



HAL
open science

Simulations et détection des espaces à enjeux dans un système urbain en situation d'inondation

Christine Voiron-Canicio, Florence Olivier

► **To cite this version:**

Christine Voiron-Canicio, Florence Olivier. Simulations et détection des espaces à enjeux dans un système urbain en situation d'inondation. SAGEO 2005, Jun 2005, Avignon, France. halshs-02133218

HAL Id: halshs-02133218

<https://shs.hal.science/halshs-02133218>

Submitted on 17 May 2019

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

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

Simulations et détection des espaces à enjeux dans un système urbain en situation d'inondation

Christine Voiron-Canicio, Florence Olivier

ESPACE-Nice
UMR 6012 CNRS/Université de Nice Sophia – Antipolis
98 Boulevard E. Herriot
BP 3209 06204 Nice Cedex
voiron@unice.fr

RÉSUMÉ. La démarche proposée repose sur l'utilisation d'un système d'information géographique à des fins prospectives. Les simulations sont destinées à anticiper une situation de crise correspondant à une phase d'alerte ou bien à une inondation avérée, dans une aire urbaine où tout risque est aggravé par la congestion des voies liée aux reports de trafic. Elles ont pour objet de détecter les zones de forte vulnérabilité difficilement atteintes par les secours. L'attention s'est focalisée sur l'accessibilité aux secours des établissements renfermant des populations dépendantes. Cette démarche est d'un grand intérêt pour l'élaboration des plans de gestion des risques urbains.

ABSTRACT. The chosen approach lies in the use of a GIS for geo-prospective purposes. The simulations are intended to anticipate a crisis situation in urban areas, corresponding to a flood warning phase or to an actual phase, which is worsened by the risk of the arteries being congested. The objective is to detect zones of high vulnerability that are difficult for the emergency services to reach. Attention was focused on accessibility to the rescue services of the institutions containing people in care. This approach is very usefull for urban risk prevention and a powerfull tool for assisting in decision-taking.

MOTS-CLEFS : SIG – risque d'inondation - paralysie urbaine – géopropective – espace à enjeux

KEYWORDS : SIG – floodinf risk - urban paralysis – geo-prospective - vulnerable area - strategic area

Introduction

La maîtrise des flux de circulation sur la voirie intra-urbaine est l'un des points cruciaux en gestion de crise. Une fluidité du trafic minimale est en effet indispensable à l'acheminement des secours comme à l'évacuation des populations se trouvant dans les zones déjà touchées par la catastrophe ou risquant de l'être. Or, en situation d'alerte ou de catastrophe, les reports de trafic liés aux fermetures de voies, cumulés à la congestion urbaine habituelle, produisent une paralysie de la circulation intra-urbaine qui accroît considérablement la vulnérabilité des populations des zones touchées mais également des zones avoisinantes. Il convient, dans ce contexte, d'anticiper les conséquences de la congestion des artères, de hiérarchiser les enjeux et de repérer les espaces à enjeux. Ces derniers ne se limitent pas au périmètre touché par l'événement catastrophique où se trouvent des populations dépendantes, des biens et des services stratégiques, mais englobent les espaces situés dans un périmètre plus large qui, du fait des modifications de la circulation, ne sont plus correctement accessibles au secours. Le cas des quartiers Est de Nice soumis aux inondations récurrentes du fleuve Paillon est pris en exemple. Une démarche d'analyse spatiale et des simulations sous environnement SIG sont utilisées pour mesurer l'incidence de la congestion des axes de circulation sur la vulnérabilité urbaine, pour repérer les variations d'accessibilité des quartiers et détecter les espaces à enjeux.

1. Enjeux et espaces à enjeux

Trois priorités déterminent l'action des forces de secours et de sécurité en phase d'alerte ou de catastrophe : assurer la sécurité des personnes, soit par l'évacuation soit par le confinement ; veiller au bon fonctionnement des services indispensables à la gestion de crise, tels que l'approvisionnement électrique et les télécommunications ; préserver de la thrombose les axes stratégiques de circulation, tels ceux qui conduisent vers les établissements hospitaliers ou qui partent des casernes de pompiers. Ces priorités sont dénommées « enjeux » dans les plans de prévention des risques. Or, les enjeux ont également une dimension systémique, qui n'est habituellement pas appréhendée. La vulnérabilité urbaine face au risque d'inondation possède des caractères spécifiques qui tiennent aux particularités des villes et à leur fonctionnement – morphologie de la voirie et sens de circulation, intensité variable du trafic, multiplicité des lieux de centralité – Cette vulnérabilité dépend aussi des multiples interactions spatiales existant dans le champ d'inondation et autour de lui, qui sont identifiables en temps normal mais qui peuvent se modifier grandement en temps de catastrophe. Notre conception de la vulnérabilité urbaine, systémique et spatiale, nous conduit à déterminer deux types d'espace, les espaces à enjeux statiques et les espaces à enjeux dynamiques.

Les premiers sont des lieux qui se singularisent par une vulnérabilité élevée, soit, parce qu'ils concentrent des populations dépendantes, soit, parce qu'ils tiennent un rôle majeur dans la gestion des crises. Ces espaces se subdivisent en trois sous-groupes.

L'un est représenté par les crèches, les écoles, les hôpitaux et les maisons de retraite qui regroupent des catégories de populations dont la mobilité et l'autonomie sont réduites et qui, de ce fait, sont incapables de se protéger ou de se conformer aux règles de sécurité (malades et blessés, personnes âgées et enfants).

Les postes de secours et de police, les casernes de pompiers, les gendarmeries ainsi que les centraux électriques représentent un deuxième sous-groupe d'enjeux, de par leur rôle dans les situations de crise.

Enfin, les lieux de concentration temporaire de population, tels que les établissements d'enseignement, les centres commerciaux, les centres culturels ou sportifs, constituent un troisième sous-type. Ces espaces ne renferment pas forcément des populations dépendantes mais des masses de population qui peuvent être difficiles à contrôler en temps de crise.

A côté de ces sites à enjeux statiques, aisément repérables, existent des espaces que nous dénomons à enjeux dynamiques, plus difficiles à discerner car ils n'apparaissent comme tels que dans des circonstances particulières. Leur émergence est liée, par exemple, au dysfonctionnement des relations intra-urbaines dans un contexte d'inondation. Ainsi, lors du débordement du Paillon, certaines zones des quartiers Est de Nice, situées dans le champ d'inondation mais également hors du périmètre inondable, vont se trouver difficilement accessibles en raison des fermetures de voies et de l'encombrement des axes vers lesquels s'effectue la dérivation du flot de circulation. Cette mauvaise accessibilité a une double conséquence. D'une part, elle entrave l'acheminement des secours et l'évacuation des populations de la zone de catastrophe, d'autre part, elle accroît la vulnérabilité des populations qui ne se trouvent plus correctement reliées aux dispositifs habituels d'assistance médicale d'urgence.

Les analyses des incidences de la congestion des voies de communication sur la vulnérabilité des populations urbaines en temps de catastrophe ne sont pas fréquentes, alors que les conséquences peuvent être dramatiques pour les populations concernées. Les impacts des inondations sur les réseaux de communication ainsi que les modifications d'accessibilité sont généralement étudiés à l'échelle régionale et très rarement au niveau intra-urbain. Par ailleurs, les espaces-enjeux, quand ils sont analysés, sont considérés comme des lieux concentrant un certain nombre d'enjeux humains, économiques et stratégiques. Ils sont repérés et cartographiés afin d'établir des priorités en matière de prévention des risques. Notre démarche prend également en compte ce type d'espace mais introduit dans la spatialisation des enjeux, les dimensions dynamique et systémique. La finalité des simulations est de déceler les zones à enjeux non immédiatement prévisibles, générées par les réactions du système urbain dans un contexte d'inondation et qui

peuvent se trouver relativement éloignées du champ inondé. La démarche est présentée à partir d'une application portant sur Nice, destinée à mesurer les effets induits d'une inondation du Paillon sur l'accessibilité des quartiers. Elle se décompose en deux grandes étapes. La première établit un diagnostic de la vulnérabilité des populations soumises au risque d'inondation du Paillon, d'une part, et de la voirie soumise au risque de congestion, d'autre part. La seconde étape consiste en une série de simulations ayant pour objet de révéler les espaces dont l'accessibilité diminue en situation d'inondation avérée comme en phase d'alerte, et de mesurer les conséquences de cette perte d'accessibilité pour les lieux regroupant des personnes dépendantes, comme les maisons de retraite.

2. Les populations et la voirie en contexte de risque d'inondation

2.1 Le risque inondation

Le Paillon est un fleuve côtier qui draine un bassin versant de 250 km². Au cours des dernières décennies le fleuve a débordé à de multiples reprises. D'un mince filet d'eau, le Paillon peut enfler à 700 m³/s comme il le fit en 1882, 1940, 1957 (crue centennale). Or, la basse plaine alluviale est aujourd'hui totalement urbanisée, le fleuve traverse l'Est de la ville de Nice avant de se jeter dans la mer. Sur les deux derniers kilomètres, le Paillon est entièrement recouvert. La couverture tend à progresser vers l'amont pour recevoir de nouvelles infrastructures, comme le lycée Guillaume Apollinaire, construit dans les années 90. Par ailleurs, la vallée du Paillon n'est pas seulement une voie de circulation intra-urbaine, elle est surtout le seul axe de circulation desservant les Préalpes de Nice. Chaque jour, un flux important de navetteurs l'emprunte pour se rendre dans la zone littorale. La circulation moyenne dépasse 60000 véhicules/jour. Devant l'augmentation constante du trafic routier entre Nice et son arrière-pays, de nouvelles voies de circulation ont été réalisées depuis une vingtaine d'années, dans le lit du Paillon – tunnel souterrain et pénétrante – et de nouveaux aménagements sont en cours à l'amont.

2.2 Configuration de la voirie, flux de circulation et risque de congestion

La voirie est considérée sous l'angle du risque d'engorgement en phase d'alerte ou d'inondation avérée. Celui-ci dépend du trafic de véhicules mais également de la configuration de la voirie. La morphologie de la trame viaire conditionne la fluidité du trafic en temps normal et plus encore en temps de catastrophe. Les contraintes qu'elle impose à la circulation des véhicules accroissent fortement la vulnérabilité de certains axes. Ainsi, lorsqu'une artère n'a de débouchés possibles qu'à ses extrémités – cas d'une voie sur berge ou d'une artère en fond de vallée, limitée d'un côté par le fleuve, de l'autre par un relief – l'absence d'échappatoire latérale peut,

lors d'une inondation, compromettre l'évacuation des véhicules piégés sur la voie. La présence ou non d'échappatoire au champ inondé est un critère majeur dans l'évaluation du risque d'engorgement et, indirectement, de la dangerosité d'un axe. La configuration de la voirie est donc caractérisée par trois critères : le sens de la circulation donné par le plan de circulation, sens unique ou double sens ; la localisation ou non de la voie dans le champ d'inondation ou sa convergence vers lui ; et dans le cas d'une voie en zone inondable, l'existence ou non d'une échappatoire au secteur inondé. A chacun de ces critères est attribué un poids d'autant plus élevé que sa contribution au risque d'engorgement est grande (tableau 1). Les types de voie à fort risque, types E et F, sont ceux où la localisation de la voie dans le champ inondable se double de l'absence d'échappatoire latérale.

Type de voie	voie à double sens	vers le champ inondable	présence d'une échappatoire	total des pondérations	Risque d'engorgement
Type A	oui 1	non 1	–	2	faible
Type B	non 2	non 1	–	3	faible
Type C	oui 1	oui 3	oui 1	5	moyen
Type D	non 2	oui 3	oui 1	6	moyen
Type E	oui 1	oui 3	non 3	7	fort
Type F	non 2	oui 3	non 3	8	fort

Tableau 1. *Evaluation du risque d'engorgement de la voirie*

Les flux de véhicules sont considérés aux heures de pointe. La figure 1 met en évidence l'importance du trafic à travers le champ inondable et plus particulièrement sur les rives du Paillon et dans son lit où a été construit une pénétrante. Deux carrefours majeurs sont à remarquer ; il s'agit de deux plaques tournantes capitales pour les liaisons intra-urbaines niçoises.

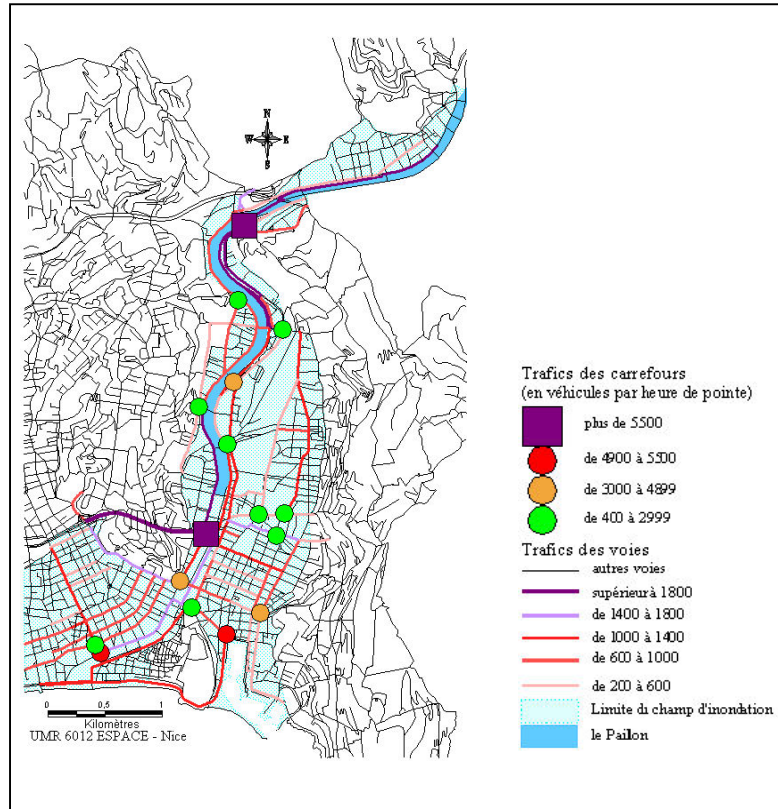


Figure 1. Les flux de circulation dans le champ inondable du Paillon

2.3 Densités de population et vulnérabilité

Les populations qui vivent dans les quartiers de l'Est de Nice ou les fréquentent sont plus ou moins nombreuses selon le jour de la semaine et le moment de la journée. Deux contextes temporels ont été retenus, la période nocturne et la tranche journalière 8h. – 20h. La population résidente d'un îlot a été estimée en prenant pour base le nombre d'habitants donné par le RGP de 1999 et en ajoutant les effectifs de la prison de Nice ainsi que deux estimations de population, celle des établissements hospitaliers, à partir du nombre de lits disponibles, et celle des hôtels, calculée sur la base d'une occupation de 50% des lits de chaque établissement. La population diurne présente à tout moment dans un îlot ne peut qu'être estimée. 65% des effectifs portés dans le RGP ont été retenus, puis ont été ajoutés les occupants de la prison et des établissements hospitaliers, les effectifs de tous les établissements scolaires, des maternelles à l'Université, enfin, une évaluation du nombre de personnes présentes en moyenne aux heures ouvrables dans les lieux publics

majeurs – centres commerciaux, bibliothèques, musée, salles de congrès – et une estimation du nombre de piétons par mètre de trottoir dans les artères les plus passantes. La figure 2 met en évidence des densités élevées le long du Paillon. Des îlots de fortes densités se détachent en rive droite, dans les quartiers de l’Ariane et de Pasteur, en rive gauche, dans le quartier de Saint-Roch. Les densités de population diurnes sont plus ramassées. Les îlots de forte densité sont dans le centre ville ainsi que sur la portion couverte du Paillon où se situent des établissements publics de grande dimension.

Au regard des valeurs de densités, les quartiers Est soumis au risque d’inondation se caractérisent par une vulnérabilité élevée, et ce d’autant plus que cette partie de la ville est très fréquentée dans la journée et traversée en permanence par des flux importants de véhicules.

3. Des simulations pour anticiper les conséquences de la paralysie urbaine

Une phase de simulations a été menée, à l’aide du logiciel MapInfo dans le but d’évaluer les impacts, sur les quartiers Est, d’une situation de congestion de la circulation consécutive à une inondation. Les simulations ont été conduites selon une démarche descendante.

Dans un premier temps, il s’est agi de mesurer l’impact des fermetures des artères les plus exposées au risque d’inondation, voies sur les berges du fleuve, tunnel souterrain et pénétrante situés dans son lit majeur. L’incidence des reports de trafic occasionnés par la fermeture des voies, sur la fluidité de circulation intra-urbaine a été évaluée en additionnant le niveau d’engorgement potentiel de chaque artère avec le trafic estimé après les reports de flux. L’analyse aboutit à une codification de la fluidité de chaque axe en 9 classes, allant de la fluidité parfaite, code 1, à la congestion totale, code 9.

Puis, une analyse de l’accessibilité des îlots, dans le cadre d’une procédure d’évacuation ou simplement d’assistance à la population, en situation de trafic normal et en situation de congestion urbaine, a été menée. L’attention s’est focalisée sur l’accessibilité aux secours des établissements renfermant des personnes dépendantes. Le calcul du temps de trajet nécessaire à un véhicule de pompiers pour se rendre de sa caserne aux lieux à secourir a été effectué en prenant en compte les caractéristiques de la voirie et les flux de circulation.

Pour ce faire, deux types d’outils « add-on » implémentés dans le système d’information géographique MapInfo ont été utilisés, d’une part, ChronoMap et ChronoVia® et d’autre part, TourSolver®, de la société Magellan Ingenierie. Les deux premiers déterminent le temps d’accès à un lieu. Pour des raisons de capacités

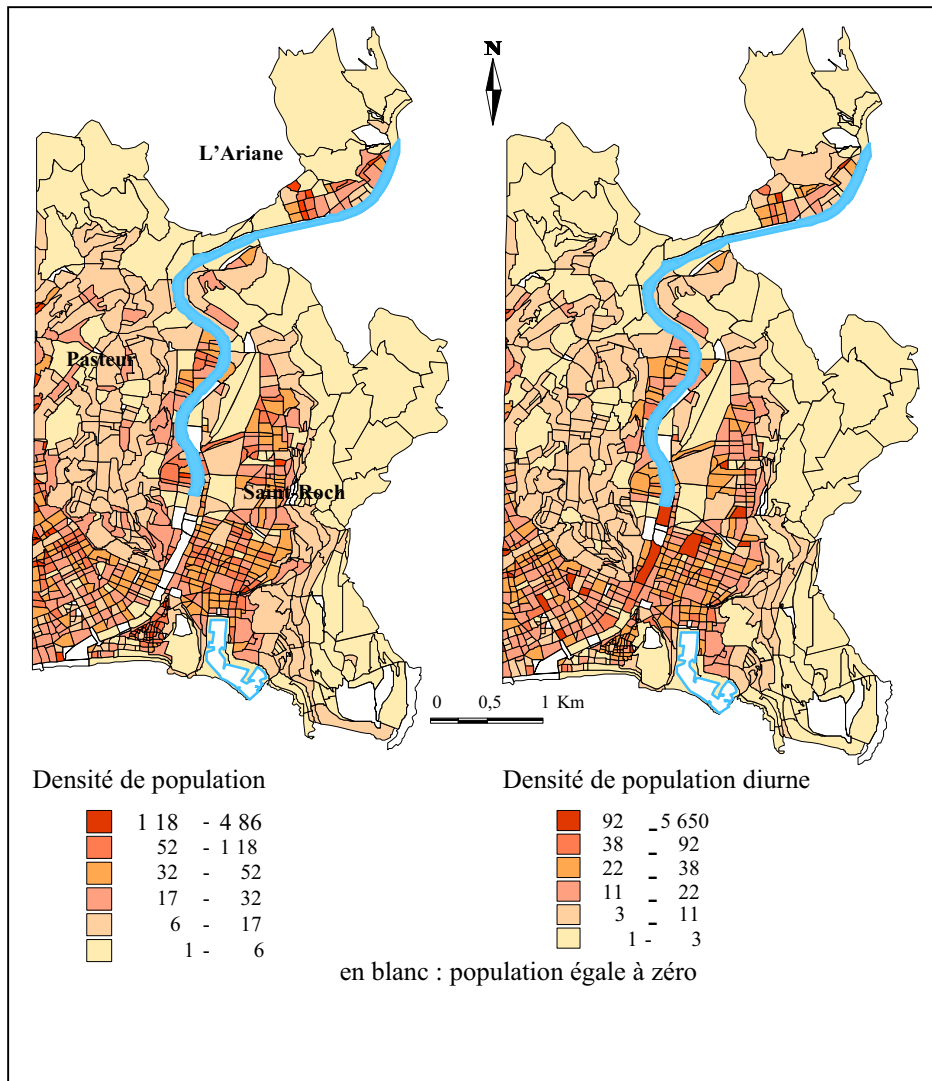


Figure 2. Densités de population des îlots dans les quartiers Est de Nice

techniques et de visualisation supérieures, TourSolver a été privilégié. Cet applicatif intègre des statistiques routières permettant de tenir compte d'un trafic prévisionnel dans les calculs d'itinéraires. TourSolver fonctionne à partir d'un modèle mathématique permettant d'associer à chaque tronçon d'une base cartographique routière une vitesse de circulation en fonction de l'heure de la journée. Ces vitesses

sont des vitesses relevées sur le terrain et divisées en deux catégories : véhicules légers et poids lourds. L'applicatif permet ainsi la gestion des zones à éviter.

Pour déterminer les impacts d'une inondation du Paillon sur les accessibilités, il est nécessaire de définir préalablement dans ChronoMap les paramètres de la circulation dans ce contexte. Un calibrage adapté à la situation de crise pressentie est effectué. Les paramètres sur lesquels il est possible d'intervenir sont les suivants :

- La saisie du code de fluidité de chaque tronçon de route (codage de 1 à 9). A chaque code fluidité est attribuée une valeur de vitesse (km/h), de temps mort (secondes) et de sinuosité (%).
- Des options plus spécifiques, tels que le non respect des sens interdits ou le non respect des non-communications entre les axes s'intersectant d'un point de vue graphique et géométrique mais pas en terme de circulation effective (séparation par un talus, un terre plein, etc.).
- Des pénalisations aux heures de pointes correspondant aux reports de trafic sur certains axes et à l'engorgement qu'ils accentuent. Ces pénalisations correspondent à des réductions de vitesse (exprimées en pourcentage) et à une augmentation des temps morts (également exprimés en pourcentage). Ainsi, lorsqu'un axe est borné par des séparateurs de voies infranchissables (tel qu'un couloir de bus en site propre), les véhicules ne peuvent accéder à ce couloir que par les extrémités. Il en résulte une augmentation des temps morts, alors qu'à contrario, la vitesse de circulation dans ce couloir est supérieure à celle des voies environnantes.
- Les caractéristiques physiques des véhicules d'intervention qui peuvent être calibrées en fonction de la longueur, de la largeur, de la hauteur et du poids des véhicules. Dans la présente étude, notre intérêt s'est porté sur l'évacuation de personnes à mobilité réduite. Le calibre des véhicules n'est donc pas un vrai critère discriminant. Toutefois, les véhicules d'interventions lourds n'ont pas accès à toutes les voies urbaines et sont généralement contraints d'emprunter les axes principaux de la trame viaire.

4. Variabilité des accessibilités et détection des espaces à enjeux

Dans les exemples présentés, l'accessibilité est mesurée à partir des sites à enjeux que sont les maisons de retraites, tandis que les itinéraires sont mesurés depuis les centres de secours. Le périmètre accessible à partir de chaque maison de retraite située dans le champ inondable a été calculé en choisissant une distance-temps. La distance de 7 minutes qui a été choisie correspond à la distance-temps prise en compte par les compagnies d'assurance. En effet, c'est le délai au delà duquel les secours en situation de crise ne sont plus considérés comme opérationnels. Pour les assureurs, si le bien ou la personne n'est pas accessible en deçà de ce temps, l'assuré présente un risque qu'on lui fait supporter en lui imposant

une prime supplémentaire. Le logiciel effectue les calculs des iso-accessibilités en parcourant, à partir de chaque maison de retraite, et sur tous les axes connexes, la distance-temps de 7 minutes. La plage de couleur est obtenue en extrapolant les valeurs pour les zones interstitielles. Les calculs mettent en évidence une large zone d'accessibilité de 7 minutes en situation de circulation normale (Figure 3).

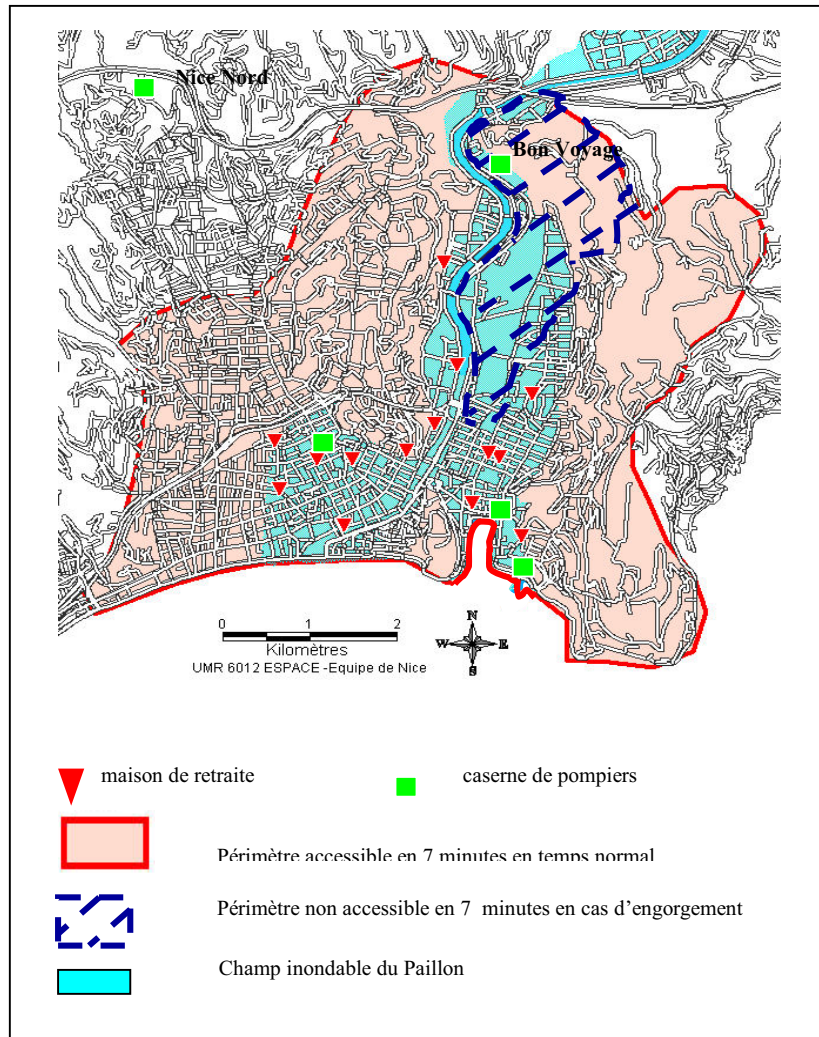


Figure 3. *Accessibilités en temps normal et en situation d'engorgement*

En situation d'inondation ou d'alerte, l'accessibilité reste inchangée en rive droite, mais se dégrade en rive gauche, pour la majeure partie des îlots. Il apparaît ainsi qu'en cas de paralysie de la circulation, les pompiers des casernes de Nice Nord et de Bon Voyage ne peuvent se rendre sur les sites les plus proches en moins de 30 minutes. Les secours seraient alors privés de 64 personnes dont 60 sur la caserne de Bon Voyage qui est pourtant la seule, dans le périmètre, à disposer de tous les équipements pour intervenir en situation de crise, notamment plusieurs types de berces, structures transportables et rapidement mobilisables destinées à la prise en charge immédiate de victimes avant l'arrivée des structures lourdes. Deux maisons de retraite, Maria Helena et Les Petites Sœurs des Pauvres (Figure 5) avec respectivement 46 et 105 lits sont exposées directement au risque d'inondation. Or, en situation de crise, ce sont elles qui seront le plus difficilement accessibles aux secours issus des casernes de pompiers

Cependant, les populations âgées ne sont pas les seules personnes vulnérables dans ce contexte d'inondation et de congestion urbaine réunies. En croisant la carte des densités de population diurnes des îlots et la carte d'accessibilité en temps de crise, trois grands types d'espaces peuvent être retenus (Figure 4), les zones inaccessibles, les zones d'accessibilité moyenne et les zones accessibles. Les zones inaccessibles aux secours des pompiers - en moins de 7 minutes - occupent des surfaces importantes, et si une partie n'est occupée que par une gare de triage et des entrepôts, d'autres sont des îlots d'habitat collectif, densément peuplés et animés dans la journée.

L'intérêt de cette requête est de déceler des espaces à enjeux insoupçonnés jusqu'alors, car relativement éloignés du fleuve, voire situés aux abords du champ inondable. Ces espaces sont rendus vulnérables par le dysfonctionnement du système de communication intra-urbain. En effet, la congestion des artères entrave non seulement l'évacuation des personnes dépendantes, directement exposées au risque, mais également l'acheminement de l'assistance médicale d'urgence à laquelle tout individu est susceptible de recourir, quel que soit le moment.

Enfin, une dernière série de simulations est destinée à détecter le trajet en temps optimal pour que les secours atteignent les maisons de retraite. Deux exemples sont proposés. Le premier, simule le trajet à suivre depuis la caserne de Nice Nord en direction de la Maison de retraite Maria Helena (Figure 5). En situation normale, il faudrait 9 minutes à l'équipe d'intervention pour couvrir les 8 kilomètres qui la séparent de l'établissement. L'itinéraire conseillé emprunterait l'autoroute A8 pour rejoindre la rive droite du Paillon. En situation de crise et de fermeture des axes longeant le Paillon, la configuration change complètement. Désormais, l'équipe d'intervention mettrait 15 minutes pour procéder à la même évacuation. Cette fois, les secours se verraient contraints d'emprunter les collines de Cimiez pour accéder au site.

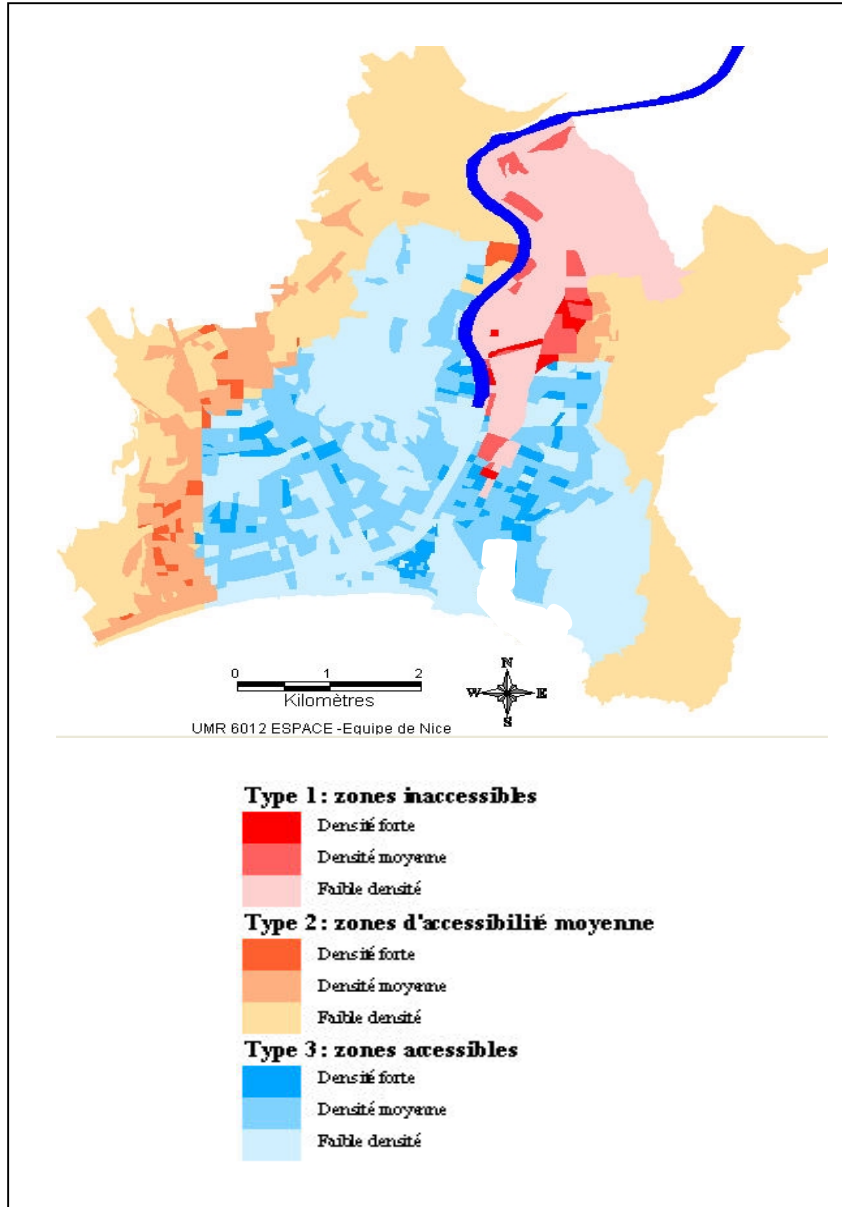


Figure 4. Typologie des îlots en fonction de leur accessibilité en situation de catastrophe et de leur densité de population diurne

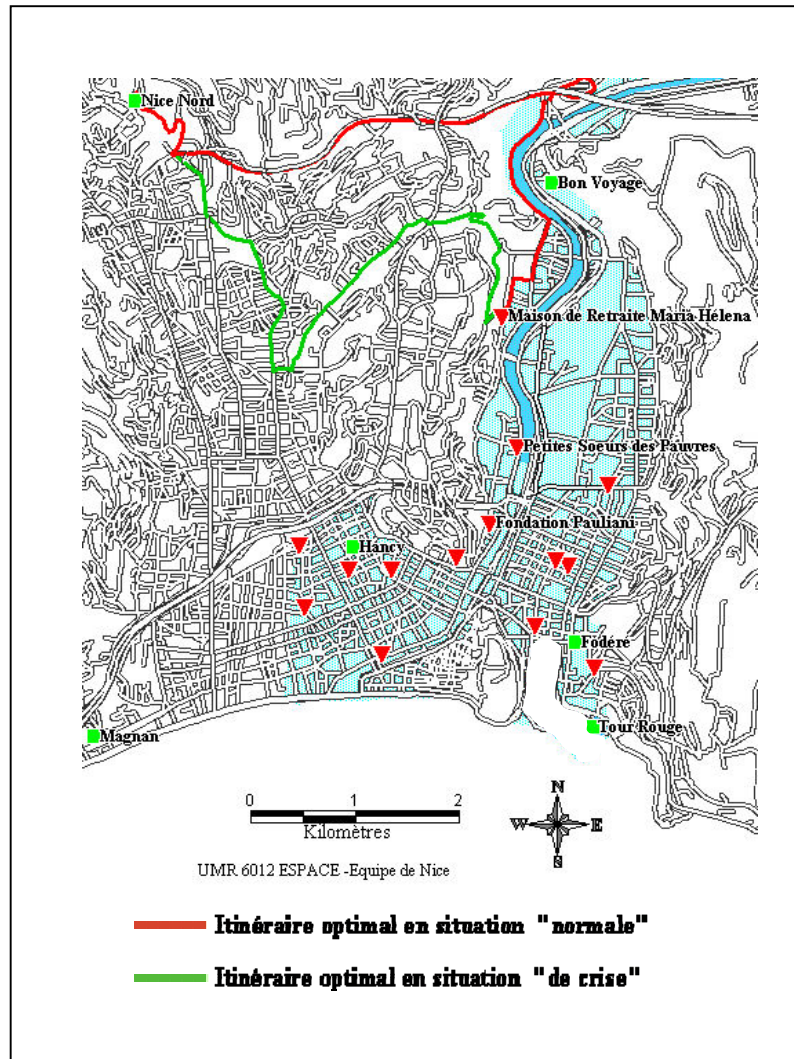


Figure 5. *Chemin optimal de la caserne de Nice Nord en direction de la maison de retraite Maria Helena*

Le second exemple, présente le chemin optimal de la caserne de Bon Voyage à la Maison de retraite CCAS Fornero Ménei. En situation normale, les véhicules d'intervention de la caserne de Bon Voyage accèderaient au lieu en 4 minutes. En situation d'inondation et d'engorgement lié à la fermeture des voies sur berge, l'itinéraire est plus complexe et quatre fois plus long, car la caserne de pompiers et

la maison de retraite se trouvent toutes les deux dans le périmètre des voies fermées. Il faudrait dès lors 16 minutes, au mieux, aux véhicules de secours pour se rendre sur le site après un long détour par les collines Est de Nice (Figure 6)

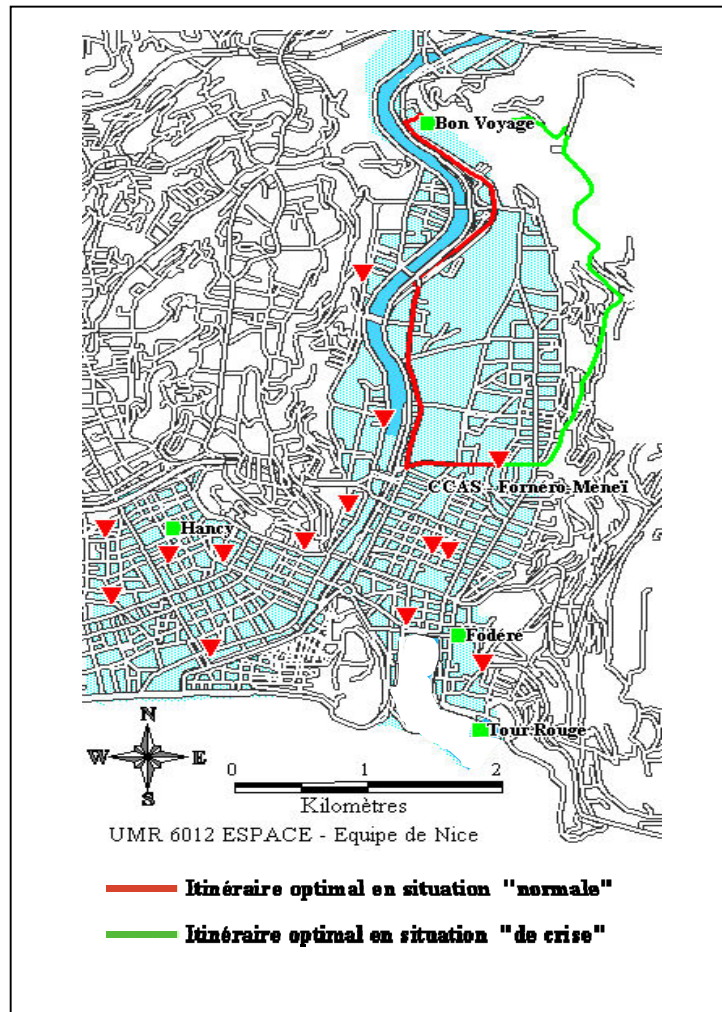


Figure 6. *Chemin optimal de la caserne de pompiers de Bon Voyage vers la maison de retraite Fornero Ménei*

Conclusion

Le risque d'inondation en milieu urbain méditerranéen s'avère complexe à gérer, par la rapidité de la montée des eaux qui réduit les délais de réaction en phase d'alerte et par la congestion des voies de circulation générée à la fois par l'aléa et par les mesures de prévention. Or, dans ce contexte, les systèmes d'information géographiques, aujourd'hui largement répandus dans les collectivités locales, peuvent être de précieux outils d'aide à la décision. Il est possible de simuler une situation de crise, telle qu'une inondation, mesurer les impacts de cette situation sur le fonctionnement du système urbain et en particulier sur la circulation des véhicules, afin de repérer les zones de forte vulnérabilité difficilement atteintes par les secours. Ces simulations ont des retombées opérationnelles indéniables pour les collectivités locales. Elles permettent, ainsi, de repérer des espaces à enjeux insoupçonnés et d'agir préventivement sur les éléments qui les rendent vulnérables. Elles peuvent aider à élaborer les différents plans communaux de gestion des risques. Et, lorsque ces plans sont réalisés, elles offrent un moyen simple et efficace de les tester et d'y apporter les corrections qui s'imposent. La démarche présentée est transposable à d'autres types de risques naturels ainsi qu'aux risques liés au transport de matière dangereuse en milieu urbain. Elle fait également l'objet d'un développement dans le domaine du risque sanitaire, dans le cadre d'une collaboration pluridisciplinaire engagée avec le CHU de Nice et le SAMU-SMUR de l'hôpital Saint-Roch de Nice.

Bibliographie

Blaikie P., Cannon T, Davis L., Wisner B., *At risk : natural hazards, peoples's vulnerability and disasters*, London, Routledge, 1994.

Blancher Ph., « Risque et densité », *Les Annales de la Recherche Urbaine*, n°67 1995, p. 109-116.

Combe P-M., « Economie des inondations : vers la maîtrise négociée du risque », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* n°5 1999, p. 961-998.

D'Ercole R., Metzger N., Arboleda B., « Espaces-enjeux, espaces vulnérables. Le cas de Quito-Equateur » *Systèmes d'information géographique et gestion des risques*, Paris, ISTED, 2005, p.16-19.

Domergue R., Voiron-Canicio Ch., Mallea P., Olivier F., Staccini P. « Spatialisation, simulations et anticipation du risque sanitaire », *Colloque International Urgences 2005, Congrès National de SAMU de France*, Paris, 2005.

Fleury C., Villion G., « Alphée, outil d'aide à la décision en matière de lutte contre les incendies » *Systèmes d'information géographique et gestion des risques*, Paris, ISTED, 2005, p.43-47.

Guigo M., Voiron-Canicio Ch., Olivier F., Graillot D., *Système d'aide à la décision pour la limitation des risques d'inondation dans les agglomérations urbaines méditerranéennes*, Programme RIO, GIP Hydrosystèmes, 2001.

Lions P., Mallet P., « Un SIG pour la gestion globale des risques majeurs de l'estuaire de la Seine », *Systèmes d'information géographique et gestion des risques*, Paris, ISTED, 2005, p.76-80.

Mathis P. et alii, « Conséquences des crues fortes de la Loire sur le fonctionnement des réseaux de transport », Programme RIO, GIP Hydrosystèmes, 2001.

Saint-Seine J., *Monographie hydrologique et hydraulique du Paillon de Nice en vue de la gestion du risque inondation*, thèse de doctorat, Université Scientifiques et Médicales de Grenoble, 1997.

Voiron-Canicio Ch., Olivier F., « Vulnérabilité de la voirie urbaine face au risque de thrombose en temps de catastrophe », *Géoévénement 2003*.

Voiron-Canicio Ch., Olivier F., « Anticiper, à l'aide d'un SIG, les conséquences de la paralysie urbaine en temps de catastrophe : application à la ville de Nice », *Systèmes d'information géographique et gestion des risques*, Paris, ISTED, 2005, p. 55-58.