

---

# Enjeux, mobilité, accessibilité et risques

## L'exemple du District Métropolitain de Quito (Equateur)

**Florent Demoraes\*\*\* — Robert D'Ercole\*\* — Pascale Metzger\*\* —  
Marc Souris\*\*\***

\* Université de Savoie – Laboratoire EDYTEM - UMR 5204 – Campus scientifique –  
73 376 – Le Bourget du Lac cedex - France  
Florent.Demoraes@univ-savoie.fr

\*\* Institut de Recherche pour le Développement - UR 029 « Environnement Urbain » -  
32, avenue Henri Varagnat - 93 140 Bondy - France  
dercole@ecnet.ec - pascale.metzger@la-reunion.ird.fr

\*\*\* Institut de Recherche pour le Développement - UR 178 « Conditions et territoires  
d'émergence des maladies » - 29 Sathorn Tai Road - 10 120 Bangkok – Thaïlande  
souris@ird.fr

---

*RÉSUMÉ.* Ce texte présente les principaux résultats d'une recherche sur les risques encourus par le District Métropolitain de Quito menée selon une démarche qui privilégie les questions de mobilité des personnes et d'accessibilité des espaces. Cette analyse de risque ciblée sur les enjeux de la mobilité quotidienne repose sur une méthodologie mise au point dans le cadre du programme « Système d'information et risques dans le District Métropolitain de Quito » mené par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) en partenariat avec la Mairie de Quito. L'article décrit les principaux traitements SIG utilisés pour (i) l'identification des enjeux de la mobilité, (ii) l'évaluation de leur vulnérabilité, (iii) la réduction de l'accessibilité, et (iiii) les risques encourus.

*ABSTRACT.* This paper presents the main results of a research on the risks incurred by the Metropolitan District of Quito considering the people's mobility and areas accessibility issues. This analysis relies on a methodology implemented within the framework of a programme called "Information System and risks within the Metropolitan District of Quito" carried out by the French Development Research Institute (IRD) in partnership with the Municipality of Quito. The paper describes the main GIS processing used to (i) identify the critical transportation infrastructures, (ii) the assessment of their vulnerability, (iii) the reduction of urban areas accessibility, and (iiii) the risks incurred.

*MOTS-CLEFS :* mobilité quotidienne des personnes, enjeux, vulnérabilités, accessibilité, risques.

*KEYWORDS:* daily people's mobility, critical infrastructures, vulnerabilities, accessibility, risks.

---

## 1. Introduction

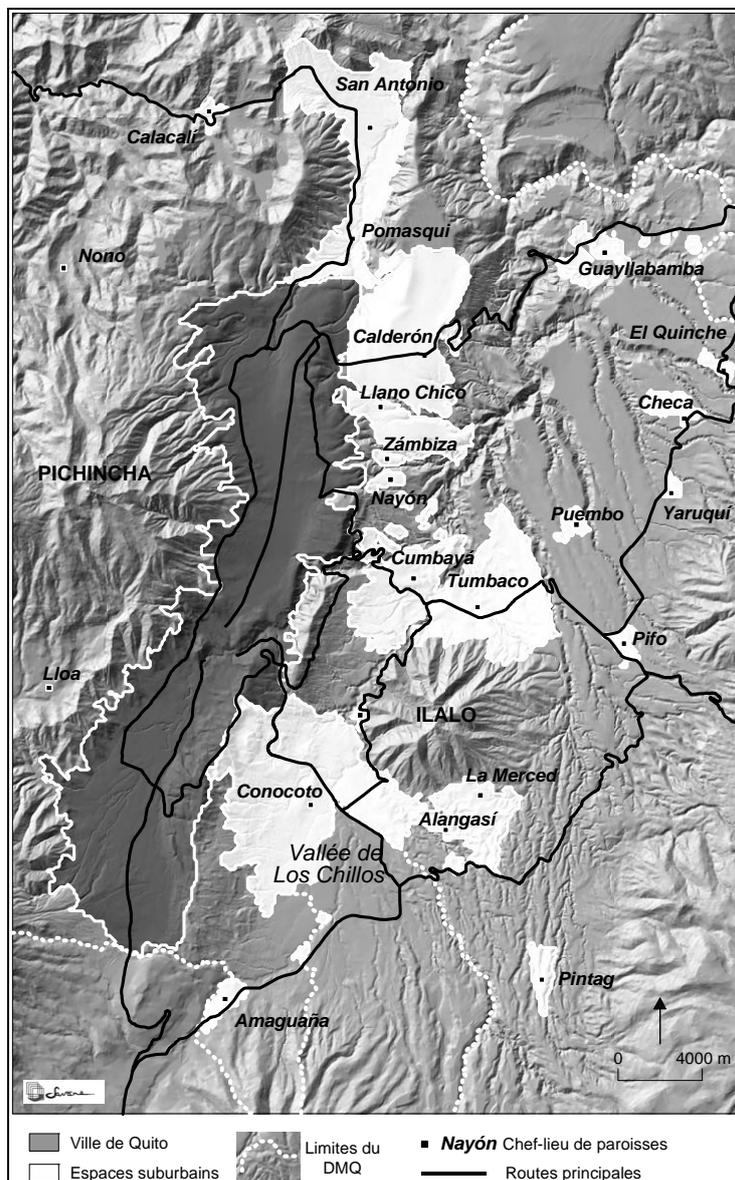
Depuis une quarantaine d'années, les pays du Sud et plus particulièrement les pays latino-américains ont connu une profonde mutation socio-territoriale qui s'exprime entre autre par une urbanisation massive. Une telle croissance urbaine, issue d'une forte croissance démographique et d'un important exode rural, s'est traduite par une consommation d'espaces sans précédent et l'occupation de zones dangereuses (marges océaniques, lits majeurs des cours d'eau, flancs des volcans...).

Un des autres faits marquants de l'histoire des sociétés survenus au cours du XXe s., est la forte augmentation de la mobilité des personnes. Les facteurs ayant contribué à cette tendance sont notamment l'extension urbaine (accroissement des distances intra-urbaines) impliquant un recours quasi-obligatoire aux moyens de transports motorisés individuels ou collectifs, et l'accentuation de l'hétérogénéité sociale et fonctionnelle du tissu urbain. Ce processus de différenciation des quartiers résulte de la construction aussi bien planifiée que spontanée des villes et des inégalités de richesses. La conséquence de cette évolution est l'accroissement des distances sociales et/ou spatiales entre les quartiers (résidentiels, industriels, commerciaux, administratifs...).

Quito, capitale de l'Equateur, est directement confrontée à ces réalités problématiques et doit faire face à de multiples risques. Juchée à 2 800 m d'altitude, dans un gradin tectonique orienté N-S en bordure du sillon interandin, la ville de Quito stricto sensu (carte 1) rassemble aujourd'hui environ 1,5 million d'habitants répartis sur 200 km<sup>2</sup> alors qu'elle ne comptait en 1868 que 45 000 habitants établis sur 4 km<sup>2</sup>. Le District Métropolitain de Quito –DMQ– (entité politico-administrative municipale englobant la ville, son agglomération et des espaces ruraux périphériques) compte pour sa part 1,8 million d'habitants sur une superficie de 4 350 km<sup>2</sup>.

En 2001, environ deux millions de déplacements sont réalisés quotidiennement dans le DMQ en transport en commun, contre 1,3 million en 1990 (Nuñez, 1997). Le transport en commun représente 80 % du total des déplacements motorisés, alors que jusque dans les années 1930, l'essentiel des déplacements était réalisé à pied. Quito recense en 2001 plus de 2 300 bus et son parc automobile a pratiquement doublé au cours des dix dernières années, atteignant en 2001 environ 200 000 véhicules tous types confondus, soit 42 % du parc national alors qu'elle ne concentre que 15 % de la population équatorienne (12 millions d'habitants).

Compte tenu du fort étalement urbain et de l'accroissement massif de la mobilité, le DMQ enregistre de nombreuses difficultés quotidiennes de circulation et de mobilité (congestion, problème d'accessibilité, problème de transport...) d'autant que la situation socio-économique et politique mouvementée et instable de l'Equateur n'a pas toujours permis à la municipalité de Quito de disposer de moyens financiers et techniques suffisants pour relever le défi.



**Carte 1.** Agglomération de Quito (repères toponymiques et relief).  
(Sources : MDMQ /IGM).

A cela s'ajoutent des problèmes occasionnels affectant les transports dus à l'occurrence d'aléas d'origine naturelle particulièrement nombreux à Quito. Certains surviennent de manière relativement localisée (inondations, coulées boueuses, glissements de terrain, affaissements des sols) et s'expliquent par les caractéristiques du site d'implantation de la ville (topographie accidentée, forte pentes<sup>1</sup>) où l'expression de la morphogénèse est ubiquiste<sup>2</sup> et souvent accentuée par l'anthropisation.

D'autres aléas sont également susceptibles d'affecter des espaces beaucoup plus vastes (éruptions volcaniques, séismes). Plusieurs explosions du volcan *Guagua Pichincha* ont eu lieu en octobre 1999 au cours desquelles des cendres se sont déposées sur la ville, heureusement en quantité réduite (évaluée à quelques millimètres). Plus récemment, en novembre 2002, l'éruption du volcan *El Reventador* (situé à 90 Km. à l'Est du DMQ) a provoqué à son tour un dépôt de cendres sur l'agglomération qui a engendré de lourdes pertes économiques et des perturbations notoires de la mobilité. De leur côté, les volcans *Cotopaxi* et *Cayambe*, (situés respectivement à 50 Km. au Sud et à 60 Km. au Nord-Est du DMQ), tous deux recouverts d'une calotte glaciaire, représentent des menaces préoccupantes car leur entrée en éruption pourrait engendrer des lahars<sup>3</sup> extrêmement dangereux. De plus, Quito se trouve dans une zone sismique très active. De nombreuses secousses ont affecté la capitale équatorienne au cours des derniers siècles occasionnant de sérieux dégâts (1587, 1755, 1797, 1868, 1949 et 1987).

## 2. Une recherche sur les risques, ciblée sur les enjeux

Les problèmes posés à la ville liés à la multiplicité des aléas en présence, ont fait l'objet d'une collaboration entre la Direction Métropolitaine du Territoire et du Logement de la Municipalité de Quito (DMTV) et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Le programme « Système d'information et risques dans le District Métropolitain de Quito » mis en place en 1999 et achevé en 2004 a poursuivi quatre objectifs principaux :

- Approfondir la connaissance des vulnérabilités et des risques à Quito,
- Mettre au point une méthode d'analyse des risques en milieu urbain,
- Développer un outil destiné à appuyer les décisions des pouvoirs locaux municipaux dans le cadre d'une politique de prévention des risques et d'actions à mener en période de crise,

---

<sup>1</sup> Les pentes supérieures à 30% occupent 20% du DMQ.

<sup>2</sup> A titre d'exemple, 15% de la superficie de la ville stricto sensu est exposée à des inondations et/ou des coulées boueuses (d'après Peltre, 1989) et 30% des sols en ville sont considérés comme étant liquéfiables en cas de séisme (EPN *et al.*, 1995).

<sup>3</sup> Lahar est un terme indonésien générique décrivant un écoulement rapide saturé en débris rocheux et en eau attribuable à la fonte d'un glacier recouvrant un volcan.

– Réfléchir sur les liens entre concepts, recherche et application en matière de risque en milieu urbain.

Ce programme s'est appuyé sur une base de données urbaines géo-référencées, développée depuis la fin des années 80 en collaboration avec l'ORSTOM (actuel IRD)<sup>4</sup>. Cette base, administrée avec l'aide du SIG *SavGIS*<sup>5</sup> et gérée par le Service Municipal d'Etudes Métropolitaines<sup>6</sup>, était initialement conçue pour la planification de l'agglomération et la gestion urbaine quotidienne. Outre un profond travail d'actualisation, la base a été enrichie dans de nombreux domaines, en particulier dans celui de la mobilité, dans l'optique de la convertir en un outil d'aide à la décision en matière de planification préventive et de gestion des crises. Cette évolution était d'autant plus indispensable que, dans le contexte du réveil du volcan *Pichincha* en 1998 et de ses éruptions en 1999, la gestion des risques à Quito a été décentralisée au niveau municipal par décret présidentiel<sup>7</sup> et constitue dès lors l'une des priorités de la mairie.

La philosophie générale du programme<sup>8</sup> a été de considérer que pour prévenir le risque de façon efficace, au plus faible coût et le plus rapidement possible –en particulier en ville, lieu de concentration de populations, de fonctions urbaines et de richesses– il était indispensable de cibler l'analyse, c'est-à-dire de se concentrer sur ce qui est essentiel au fonctionnement normal d'un territoire, à son développement, et en situation de crise. La démarche consiste en premier lieu à identifier les éléments essentiels du fonctionnement du territoire, qui ont été appelés « enjeux majeurs » dans la mesure où leur détérioration ou perte constituerait un grave problème pour l'ensemble du territoire urbain (D'Ercole *et al.*, 2002 et 2004). De ce fait, l'analyse ne porte pas sur les aléas (trop nombreux et présents sur l'ensemble de l'agglomération de Quito) ni sur leur cartographie (incertaine et insuffisamment précise) comme dans les études classiques de risques, mais sur les enjeux de fonctionnement, de développement et de gestion de crises du territoire métropolitain. Dans un deuxième temps, le décryptage de ce qui fonde la vulnérabilité de ces « enjeux majeurs » permet d'envisager des mesures pour assurer leur sûreté et durabilité. Les enjeux considérés relèvent de domaines indispensables au fonctionnement urbain (comme la mobilité), pour lesquels on détermine des éléments matériels de première importance (un axe-clef, un pont stratégique, une gare centrale...) ayant une portée à l'échelle du District de Quito et qui vont être considérés comme des « enjeux majeurs ».

<sup>4</sup> Cette base a permis entre autre la publication de l'Atlas Infographique de Quito (IGM *et al.*, 1992).

<sup>5</sup> Développé par Marc Souris, ce gratuiciel est téléchargeable à l'adresse suivante : <http://www.savgis.org>

<sup>6</sup> *Unidad de Estudios e Información Metropolitana*.

<sup>7</sup> Jusqu'en 1998, elle était de responsabilité gouvernementale (Metzger *et al.*, 1999).

<sup>8</sup> En partie inspirée des analyses antérieures du risque ciblées sur les enjeux réalisées par des géographes de l'Université de Savoie sur les villes de Nice et Annecy (Lutoff, 2000 ; D'Ercole *et al.*, 2000).

L'intérêt de cette approche est qu'elle permet de déterminer des objets tangibles du fonctionnement territorial sur lesquels les responsables municipaux ont directement prise en termes de gestion courante et également dans la perspective de réduction de leur vulnérabilité. Trois grands domaines indispensables pour le fonctionnement en temps normal d'une ville ont été analysés :

– La population urbaine et ses besoins intrinsèques. Il s'agit des services de santé et d'éducation, mais également de tout ce qui peut contribuer à l'épanouissement de l'individu et de la collectivité depuis les possibilités récréatives jusqu'aux moyens de vivre et d'exprimer une identité à travers la culture et le patrimoine.

– La logistique urbaine qui renvoie aux infrastructures et services indispensables : l'approvisionnement en eau et en aliments, l'approvisionnement en énergie électrique et en combustibles, les télécommunications et la mobilité.

– La capacité de gestion, d'administration ou de production de richesse. Il s'agit des particularités de Quito en tant que capitale d'Etat, de ses fonctions administratives à une échelle plus locale, l'économie urbaine et la valeur du sol.

Les enjeux de développement sont étroitement liés aux précédents qu'il s'agisse des conditions de vie de la population, de la logistique ou du système de gestion économique et politique de la ville. La qualité et la sûreté des enjeux de fonctionnement contribuent donc fortement au développement de la ville. Pour prendre en compte les enjeux de développement, l'accent a été placé sur les principales orientations fixées par la municipalité de Quito en matière de développement économique et social. Elles concernent en particulier les activités identifiées comme porteuses du développement économique du District<sup>9</sup>, notamment l'exportation du pétrole ou de produits agricoles (fleurs, en particulier), les services aux entreprises et le tourisme.

Durant une période de crise liée à la survenue d'un phénomène dommageable d'origine naturelle ou anthropique, le territoire urbain ne peut pas fonctionner comme en période normale. Affronter cette période dans les meilleures conditions possibles et en réduire au maximum les conséquences sur le plan des vies humaines ou des activités économiques, et de manière générale sur les enjeux de fonctionnement et de développement, suppose l'existence d'autres enjeux de la ville, qualifiés « d'enjeux de crise ». Si certains enjeux sont essentiels tant en période normale qu'en période de crise, comme l'approvisionnement en eau, les télécommunications ou les établissements de santé, d'autres passent au second plan dans la mesure où la priorité est de gérer et de sortir d'une situation de crise. Il s'agit, par exemple du patrimoine, des activités culturelles et récréatives, voire de nombreuses entreprises qui ne participent pas directement à la gestion de la crise. Enfin, d'autres domaines dont le rôle est modeste en

---

<sup>9</sup> MDMQ/DGP, 2000.

période normale deviennent fondamentaux en temps de crise, comme celui des organismes de gestion des crises, des sources alternatives d’approvisionnement en eau ou les lieux de refuge.

La mobilité et l’accessibilité des lieux s’inscrivent à la fois dans une logique de fonctionnement, de développement et de gestion des crises. L’impact de la fermeture d’un axe important, les conséquences de la suspension d’un service de transport sur une ligne majeure seront d’autant plus pénalisants pour la ville que ces éléments-clefs permettent d’accéder à des lieux essentiels à son fonctionnement et à son développement. Les lieux essentiels sont des espaces qui concentrent les enjeux de la ville, rassemblant des fonctions urbaines stratégiques relevant de différents domaines (santé, éducation, économie, gestion des crises ...) qui doivent être accessibles pour pouvoir assurer leur rôle. La logique est identique dès lors qu’il s’agit d’accéder aux enjeux de crise (eau potable, zones de refuge...) ou aux éléments à secourir ou à protéger comme les populations affectées<sup>10</sup>.

### **3. Le recours à la question de la mobilité et à la notion d’accessibilité pour évaluer les risques**

La capacité de se déplacer au sein d’une agglomération étant fondamentale pour les pratiques sociales et le déroulement habituel des activités, mais aussi durant les périodes de crise (évacuation des zones sinistrées, accès des secours) et de récupération (acheminement de matériels de construction, déblaiement des gravats), les questions de mobilité et d’accessibilité représentent logiquement des clefs de lecture particulièrement adaptées à l’évaluation des risques<sup>11</sup>. En effet, des difficultés de circulation ou des problèmes d’accessibilité peuvent avoir des impacts lourds de conséquences dans de nombreux domaines. D’autre part, les transports sont particulièrement sujets aux perturbations ; la survenue de phénomènes même mineurs peut entraver sérieusement la mobilité des personnes et le transport de marchandises. La mobilité est donc un enjeu en soi pour la ville, un enjeu fragile auquel les gestionnaires municipaux attachent une grande importance, un enjeu qu’il convient de préserver à tout prix.

Dans cette perspective, l’accent a été placé sur les « enjeux majeurs » de la mobilité, c’est-à-dire sur les infrastructures-clefs des réseaux routier et de transport, dans la

---

<sup>10</sup> Les lieux essentiels du fonctionnement et du développement du District de Quito ont été identifiés et présentés dans l’ouvrage : « *Los Lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito* » (D’Ercole *et al.*, 2002). Les enjeux et les lieux essentiels de la gestion des crises sont analysés et représentés dans « *La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito* » (D’Ercole *et al.*, 2004).

<sup>11</sup> Ceci dit, cette approche ne fait pas l’objet de nombreuses recherches, en particulier à l’échelle d’une ville.

mesure où la perte de leur opérationnalité perturberait les communications et pourrait compromettre l'accessibilité de certains secteurs, ce qui serait préjudiciable au fonctionnement urbain. La situation est d'autant plus critique que les infrastructures-clefs sont vulnérables et que les secteurs dont l'accessibilité peut être compromise, comportent des fonctions urbaines stratégiques (grands centres hospitaliers, certains établissements éducatifs, bâtiments administratifs centraux, équipements névralgiques de la logistique urbaine, entreprises piliers de l'économie locale...). La première étape a été d'identifier les infrastructures-clefs de la mobilité, et de les localiser. Cette question a impliqué une analyse préalable des déplacements quotidiens et du système de transport. La deuxième étape a été de rechercher les vulnérabilités de ces infrastructures-clefs, vulnérabilités qui les prédisposent aux endommagements, aux défaillances. La troisième question a été de comprendre les risques encourus par le District Métropolitain de Quito compte tenu de la réduction possible de l'accessibilité des différents espaces métropolitains attribuable à la perte d'opérationnalité des infrastructures-clefs de la mobilité. Différents scénarii ont été envisagés mettant en perspective les répercussions spatiales prévisibles à l'échelle du DMQ. L'ensemble de la méthode divisée en quatre grandes étapes, reposant sur de nombreux traitements SIG, apparaît dans la figure 1.

#### **4. Traitements géomatiques utilisés**

La constitution d'une base de données géo-référencées actualisée<sup>12</sup> et les traitements qu'elle a permis de réaliser ont apporté de nombreux éléments de réponse à notre problématique. En dehors des données déjà cartographiées intégrées sans modification majeure dans la base municipale, de nombreuses autres données ont dû être constituées sur la base d'analyses préalables non décrites dans ce texte. Il s'agit en particulier de l'analyse fonctionnelle du réseau routier basée sur les échanges et mouvements (i) au regard de la situation de la ville par rapport aux autres pôles urbains (mobilité interurbaine), et (ii) au regard de la répartition des fonctions urbaines dans la ville (mobilité intra urbaine). Cette analyse a permis de dresser une typologie des axes routiers (accès au DMQ, axes centre périphérie...) indispensable au décryptage ultérieur des infrastructures-clefs. Les tableaux 1 et 2 reprennent les principaux traitements SIG auxquels nous avons eu recours à chacune des étapes de la recherche. Si les traitements SIG ont été nécessaires à notre analyse, ils ne permettent pas de renseigner toutes les variables (pour certaines informations provenant d'analyses connexes, l'outil SIG permet tout au plus de rajouter un champ descriptif pour les objets<sup>13</sup>). Ceci dit, le SIG permet de rassembler l'ensemble des données, de les traiter et de produire des cartes synthétiques.

---

<sup>12</sup> La collecte, validation et intégration des données ont duré près de 4 ans.

<sup>13</sup> Par exemple, les données associées à certaines variables concernant l'évaluation de la vulnérabilité proviennent de sources extérieures (enquêtes, entretiens, rapports divers...).

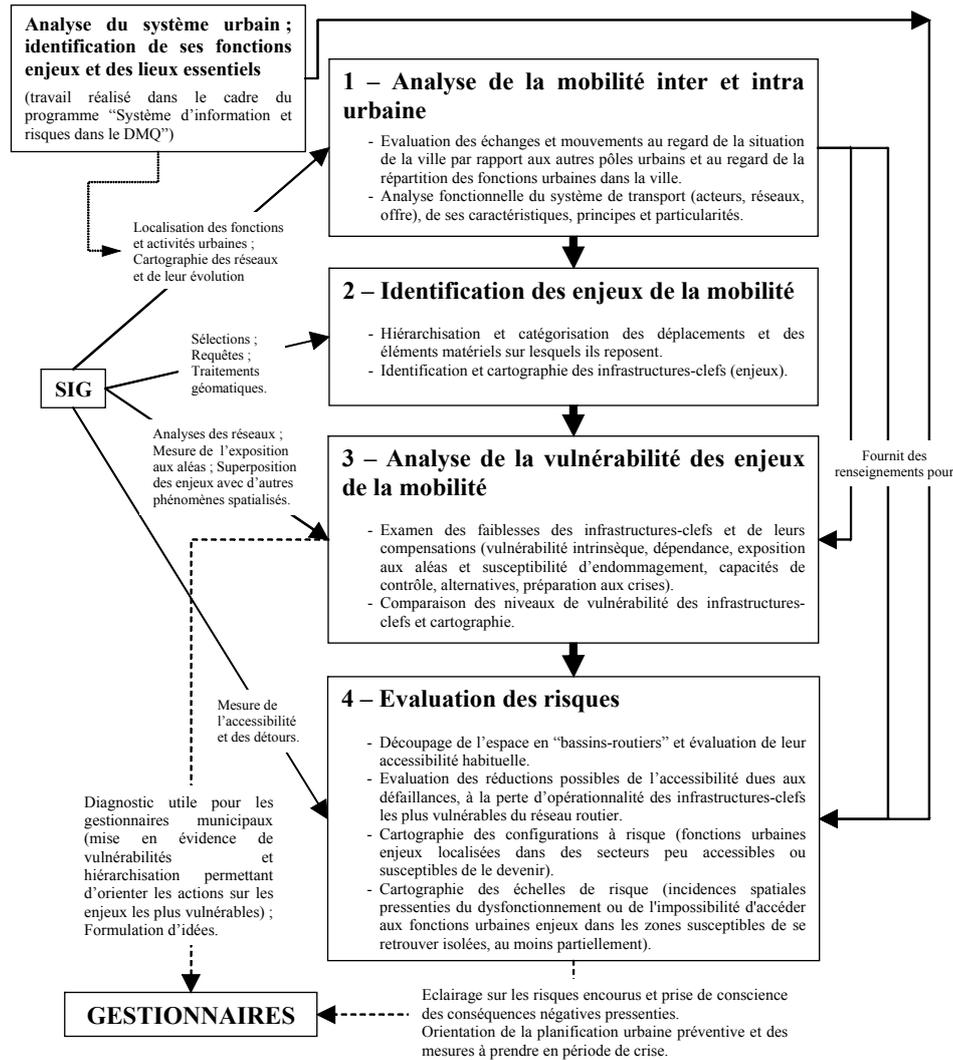


Figure 1. Synthèse de la méthode d'analyse de risque ciblée sur les enjeux privilégiant les questions de mobilité et d'accessibilité.

| Etapas de la recherche  | Description des traitements effectués dans le SIG  | Applications, résultats cartographiques   | Remarques   |
|---|--|---|---|
| <b>Identification des infrastructures-clefs des réseaux routier et de transport (enjeux à l'échelle de l'agglomération)</b> | <p>1 - Sélection d'objets par requête statistique (en fonction d'une valeur seuil).</p> <p>2 - Sélection d'objets par restriction nominale (pour les variables qualitatives, ne sont retenues que certaines modalités).</p> <p>3 - Sélection d'objets par requête multi-critère en fonction d'une valeur seuil différenciée selon la localisation des objets.</p> <p>4 - Synthèse (réaffectation à l'ensemble du réseau des valeurs d'importance assignées aux infrastructures dans les différentes zones du DMQ).</p> <p><i>Nota : certains traitements ayant recours à la localisation des objets ont été effectués préalablement à l'opération 1 (ex : Géo-agrégation des lignes de bus par tronçon viaire (permettant leur dénombrement) pour l'identification des couloirs enjeux du réseau de TC).</i></p> | <p>1 - Repérage des axes les plus empruntés à partir de seuils de trafic.</p> <p>2 - Sélection des axes routiers structurants et principaux uniquement (accès au DMQ, axes centre périphérie, voies de dégagement de l'espace central, couloirs de transport en commun...).</p> <p>3 - Sélection des axes principalement Nord-Sud en ville (les plus fréquentés compte tenu de la configuration de la ville) et sélection des axes à partir de seuils de trafic différenciés en dehors de la ville (circulation moins dense au sud et en banlieue).</p> <p>4 - Elaboration d'une carte synoptique d'infrastructures-clefs de la mobilité à l'échelle du District.</p> | <p><i>Ces traitements requièrent au préalable une analyse fonctionnelle détaillée de la ville et du système de mobilité (notamment pour la typologie des axes routiers qui tient compte des différents types de déplacements qu'ils supportent).</i></p>                    |
| <b>Analyse de vulnérabilité des infrastructures-clefs des réseaux routier et de transport</b>                               | <p>1 - Mesure des caractéristiques des réseaux (opérations de calculs géométriques). Calcul de scores pour chaque objet.</p> <p>2 - Superposition des infrastructures-clefs avec d'autres phénomènes ayant une dimension spatiale (géo-appartenance : affectation de modalité par localisation). Calcul de scores pour chaque objet.</p> <p>3 - Mesure de distances, création de zones tampons. Calcul de scores pour chaque objet.</p> <p>4 - Classification, pondération, addition des scores et hiérarchisation.</p>  | <p>1 - Evaluation de la connectivité, de la pente et de la sinuosité des tronçons routiers.</p> <p>2 - Evaluation de l'exposition aux aléas d'origine naturelle et anthropique.</p> <p>3 - Evaluation de l'éloignement des infrastructures-clefs de la mobilité vis-à-vis des centres d'intervention en période de crise (pompiers).</p> <p>4 - Elaboration des cartes de vulnérabilité des infrastructures-clefs détaillées pour six formes et d'une carte synthétique de vulnérabilité cumulée.</p>   | <p><i>De nombreuses variables ne proviennent pas des traitements SIG. Elles sont issues d'analyses et réflexions connexes. Ceci dit, il est possible d'intégrer dans un SIG l'ensemble de ces données et de les traiter en vue de produire des cartes synthétiques.</i></p> |

**Tableau 1.** Traitements SIG utilisés pour l'identification des enjeux de la mobilité et leurs vulnérabilités (logiciel SavGIS®).

| Etapas de la recherche   | Description des traitements effectués dans le SIG   | Applications, résultats cartographiques   | Remarques   |
|--|---|---|---|
| Découpage de l'espace en "bassins routiers" et évaluation de leurs degrés d'accessibilité habituelle et en période de crise. | <p>1 - Découpage manuel supervisé de l'espace métropolitain (digitalisation de nouvelles zones).</p> <p>2 - Calculs (dénombrement du nombre de points d'entrée/sortie pour chaque zone, pourcentage de surface à plus de 1 Km. d'un axe majeur, pente, densité, connexité et sinuosité moyennes du réseau innervant).</p> <p>3 - Calculs combinatoires (analyse des situations possibles et classification) compte tenu compte tenu de la perte d'opérationnalité des infrastructures-clefs les plus vulnérables permettant l'accès immédiat aux zones.</p> <p>4 - Mesure des distances à parcourir lorsque l'itinéraire habituel est fermé à la circulation compte tenu de la perte d'opérationnalité des infrastructures-clefs les plus vulnérables du réseau viaire.</p> | <p>1 - Définition de "bassins-routiers" fonctions de l'armature du réseau routier structurant et principal conditionnée par les discontinuités et barrières de l'espace métropolitain (calquées sur la topographie, l'hydrographie et sur certains aménagements urbains).</p> <p>2 - Evaluation du niveau d'accessibilité habituelle des "bassins-routiers" (degré de facilité avec lequel on peut les atteindre par la route en temps normal) et du degré de facilité avec lequel on peut circuler à l'intérieur.</p> <p>3 - Evaluation des possibilités de réduction d'accessibilité (depuis l'extérieur proche). Permet de mettre en exergue les possibilités d'isolement au moins partiel de certains secteurs vis-à-vis des secteurs limitrophes (élaboration d'une carte).</p> <p>4 - Evaluation des possibilités de réduction d'accessibilité compte tenu des détours à effectuer pour atteindre les différents secteurs de l'agglomération depuis l'extérieur du DMQ (élaboration d'une carte).</p> | <p><i>L'accessibilité a été évaluée uniquement au regard du réseau routier sur le simple critère de distance kilométrique (n'ont pas été retenus les critères de coût et de durée, faute d'information suffisante).</i></p> |
| Etude de risques   | <p>1 - Recoupement entre la localisation des fonctions urbaines stratégiques (grands centres hospitaliers, installation vitale de la logistique urbaine...) et les degrés de réduction possible d'accessibilité (géo-appartenance).</p>   | <p>1 - Elaboration d'une carte montrant une sélection de fonctions urbaines enjeux dans les zones susceptibles de connaître une forte ou très forte réduction de leur accessibilité et d'une deuxième carte montrant les incidences spatiales pressenties du dysfonctionnement ou de l'impossibilité d'accéder aux fonctions urbaines stratégiques dans les zones susceptibles de se retrouver isolées, au moins partiellement.</p>   | <p><i>Ce document sert de base de réflexion pour évaluer les risques encourus par le DMQ</i></p>  |

**Tableau 2.** Traitements SIG utilisés pour l'évaluation de l'accessibilité et l'étude des risques (logiciel SavGIS®).

## **5. Principaux résultats**

### **5.1. Identification des enjeux de la mobilité**

A partir des analyses fonctionnelles préalables de la ville et du système de mobilité, les éléments matériels (infrastructures routières et équipements de transport) assurant un rôle de première importance pour les déplacements de personnes à l'échelle de l'agglomération, ont été identifiés et cartographiés selon une méthode expérimentale développée dans le cadre de notre recherche. La méthode repose sur une hiérarchisation et une classification des infrastructures et considère plusieurs critères (volume de trafic, fréquentation, utilité et importance dans le réseau, dimension des ouvrages, redondance des infrastructures...).

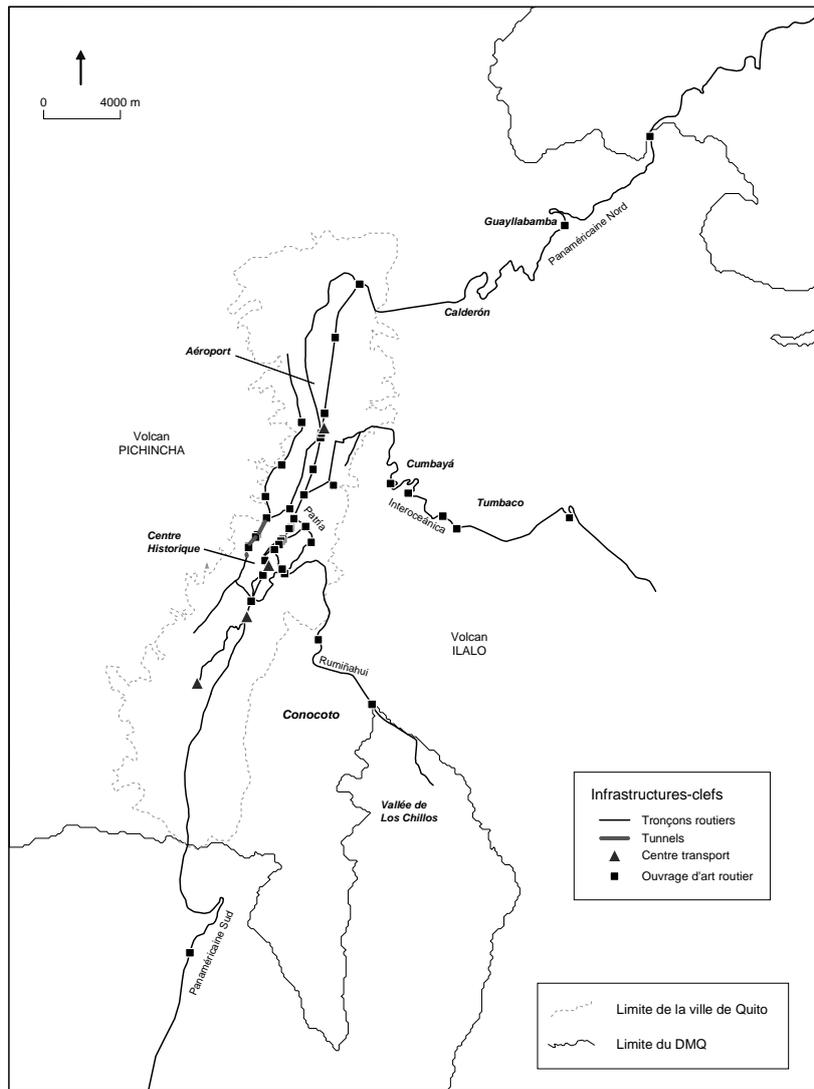
Dans la catégorie des axes-clefs à l'échelle de l'agglomération, ont été retenus (carte 2) : deux des quatre accès au DMQ (Panaméricaines Sud et Nord), trois des quatre axes centre-périphérie (la route qui mène à *Calderón*, la route qui conduit à *Tumbaco*, l'autoroute qui permet d'accéder à la vallée de *Los Chillos*). En ville, ont été retenus les principaux boulevards nord-sud ; Certaines artères est-ouest font également partie des axes-clefs. Les trois tunnels et 43 ponts situés sur les axes-clefs sont aussi des enjeux pour les communications. Enfin, sept nœuds des réseaux de transports en commun ont été également identifiés comme enjeux. En dehors des axes, la plupart des éléments-clefs de la mobilité est concentrée dans l'espace central et plus particulièrement en périphérie du centre historique.

### **5.2. Vulnérabilité des éléments-clefs des réseaux routier et de transport**

Pour tenir compte de sa complexité, la vulnérabilité des éléments-clefs des réseaux routier et de transport a été analysée selon six critères (vulnérabilité intrinsèque, dépendance, exposition aux aléas, alternatives, capacité de contrôle, préparation aux crises). Cette méthode<sup>14</sup> prend en considération les facteurs qui accentuent et ceux qui contrebalancent la vulnérabilité. Elle se base à la fois sur de nombreux traitements SIG (cf. tableaux 1 et 2), sur des travaux annexes (rapports, enquêtes) et sur les informations fournies par les techniciens et gestionnaires en charge du transport. Les termes employés sont donc les leurs et concernent des infrastructures sur lesquels ils ont directement prise. L'analyse est en ce sens plus facilement appropriée par les intéressés (en tout cas beaucoup plus qu'une étude portant sur la simple exposition de la ville à des aléas). Les cartes 3 et 4 présentent les six formes de vulnérabilité des axes-clefs du réseau routier métropolitain.

---

<sup>14</sup> Méthode développée dans le cadre du programme général, et appliquée dans d'autres domaines (économie, population, réseaux électrique et d'adduction d'eau potable...).



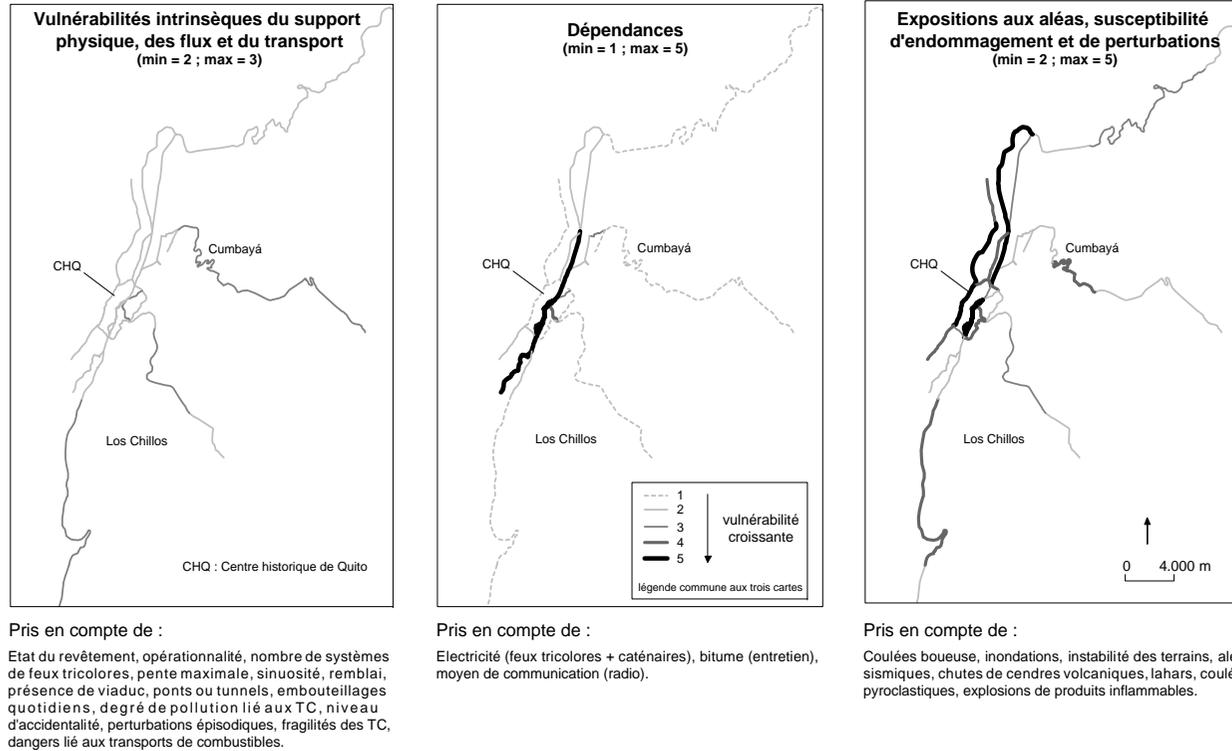
Carte 2. Infrastructures-clefs des réseaux routier et de transport – DMQ.

La lecture croisée des différentes formes de vulnérabilités a permis par la suite de mettre en exergue les éléments-clefs qui sont globalement les plus vulnérables (ceci est le cas lorsque les vulnérabilités sont fortes et faiblement compensées), c'est-à-dire ceux qui sont les plus susceptibles de ne plus fonctionner ou de ne plus assurer leur rôle et de perturber considérablement les communications. C'est donc sur cet ensemble d'éléments-clefs particulièrement vulnérables que des actions locales de réduction de vulnérabilité pourraient être envisagées en priorité.

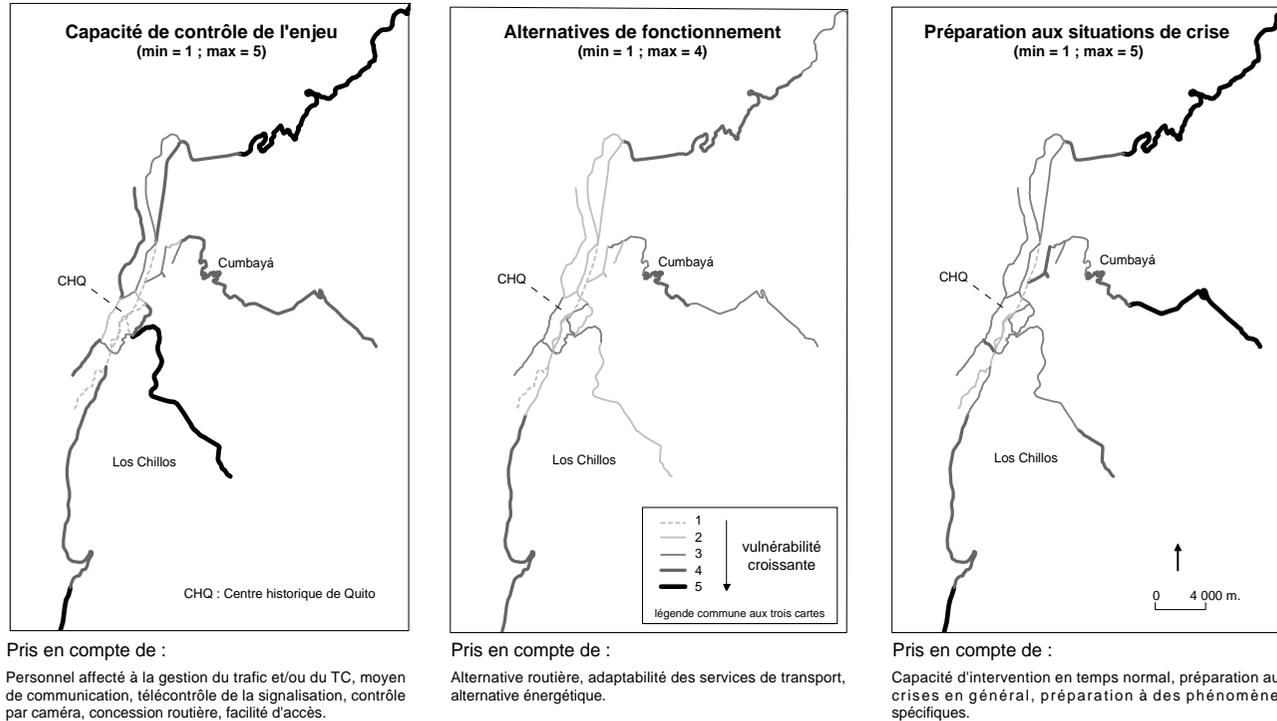
Le cumul des six formes de vulnérabilité a été cartographié (carte 5). Il est ressorti de cette analyse que comparativement aux autres éléments-clefs, les grands centres de transport figurent comme étant les moins vulnérables puisqu'ils n'atteignent pas de vulnérabilité cumulée « forte » ou « très forte ». En revanche, parmi les éléments-clefs de l'appareil circulaire (axes, ponts, tunnels), les niveaux « fort » et « très fort » de vulnérabilité cumulée sont atteints par la plupart des voies d'accès à la ville et par les tunnels.

### **5.3. Vulnérabilité de l'accessibilité**

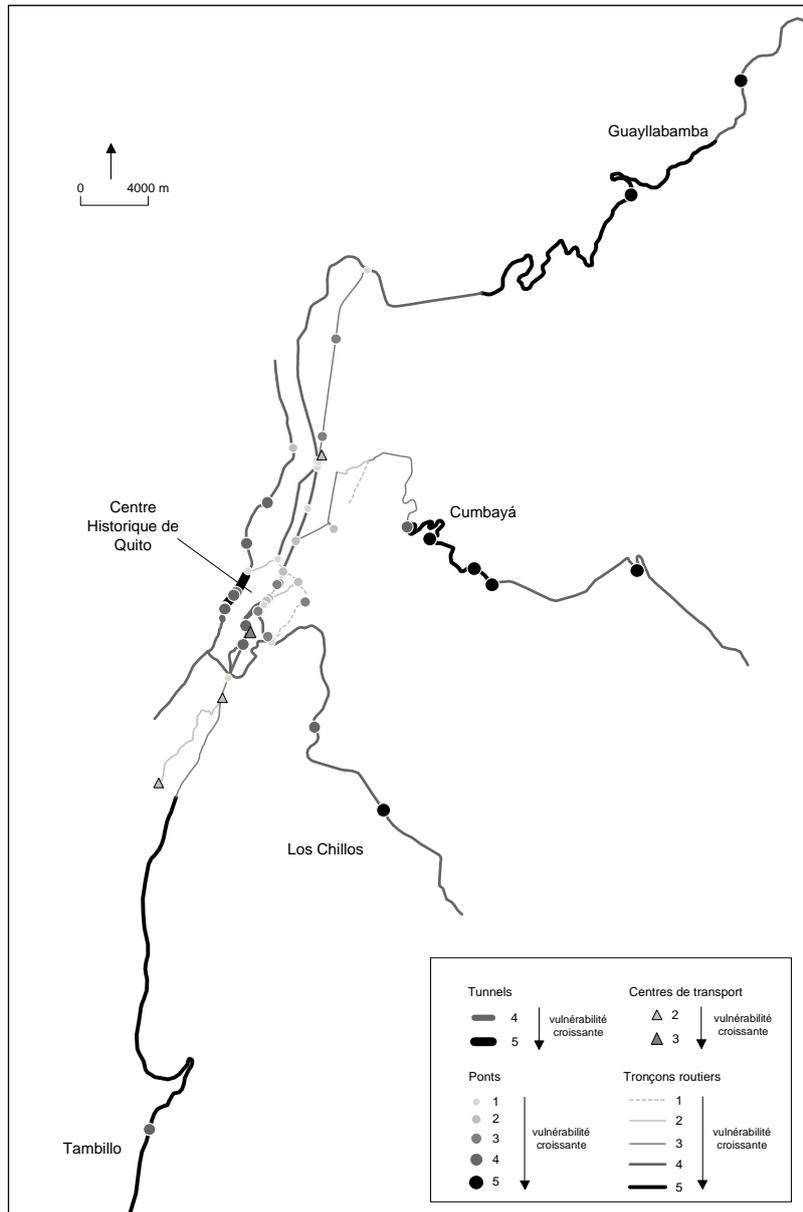
Dans le District Métropolitain de Quito, l'accessibilité habituelle est très hétérogène et limitée dans certains secteurs, ce qui pose déjà des difficultés au quotidien. Ceci dit, c'est surtout la réduction de l'accessibilité à cause de la défaillance des infrastructures-clefs des réseaux routier et de transport, qui laisse présager de graves problèmes compte tenu de l'isolement prévisible de certaines zones ou de l'ampleur des détours à effectuer pour y accéder. La défaillance des infrastructures-clefs est d'autant plus probable qu'elles sont vulnérables (fragilité intrinsèque élevée, fortement dépendantes d'un autre système, fortement exposées aux aléas d'origine naturelle...). La localisation des éléments-clefs du réseau routier les plus susceptibles de se retrouver inopérants compte tenu de leur « forte » ou « très forte » vulnérabilité cumulée, a permis de repérer les zones dont l'accessibilité risque le plus d'être compromise. Les niveaux de réduction possible d'accessibilité des différentes zones du DMQ ont ainsi été évalués et cartographiés (carte 6).



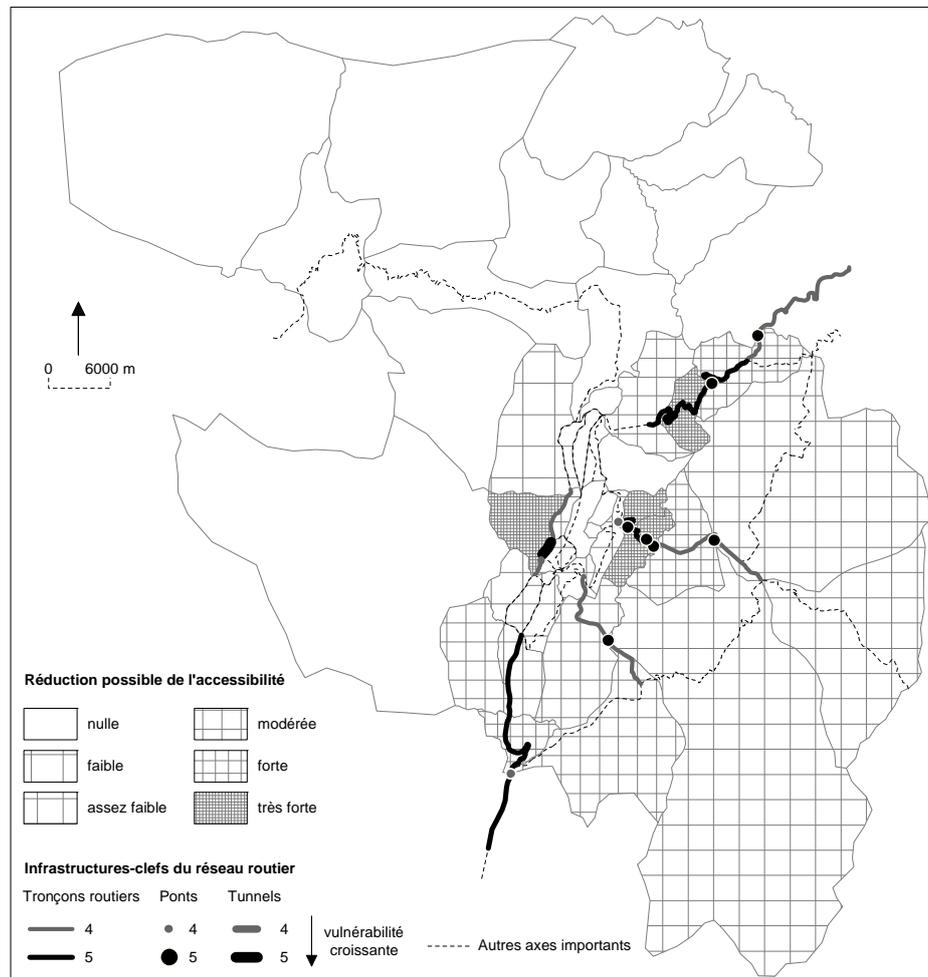
**Carte 3.** Formes de vulnérabilité des axes-clefs du réseau routier métropolitain.



**Carte 4.** *Formes de compensation de la vulnérabilité des axes-clefs du réseau routier métropolitain.*



**Carte 5.** Vulnérabilité cumulée des éléments-clefs des réseaux routier et de transport.



**Carte 6.** Niveau de réduction possible de l'accessibilité des zones au sein du DMQ en cas de perte d'opérationnalité des éléments-clefs les plus vulnérables du réseau routier.

#### 5.4. Les risques encourus

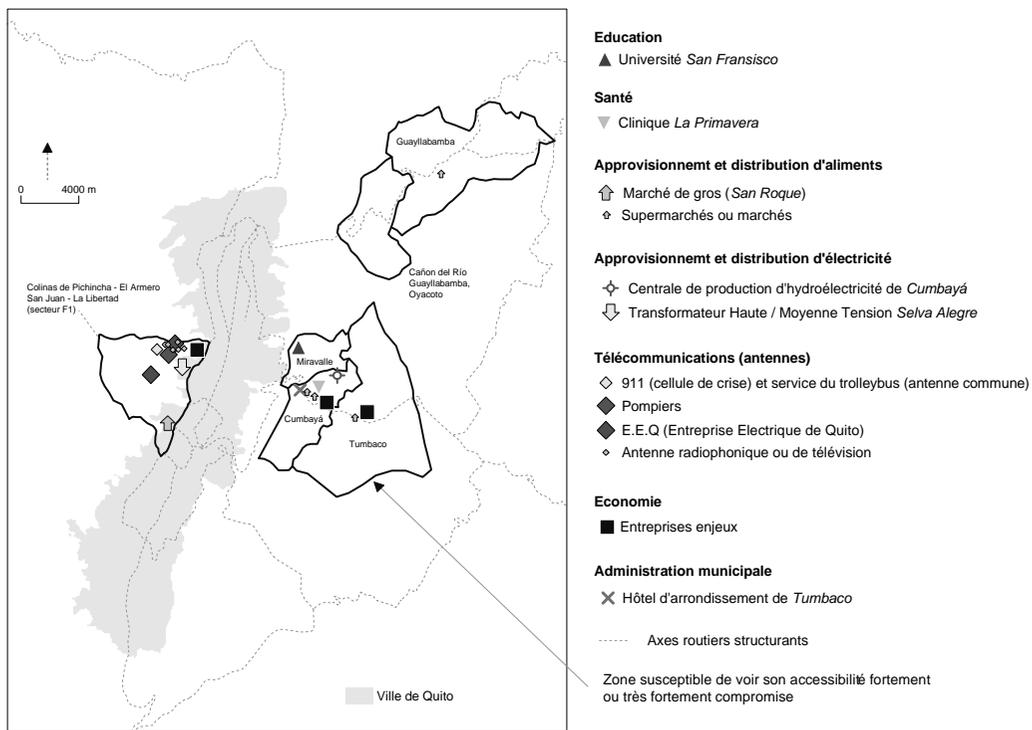
Pour l'évaluation des risques, plusieurs scénarii ont été envisagés. Un seul cas de figure est présenté dans ce texte : les risques encourus par le DMQ compte tenu de la localisation dans les six secteurs les plus exposés à l'isolement, de fonctions urbaines

stratégiques pour le DMQ (carte 7). Ce cas de figure relève d'une situation exceptionnelle, qui ne s'est encore jamais produite, mais qui n'est pas dénuée de tout sens dans la mesure où des phénomènes susceptibles d'entraîner des dommages majeurs peuvent affecter l'agglomération (séisme, lahars). L'impossibilité d'accéder à une fonction urbaine stratégique laisse entrevoir des dysfonctionnements plus ou moins graves. Une rupture d'accessibilité pourrait affecter durement l'économie du DMQ compte tenu des problèmes auxquels seraient confrontées les entreprises, en particulier les entreprises majeures de l'économie métropolitaine. Les entreprises majeures sont celles qui emploient plus de 20 salariés et dont le domaine d'activité correspond soit aux secteurs de pointe, soit aux secteurs largement représentés dans le DMQ. Ces entreprises (commerce, construction, services aux entreprises, floriculture, industries...) <sup>15</sup> contribuent directement au développement du DMQ. D'une manière générale, pour une entreprise, le fait de voir son accessibilité remise en cause lui porte préjudice ; ses employés pourraient éprouver des difficultés à venir travailler, les matières premières pourraient ne plus être livrées et les productions ne plus être expédiées. Les risques induits sont donc des pertes d'emplois, des manques à gagner, une perte de compétitivité.

En fonction du scénario considéré (séisme, chute de cendre, lahar), ce n'est pas seulement l'accessibilité des fonctions urbaines stratégiques qui pourrait être remise en cause. Certains phénomènes pourraient également engendrer des dommages aux fonctions urbaines. Dans ce cas, l'accès aux fonctions urbaines stratégiques serait d'autant plus crucial qu'il faudrait procéder à des réparations afin de réamorcer des systèmes ou maintenir des services. Deux grandes installations du système électrique et un grand nombre d'antennes de télécommunication se trouvent dans les six zones les plus exposées à l'isolement (carte 7). Cette situation peut poser des problèmes si des interventions sur les antennes s'avèrent nécessaires pour remédier à des pannes. Le cas des antennes est d'autant plus préoccupant que les installations appartiennent à des gestionnaires de crise (sécurité civile, pompiers) et à certains organismes assurant des services primordiaux tels que l'Entreprise Electrique de Quito (EEQ) et l'Unité du Trolleybus (UOST). L'endommagement des antennes, difficilement réparables compte tenu de leur faible accessibilité, pourrait entraîner des dysfonctionnements significatifs dans le système de télécommunications. Ceci pourrait entraîner de graves conséquences pour l'organisation des secours, mais aussi pour le maintien de certains services. L'entreprise d'électricité avec deux antennes dans le secteur F1 (secteur susceptible de connaître une très forte réduction de son accessibilité, voir carte 7), pourrait éprouver des difficultés à coordonner les interventions de ses équipes de techniciens sur le terrain. L'UOST pourrait également rencontrer des problèmes pour maintenir le service du trolley fonctionnant sous radio-contrôle. La mise hors service des antennes radio et de télévision pourrait en outre empêcher la diffusion des informations aux citoyens sur les mesures et attitudes à suivre en cas de sinistre.

---

<sup>15</sup> Cette définition est celle fournie par nos partenaires économistes municipaux.



**Carte 7.** Localisation de fonctions urbaines stratégiques pour le DMQ dans les zones susceptibles de connaître une forte ou très forte réduction de leur accessibilité.

## 6. Conclusion

La recherche sur les risques centrée sur les enjeux de la ville menée dans le cadre du programme général « Système d'information et risques dans le DMQ », a permis de proposer une base de réflexion utile aux différents acteurs urbains et à l'autorité municipale du District Métropolitain de Quito. La base de données géo-référencées actualisée et les cartes multi-thématiques élaborées reposant sur de nombreux traitements SIG, constituent des outils et des supports d'aide à la décision pour la gestion des risques.

L'analyse de risque privilégiant les questions de mobilité et d'accessibilité, présentée dans cet article, a abouti à la construction de cartes représentant les différentes formes de vulnérabilité des infrastructures-clefs et font ressortir celles qui sont les plus fragiles. Ces cartes permettent d'envisager des actions locales de réduction de vulnérabilité des infrastructures-clefs des réseaux routier et de transport, indépendamment de leur exposition aux aléas. Par exemple, des alternatives routières pourraient être définies pour pallier à la fermeture des tunnels, infrastructures essentielles pour relier le Nord et le Sud de la ville. Le renforcement structural des ponts-clefs les plus vulnérables face au séisme permettrait d'éviter leur effondrement. Lorsque cette solution n'est pas techniquement ou financièrement possible, l'entreposage de matériel de reconstruction à proximité, permettrait de faciliter leur réhabilitation.

Les cartes représentant les fonctions urbaines stratégiques et le niveau d'accessibilité des lieux où elles se trouvent, servent également de support à la réflexion sur les risques encourus par le DMQ. Ces éclairages peuvent orienter la planification urbaine préventive ; par exemple des investissements dans le domaine de la voirie permettraient d'améliorer l'accessibilité des quelques secteurs comportant des fonctions urbaines stratégiques les plus exposés à l'isolement. La relocalisation de certaines fonctions urbaines stratégiques dans des secteurs ayant moins de risque de se retrouver isolés, ou « la déconcentration spatiale des antennes permettraient au DMQ d'affronter plus efficacement une crise. Enfin, il pourrait être prévu de rendre obligatoire la construction de plusieurs voies d'accès pour les nouveaux ensembles urbains.

## 7. Bibliographie

Appert M., Chapelon L., « Variabilité de la performance des réseaux routiers: application à la région urbaine de Londres », in: MATHIS Ph. (Ed), *Graphes et réseaux: modélisation multiniveau*. Paris, Hermès, 2003, p. 49-76.

Atiaga G., Demoraes F., Vulnerabilidad estructural de los puentes del Distrito Metropolitano de Quito frente al peligro sísmico - Aplicación y adaptación de la metodología HAZUS®99 al contexto ecuatoriano, Rapport d'expertise, 2002, DMT/EPN/IRD.

Bavoux J.-J., (sous la direction), *Introduction à l'analyse spatiale*, Paris, Armand Colin, 1998.

Beguïn H., « Analyse quantitative », in *Les concepts de la géographie humaine*, Masson, 1995, p. 211-219.

Berdica K., « An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done? », *Transport Policy* 9 (2), 2002, p. 117-127.

CERTU, Vulnérabilité des réseaux urbains et gestion de crise, Exemple de l'inondation de mars 2001 à Lyon et Mâcon, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (DPPR), 2002.

D'Ercole R., Pigeon P., Baussart O., Cambot V., Gnemmi L., Wattez J., Analyse du système urbain d'Annecy et définition de ses enjeux, Département de Géographie - Université de Savoie, 2000.

D'Ercole R., Metzger P., *Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito*, Quito-Ecuador, Colección Quito Metropolitano, IRD/DMTV-MDMQ, 2002.

D'Ercole R., Metzger P., *La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*, Quito-Ecuador, Colección Quito Metropolitano, IRD/DMTV-MDMQ, 2004.

Demoraes F., Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito (Equateur), Thèse de géographie – Université de Savoie, 2004.

Demoraes F., (2005), *Movilidad, elementos esenciales y riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito*, Co-édition MDMQ-IRD-IFEA, Quito. 227p.

EPN - GeoHazards International - MDMQ - ORSTOM - OYO Corp., *Proyecto para el manejo del riesgo sísmico de Quito*, Síntesis, Quito, Coll. Quito Metropolitano, 1995.

Gleyze J.-F., 2001, Les dommages induits par les coupures du réseau routier, Colloque "Risque d'accidents et risques environnementaux dans les transports routiers", Octobre 2001, 15p.

Iida Y., « Basic concepts and future directions of road network reliability analysis », *Journal of Advanced Transportation*, vol. 33, No2, 1999, p. 125-134.

IGM, IPGH, ORSTOM, *Atlas Infographique de Quito, Socio-dynamique de l'espace et politique urbaine*, Quito, 1992.

IRD, *SavGIS©: Documentation technique du Système d'Information Géographique*, Marc Souris, Paris, 2005.

Lleras-Echeverri G., Sanchez-Silva M., « Vulnerability analysis of highway networks, methodology and cases study », *Transport* 174 (4), 2001, p. 223-230.

Lutoff C., Le système urbain niçois face à un séisme - Analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels, thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie, 2000.

MDMQ, *Plan de Contingencia - Erupción Guagua Pichincha*, Quito, 1998.

MDMQ/DGP, *Plan de Competitividad y Desarrollo económico del Distrito Metropolitano de Quito – Proyecto de desarrollo económico y competitividad del DMQ*, Quito, 2000.

MDMQ/DMT, *Plan Maestro de Transporte para el Distrito Metropolitano de Quito (Propuesta)*, Quito, 2002.

Metzger P., D'Ercole R., Sierra A., « Political and scientific uncertainties in volcanic risk management : The yellow alert in Quito in October 1998 », *Geojournal*, 49, 1999, p. 213-221.

Núñez H., El transporte en el Distrito Metropolitano - Problemática, Primer borrador - Documento de Discusión Interna, Septiembre 1997, MDMQ/DGP.

Peltre P., 1989, « Quebradas y riesgos naturales en Quito, período 1900-1988 », *Riesgos Naturales en Quito, Lahares, aluviones y derrumbes del Pichincha y del Cotopaxi, Estudios de Geografía*, Quito, Vol II, Corporación Editorial Nacional, p. 45-91.

Pumain D., Saint-Julien Th., *Les interacciones spatiales - Flux et changements dans l'espace géographique*, Paris, Armand Colin, 2001.

Souris, M., La construction d'un système d'information géographique, principes et algorithmes du système SAVANE, Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle, 2002.

Taylor M.A.P., D'Este G.M., « Concepts of network vulnerability and applications to the identification of critical elements of transport infrastructure », *26th Australasian Transport Research Forum*, Wellington, New-Zealand, October 2003, 15p.