pdf

[18]Médecin en chef Claude Fuilla, « *Quels plans de secours pour quelles menaces terroristes ?* », Médecin-chef de la Brigade de Sapeurs Pompiers de Paris, Conférence CTIF « Nouveau monde, Nouveaux risques », Carcassonne, France, 4-5 juillet 2008.

[19]Ministère de la défense, (2008) « *Défense et sécurité nationale - Le Livre blanc* », Volumes 1 et 2, La Documentation française ; Odile Jacob.

[20]OASIS, Emergency Data Exchange Language (EDXL) Hospital AVailability Exchange (HAVE), V1.0., OASIS Standard, 22 December 2009.

[21]Peral-Gutierrez de Ceballos J, F. Turégano-Fuentes, D. Pérez Díaz , et al, « *Casualties treated at the closest hospital in the Madrid, March 11, terrorist bombings* », Critical Care Med 2005, 33:S107–S112.

[22]Treiber, M.; Hennecke, A.; Helbing, D., « *Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations* », Physical Review E 62 (2): 1805–1824, 2000, doi:10.1103/PhysRevE.62.1805

[23]Savéant P., Schoenauer M. and Vidal V., « *Divide-and-Evolve: a New Memetic Scheme for Domain-Independent Temporal Planning* », 6th European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (EvoCOP 2006), pp. 247-260, 2006.

[24]Vidal V. et Geffner H. « *Un planificateur temporel optimal basé sur la programmation par contraintes* », Actes JNPC'04

[25]Vidal V. and Geffner H., « *Branching and Pruning : An Optimal Temporal POCL Planner based on Constraint Programming* », In Proceedings of AAAI-2004, pages 570 à 577, 2004

[26]Vidal V. et Geffner H., « *Plus d'inférence et moins de recherche pour la résolution de problèmes de planification simples* », Actes JFPC 2005

[27]Vidal V. et Geffner H., « *Branching and Pruning: An Optimal Temporal POCL Planner based on Constraint Programming* », Artificial Intelligence Vol. 170 (3), pp. 298-335, 2006