

Système d'Aide à la Décision Multicritère pour la Logistique de l'Évacuation à Grande Échelle

Emmanuel NÉRON, Flavien AUDIN, Ismaila NDIAYE, Kaouthar BOUKEBAB¹, Kamal SERRHINI, Mindjid MAÏZIA, Mathilde GRALEPOIS², Bruno GASNIER³, Nicolas DESRAMAULT⁴

¹Polytech²Tours, Laboratoire d'Informatique, 64 avenue Jean Portalis, 37200 TOURS

²UMR CNRS CITERES 7324 équipe IPA-PE

³CERVVAL, 140 avenue Graham Bell 29280 Plouzané

⁴BRGM, DRP, 3 avenue Claude-Guillemain, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 02

emmanuel.neron@univ-tours.fr, flavien.audin@univ-tours.fr, ismaila.ndiaye@univ-tours.fr, kaouthar.boukebab@univ-tours.fr,
kamal.serrhini@univ-tours.fr, mindjid.maïzia@univ-tours.fr, mathilde.gralepois@univ-tours.fr, bruno.gasnier@cervval.com,
n.desramaut@brgm.fr

Résumé – Le projet DSS_Evac_Logistique¹ se propose d'étudier les problématiques de l'évacuation d'une ville en cas de destruction complète ou partielle suite à une catastrophe naturelle ou accidentelle. Pour cela, il met en œuvre une chaîne de traitement allant de la collecte des données sur le terrain jusqu'à la validation, par la simulation, des plans d'évacuation calculés à l'aide d'algorithmes multicritères de routage.

Abstract – The DSS_Evac_Logistique project studies the problematic of city evacuation in case of total or partial destruction in the wake of natural or accidental disaster. It implements a producing chain from data collecting on the field to the validation, using the simulation, of the evacuation plans calculated with routing multi-criteria algorithms.

1. Présentation du projet

1.1 Description et contexte

Ce projet s'intéresse au problème de l'évacuation à grande échelle de villes dans le cas d'une catastrophe naturelle. L'objectif est de proposer un logiciel ergonomique qui soit un support d'aide à la décision et qui permette aux décideurs de choisir dans une base de données de plans d'évacuation celui qui permettra d'évacuer la population dans les meilleures conditions de sécurité.

L'approche méthodologique est basée sur la modélisation, l'optimisation et la simulation avec un accent sur l'optimisation et l'aide à la décision multicritère.

La région de Nice est située non loin du bassin Ligurie, classifiée de sismicité modérée, ce qui en fait un cas d'étude pertinent. D'autant plus que ce projet s'inscrit dans la continuité et le développement d'actions nationales et ministérielles engagées depuis plusieurs années.

1.2 Les partenaires du projet

L'analyse de situation d'urgence et de scénarios d'évacuation associés requière l'intervention de plusieurs domaines d'expertise : aménagement du territoire, gouvernance et comportement sociaux, modélisation des catastrophes et de leurs impacts sur les infrastructures, sécurité, localisation, transport, calcul d'itinéraires sous contraintes, simulation, etc. Le consortium français

composé des laboratoires d'informatique (LI) et CITERES de l'université de Tours, le bureau de recherche géologique et minière (BRGM) et la société CERVVAL affiche des compétences complémentaires.

L'équipe « Ordonnancement et Conduite » du **laboratoire d'informatique**, intervenant dans le projet, est spécialisée dans la résolution d'optimisation combinatoire et plus précisément des problèmes d'ordonnancement et de transport. L'apport au projet se situe sur des domaines phares de l'activité scientifique de l'équipe : l'ordonnancement et le calcul d'itinéraires multicritères sur des réseaux de grande taille.

Les recherches menées au sein de **CITERES** dont fait partie l'équipe « Ingénierie du Projet de l'Aménagement – Paysage et environnement » participant au projet, sont basées sur un partage des connaissances dans une approche multidisciplinaire. Chaque équipe travaille sur différentes zones chrono-culturelles mais avec un même fil conducteur : les processus de spatialisation et de régionalisation. Au sein de l'équipe IPA-PE de CITERES, un groupe de chercheurs s'intéresse plus spécifiquement aux risques naturels majeurs urbains en termes de gouvernance, de prévention de gestion de crise (évacuation [1]) et d'efficacité de la communication [2] vers les destinataires.

Le Département Risques et Prévention (DRP) du **BRGM** est l'utilisateur final du projet. Le BRGM est une institution publique développant des activités de R&D et

¹Ce projet est financé par l'ANR dans le cadre du programme CSOSG 2012 – Projet ANR – 11-SECU-002-01

proposant une expertise pour les politiques publiques, les décideurs et également à destination des citoyens dans les domaines des sciences de la terre.

La direction DRP est reconnue internationalement dans les domaines relatifs à l'évaluation et la prévention des risques telluriques (séismes, mouvements de terrain) et côtiers. Ses activités comprennent la mise en œuvre de méthodes et d'outils pour l'évaluation des aléas naturels, de la vulnérabilité et des risques, ainsi que leur prévention.

La société **CERVVAL** est spécialiste dans le domaine des logiciels de simulation. Fort de son expérience dans le domaine de la simulation de trafic et la simulation de l'évacuation de foules au travers de projets fructueux, son rôle sera de valider par la simulation les plans d'évacuations calculés en prenant en compte le comportement humain, en situation de stress par exemple.

2. Étude réalisée et travail en cours

2.1 Etude de terrain : le cas de Nice

L'équipe CITERES a réalisé un premier diagnostic [3] pluridisciplinaire sur la compréhension et l'appropriation du site d'étude constitué de Nice et de ses communes limitrophes. Ainsi, différentes thématiques ont été traitées dont

- La question de la gouvernance en cas de crise sismique à travers une série d'entretiens avec les acteurs majeurs du site. Cette démarche a pour but une meilleure prise en compte des besoins et préférences des acteurs locaux par les chercheurs.
- l'analyse de vulnérabilités organisationnelle et structurelle d'enjeux majeurs localisés face au scénario de référence qui comprend un séisme (GEMGEP, CETE Méditerrané 2005 et RISK-UE, BRGM/RP-53202-FR 2004) et un tsunami induit.
- l'élaboration du plan de gestion de crise composé de deux volets : la gestion des secours et le plan d'évacuation et de soutien à la population. Des outils opérationnels de gestion de crise ont été développés (dimensionnement des Centres d'Accueils et de REgroupements CARE)

Dans ce premier travail, deux principaux résultats peuvent être indiqués :

- en partant d'un découpage de Nice en 27 unités urbaines dites homogènes (GEMGEP) et sur la base de critères tels que les formes urbaines, l'âge des bâtiments et la fonction des édifices, un nouveau

découpage plus fin de Nice en 64 zones ou quartiers plus homogènes a été proposé ;

- les analyses de la vulnérabilité combinées aux entretiens avec les gestionnaires locaux ont abouti à l'ébauche d'une première version (Système d'Information Géographique) du plan d'évacuation et de soutien à la population.

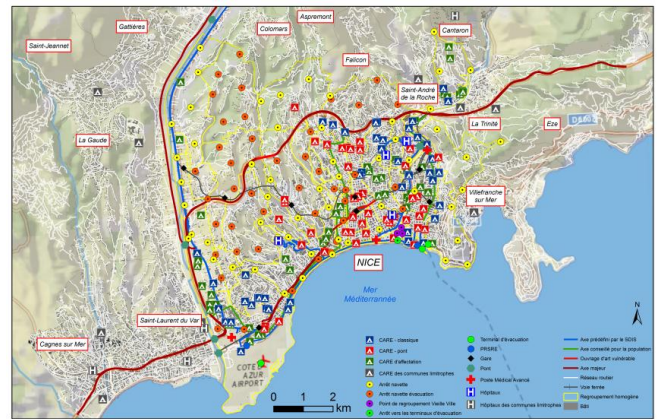


FIG. 1 : PLAN D'EVACUATION DE LA VILLE DE NICE

Enfin, dans le cadre de la première année de ce projet DSS_Evac_Logistique, l'équipe de CITERES s'est fixée deux principaux objectifs : approfondissement et validation du précédent plan d'évacuation et de soutien à la population puis démarrage d'une thèse de doctorat qui a pour objectif la modélisation de la vulnérabilité mécanique des bâtiments et des réseaux VRD (eau et assainissement) face au scénario de référence (séisme et tsunami) qui sera retenu par le consortium

2.2 Collection des données : Impact d'un séisme sur le terrain

La zone d'étude est soumise à un risque sismique non négligeable, avec des séismes de magnitude supérieure à 6 envisageables. De tels séismes risquent ensuite de provoquer des phénomènes induits, comme des glissements de terrain sur les versants et éventuellement un tsunami. Ces différents phénomènes en cascade sont modélisés à l'aide des méthodes et outils développés au BRGM. Ainsi, pour différents scénarios de séismes dévastateurs mais plausibles, le déclenchement et les propagations des différents phénomènes sont modélisés à partir de données géomorphologiques. Ainsi une évaluation quantifiée et spatialisée des différents aléas est obtenue.

Les données sur le bâti existant, recueillies lors d'études terrains effectuées lors de précédents projets (GEMITIS, RISK-UE) et complétées durant ce projet permettent une évaluation de la vulnérabilité du bâti et de certaines infrastructures critiques (ponts, tronçons routiers, hôpitaux notamment). Des zones de vulnérabilités homogènes sont ainsi définies. Ces informations sont ensuite combinées aux niveaux d'agressions déterminés précédemment pour estimer les niveaux d'endommagement des différents secteurs.

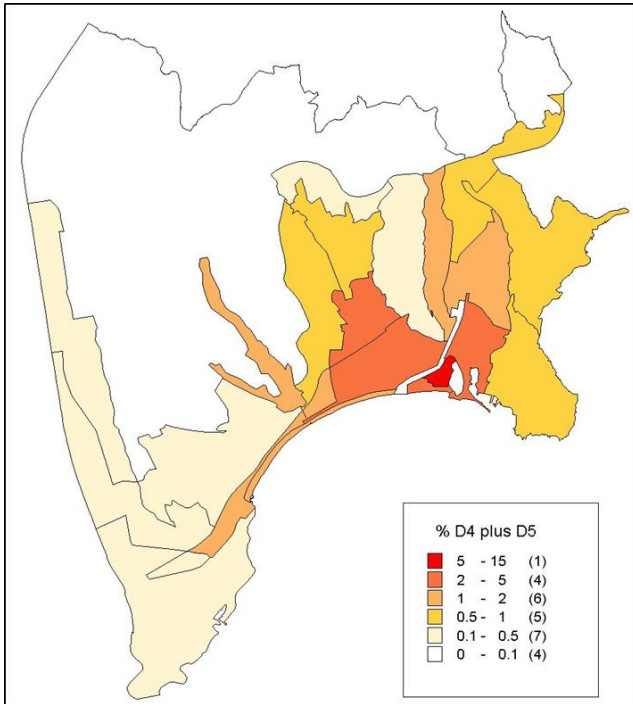


FIG. 2 : RESULTAT PROJET RISK-UE - DOMMAGE SUR LES ZONES DE VULNERABILITE HOMOGENE [4]

Le résultat final est alors une carte de distribution des victimes, des personnes sans-abris (temporaires ou permanentes). Pour le réseau routier, trois phénomènes sont pris en compte, l'effondrement des ponts, les dommages sur les tronçons routiers provoqués par les glissements de terrain et le taux d'encombrement par les débris résultant de l'effondrement des bâtiments.

2.3 Traitement des données et logiciel d'aide à la décision

Le logiciel d'aide à la décision devra collecter et manipuler un grand nombre de données spatialisées qui seront employées par les algorithmes de recherche d'itinéraires multicritères (Cf. Section « Algorithmes pour la définition des plans d'évacuation »). Pour cela, le choix d'outils spécialisés fiables et complets s'impose et devient un point important pour l'architecture finale du système.

La suite de solutions open-source soutenues par la fondation internationale OSGeo est à l'étude pour le projet.

Plus particulièrement, la base de données PostgreSQL associée à PostGIS permet une gestion optimisée des

données spatialisées. De plus, la librairie PgRouting apporte les fonctionnalités indispensables et personnalisables pour le calcul d'itinéraires.

Ensuite, différents systèmes et librairies permettent la visualisation et l'utilisation de telles données géographiques aussi bien en mode client lourd que selon une architecture client-serveur, et ce, dans différents langages de programmation courants. Ils sont donc facilement intégrables dans un projet tel que DSS_EVAC_LOGISTIQUE.



FIG. 3 : QUELQUES OUTILS SOUTENUS PAR OSGEO

2.4 Algorithmes pour la définition des plans d'évacuation

L'objectif est de définir un plan d'évacuation de la population en se basant sur les données précédentes et en procédant à une résolution en cascade.

Dans un premier temps, la localisation des points de rassemblement (points de départ) et des centres de secours est déterminée par l'équipe allemande de l'Université de Kaiserslautern dont c'est le domaine de compétence.

Par la suite, l'affectation de chaque personne à un centre de secours ainsi que sa date d'évacuation sont déterminées. Pour cela on a modélisé ce problème en un problème d'ordonnancement à machines parallèles cumulatives (centres de secours) où la durée des tâches d'évacuation dépend de la date de début de l'évacuation à savoir l'état actuel du réseau de transport au moment de la décision d'évacuation. Deux modélisations de ce problème ont été proposées. Dans la première, on suppose que le travail associé à un point de rassemblement est décomposé en tâches élémentaires. Le nombre des tâches est égal au nombre de personnes regroupées dans ce point de rassemblement en prenant pour unité la capacité d'un bus. Dans la deuxième, on raisonne par travail et on autorise le découpage des travaux.

Le but est de minimiser la date de fin de l'évacuation et le risque encouru durant cette évacuation.

Une fois les deux premiers problèmes résolus et que l'on dispose aussi bien du positionnement des points de

rassemblement, des centres de secours, de l'affectation de chaque personne à un centre de secours ainsi que sa date de début d'évacuation, nous procédons au calcul des meilleurs chemins de compromis durée/insécurité en prenant en compte la notion de scénarios suivant le niveau de la catastrophe et son impact sur les infrastructures routières devant être utilisées pour l'évacuation.

2.5 Validation par la simulation

Dans ce projet, le simulateur va 'jouer' des exercices d'évacuation en utilisant une approche multi-agents et multi-modèles. Il pourra intégrer à la fois une simulation de la foule et une simulation de trafic routier multimodal (transports publics, automobile, piétons). L'intégration dans la simulation de modèles psychologiques (au niveau foule ou personne) ainsi que d'aléas (obstruction de la route, embouteillages, dysfonctionnement de feu de circulation, ...) permettra de prendre en compte le caractère non déterministe du problème d'évacuation. Dans la simulation, chaque personne peut être considérée comme un agent à qui nous offrons un plan d'évacuation, mais qui peut ne pas être suivi. Pour faire face à la grande échelle du processus d'évacuation, une décomposition en plusieurs niveaux du trafic sera considérée. Nous allons également introduire des comportements non optimaux pour les évacués en modélisant des prises de décisions ou des actions influencées par le stress. L'évaluation des scénarios de simulation incorporant les risques et les modèles psychologiques contribuera à améliorer la robustesse des scénarios produits par le système de support de décision puisqu'il permettra d'identifier les points faibles et les points forts des solutions optimales produites.

3. Consortium Franco-Allemand

Le projet DSS_Evac_Logistique est basé sur une collaboration Franco-Allemande. En effet, tout comme la France, l'Allemagne a déjà été confrontée à des problématiques d'évacuation d'agglomérations comprenant plusieurs centaines de milliers d'habitants.

Ce consortium Franco-Allemand, de par la multidisciplinarité de ses acteurs et leurs expériences sur les problèmes d'évacuations et de localisation, apporte une réelle valeur ajoutée au projet.

En effet, l'équipe « Optimization Research Group » du département de Mathématiques de l'université de Kaiserslautern, est spécialisée dans la résolution des problèmes de localisation, et travaille depuis plusieurs années sur des problématiques d'évacuation au travers du projet REPKA. Le projet DSS_Evac_Logistique s'inscrit naturellement dans la continuité du projet REPKA qui a pour objectif l'évacuation de bâtiments. En effet, dans ce cas, les décisions à prendre sont plus limitées et les problèmes à résoudre sont de bien plus petite taille que pour le projet DSS_Evac_Logistique.

De plus, l'expertise de l'équipe « Optimization Research Group » dans la conception d'outils d'aide à la décision

multicritère est reconnue internationalement et apporte donc au projet des bases solides pour la solution finale.

Le cas d'étude est basé sur le crash d'un avion dans la ville de Kaiserslautern, avec création d'un nuage de gaz toxique nécessitant l'évacuation de la population des zones de danger. Si les impacts sur l'environnement et les critères d'optimisation des plans d'évacuations sont différents entre les deux cas d'études, le projet se veut de proposer une solution générique au problème de l'évacuation des villes touchées quelle qu'en soit la raison.

Références

- [1] Houssein ALAEDDINE, *Evaluation spatio-temporelle de l'évolution de l'accessibilité d'enjeux majeurs localisés face aux inondations*, Thèse de doctorat, 2011-2013, UMR CITERES IPA-PE.
- [2] Gaëtan PALKA, *Cartographie du risque d'inondation*, UMR CITERES, IPA-PE.
- [3] Olivia BELLANGER, Élise DESTAME, Vanessa ELANA, Adrien HOUEIX, Charlotte THERY, *Plan d'évacuation et de soutien de la population de Nice en cas de séisme et de tsunami*, stage collectif, Université François-Rabelais EPU'DA4, sous la direction de Y. FERRAND (DAPRU-Nice) et K. SERRHINI (CITERES), mai - juillet 2012.
- [4] Mouroux P., Le Brun B., Depinois S., Bertrand E., Masure P., *Projet européen RISK-UE : application à la ville de Nice*, Rapport BRGM/RP-53202-FR, 2004.
- [5] Horst Hamacher and Stevanus Tjandra, *Mathematical modeling of evacuation problem*, Berichte des Fraunhofer ITWN, 2001.
- [6] S Opananon and E Miller-Hooks, *The Safest Escape problem*, Journal of the Operational Research Society, 2009.
- [7] S Bretschneider and A Kimms, *The orienteering problem (A survey)*, Transportation research – Elsevier, 2011.
- [8] S. Gawiejnowicz, *Time-dependent scheduling*, Springer, 2008.
- [9] H.W. Hamacher and S.A Tjandra, *Mathematical modeling of evacuation problems: State of the art. Pedestrian and Evacuation Dynamics*, European Journal of Operational Research 227-266, 2001.