

## Risques et accessibilité des lieux dans le District Métropolitain de Quito (Équateur)

*Florent Demoraes - Robert D'Ercole*

*UMR 6590 - ESO, Université Rennes 2  
IRD, UR 29 - Environnement Urbain*

**Résumé.**— Cet article présente une série de cartes dont la lecture permet de comprendre progressivement les risques auxquels est confronté un territoire, ici le District Métropolitain de Quito. La démarche considère les risques attribuables aux réductions d'accessibilité que pourraient connaître certains espaces du District du fait de la perte d'intégrité du réseau routier. Cette recherche (conduite de 1999 à 2004) a nécessité l'évolution d'une base de données géographiques préexistante administrée par la mairie de Quito sous SavGIS. Les cartes produites à partir de cette base de données sont en premier lieu destinées à servir de support de réflexion à l'autorité municipale pour sa politique de planification territoriale préventive et de réduction des risques.

**Accessibilité • Cartographie • Équateur • Quito • Réseau • Risques • Vulnérabilité**

**Abstract.**— **Risks and accessibility of places in the Metropolitan District of Quito (Ecuador).**— This paper presents a set of maps that make it possible to understand the risks a territory — the Metropolitan District of Quito — is confronted with. The authors consider the risks attributable to reduced accessibility that may occur in some parts of District due to a loss of road network integrity. This research (conducted over 1999-2004) required the upgrade of a pre-existing location-based dataset managed by the Municipality of Quito using SavGIS. All the maps produced from this data are intended to support discussion that could be useful to various urban stakeholders for preventive land planning and risk preparedness.

**Accessibility • Ecuador • Mapping • Network • Quito • Risks • Vulnerability**

**Resumen.**— **Riesgos y accesibilidad de los lugares en el Distrito Metropolitano de Quito (Ecuador).**— Este artículo presenta una serie de mapas cuya lectura permite entender progresivamente los riesgos a los cuales está confrontado un territorio — el Distrito Metropolitano de Quito — DMQ. El enfoque considera los riesgos derivados de las reducciones de accesibilidad que podrían experimentar algunos sectores del DMQ asociadas a la pérdida de integridad de la red vial. Esta investigación (realizada entre 1994 y 2004) implicó la evolución de una base de datos geográficos preexistente administrada por el municipio de Quito en SavGIS. Los mapas elaborados a partir de esta base de datos son en primer lugar destinados a servir de soporte para la reflexión a la autoridad municipal para su política de planificación territorial preventiva y reducción de riesgos.

**Accesibilidad • Cartografía • Ecuador • Quito • Red • Riesgos • Vulnerabilidad**

## ***Le risque, une notion dont la représentation cartographique a évolué***

Notion composite, le risque d'origine naturelle, considéré comme la concrétisation potentielle de phénomènes plus ou moins prévisibles et ayant des répercussions le plus souvent négatives dans l'espace et le temps, a fait l'objet de représentations cartographiques qui ont beaucoup évolué. Cette évolution tient à la fois à l'enrichissement de la définition du risque et à l'avènement de nouvelles techniques de représentation (outils de CAO et SIG).

Jusqu'à la fin des années 1980, les cartes dites de risque « naturel » ne comportaient le plus souvent qu'un fond topographique sur lequel étaient superposées les zones exposées à tel ou tel type de phénomènes (inondation, glissement de terrain, couloir d'avalanche, etc.). Aujourd'hui appelées plus correctement cartes d'aléas, elles doivent malgré tout être considérées avec précaution compte tenu des imprécisions persistantes sur l'intensité et l'étendue des phénomènes considérés. À cela s'ajoute la lisibilité des cartes d'aléas qui varie d'une région à l'autre, ou d'un pays à l'autre, et ce n'est que très récemment qu'un modèle d'amélioration du rendu visuel des cartes d'aléas a été proposé dans le cadre d'une recherche doctorale par Élisabeth Chesneau (2006).

Avec la prise en compte progressive des facteurs de vulnérabilité — des populations dans un premier temps (D'Ercole, 1991) — les cartes ont évolué et ont permis de dresser un portrait plus précis des risques qui diffèrent selon les lieux et les populations pour un degré d'exposition aux aléas équivalent. Ces cartes offrent ainsi une typologie des populations, généralement agrégées dans un découpage territorial, selon l'aléa auquel elles sont soumises.

Plus récemment, avec l'évolution de la définition du risque et l'ajout de la notion d'enjeux, certaines recherches ont permis de mettre au point des méthodes d'identification des enjeux territoriaux et de les cartographier (Lutoff, 2000 ; D'Ercole, Metzger, 2002). Les enjeux étant par définition des éléments essentiels au fonctionnement et au développement d'un territoire, leur endommagement, défaillance ou perte seraient en conséquence particulièrement préjudiciables pour le territoire en question. Le travail ici exposé est issu d'une recherche doctorale (Demoraes, 2004) effectuée dans le cadre du programme « Système d'information et risques dans le DMQ » mené par l'IRD (UR 029, Environnement Urbain) en partenariat avec la municipalité de Quito entre 1999 et 2004. Ce sont avant tout les vulnérabilités des enjeux à l'échelle du DMQ (1) qui ont été analysées et cartographiées. Les cartes de vulnérabilités ainsi produites fournissent des éclairages sur les lieux fragiles du territoire et sur les risques encourus par ce dernier. Ceci dit, le lien entre vulnérabilités des enjeux et risques encourus par le territoire n'est pas direct. Il convient de faire appel à d'autres notions, telle que l'accessibilité, comme nous le montrons dans cet article.

La première partie présente le District Métropolitain de Quito, où notre recherche a été menée, puis le programme dans lequel elle s'est insérée. Nous verrons notamment en fonction de quels critères notre échelle d'étude a été choisie et en quoi elle est pertinente pour la prévention et la gestion des risques. Nous verrons également dans quelle mesure le fait d'avoir mené cette recherche avec un organisme opérationnel chargé de la gestion et de l'aménagement d'un territoire a influencé notre démarche et la structuration de la base de données associée dans le SIG. La deuxième partie présente la méthode mise au point pour évaluer et

cartographier la vulnérabilité du réseau routier intégrant à la fois ses fragilités et ses forces. La troisième partie développe l'articulation entre la vulnérabilité d'un réseau routier et la notion d'accessibilité. Nous y présentons la méthode mise au point pour mesurer et cartographier l'altération de l'accessibilité des différents secteurs du DMQ. Dans la quatrième partie, nous évaluons, dans le cadre d'un scénario, les risques encourus par la population et les risques liés aux dysfonctionnements d'installations urbaines retenues comme enjeux à l'échelle du DMQ, en cas de réduction d'accessibilité de certains secteurs. La cinquième partie propose une cartographie des « échelles de risque » illustrant les incidences territoriales qui pourraient s'observer en cas de dysfonctionnement des installations urbaines identifiées comme enjeux pour le DMQ et au cas où il serait impossible d'accéder à ces dernières.

## **1. Le District Métropolitain de Quito : présentation du terrain d'étude et du programme de recherche**

### **1.1. Le District Métropolitain de Quito : une agglomération andine exposée à de multiples aléas**

Le District Métropolitain de Quito (entité politico-administrative municipale englobant la ville de Quito, son agglomération et des espaces ruraux périphériques) se situe dans la partie Nord des Andes équatoriennes (fig. 1). Au dernier recensement en 2001, le DMQ comptait 1,8 million d'habitants (soit 15 % de la population nationale) établis sur une superficie de 4 350 km<sup>2</sup>. Pour sa part, la ville de Quito *stricto sensu* (fig. 2), juchée à 2 800 m d'altitude en moyenne, rassemblait environ 1,5 million d'habitants répartis sur 200 km<sup>2</sup>.

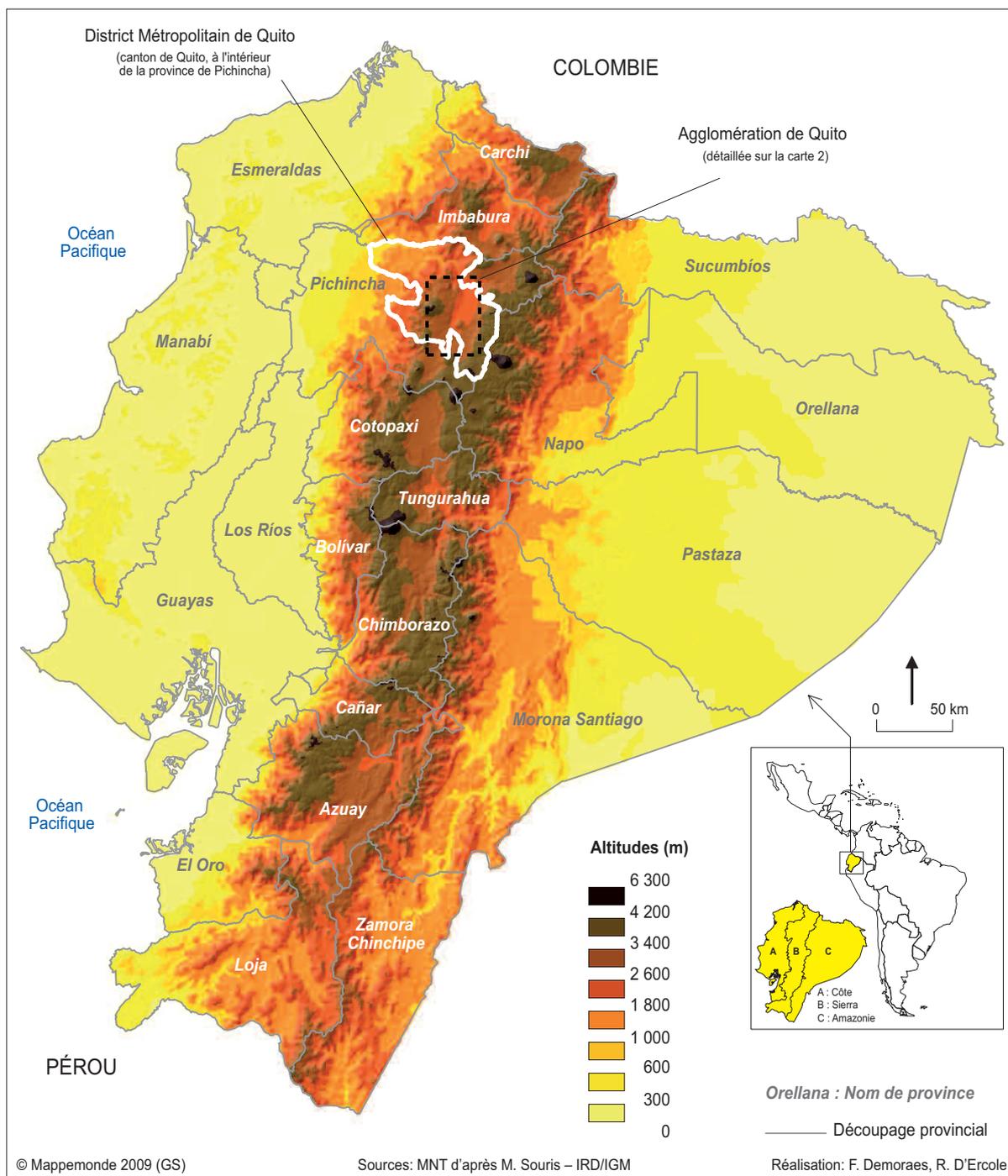
De nombreux phénomènes viennent régulièrement perturber le fonctionnement du DMQ. Par exemple, en 1999, une série de grèves générales, ayant paralysé le pays pendant plusieurs semaines et perturbé durement la mobilité dans les villes, se sont produites pour protester contre la fermeture des établissements bancaires (2) et contre l'augmentation du prix des combustibles. Plus récemment, en avril 2005, une série de manifestations ayant abouti à la destitution du président, accusé de corruption et d'abus de pouvoir, avait entraîné un blocage de la capitale pendant plusieurs jours.

Non moins fréquents, les aléas d'origine naturelle contribuent également à entraver le déroulement habituel des activités et les communications dans le DMQ. Certains aléas 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, fortes pentes) (3). Des études montrent que 15 % de la superficie de la ville *stricto sensu* sont exposés à des inondations et/ou des coulées boueuses (Peltre, 1989) et que 30 % des sols en ville sont considérés comme étant liquéfiables en cas de séisme (EPN *et al.*, 1995).

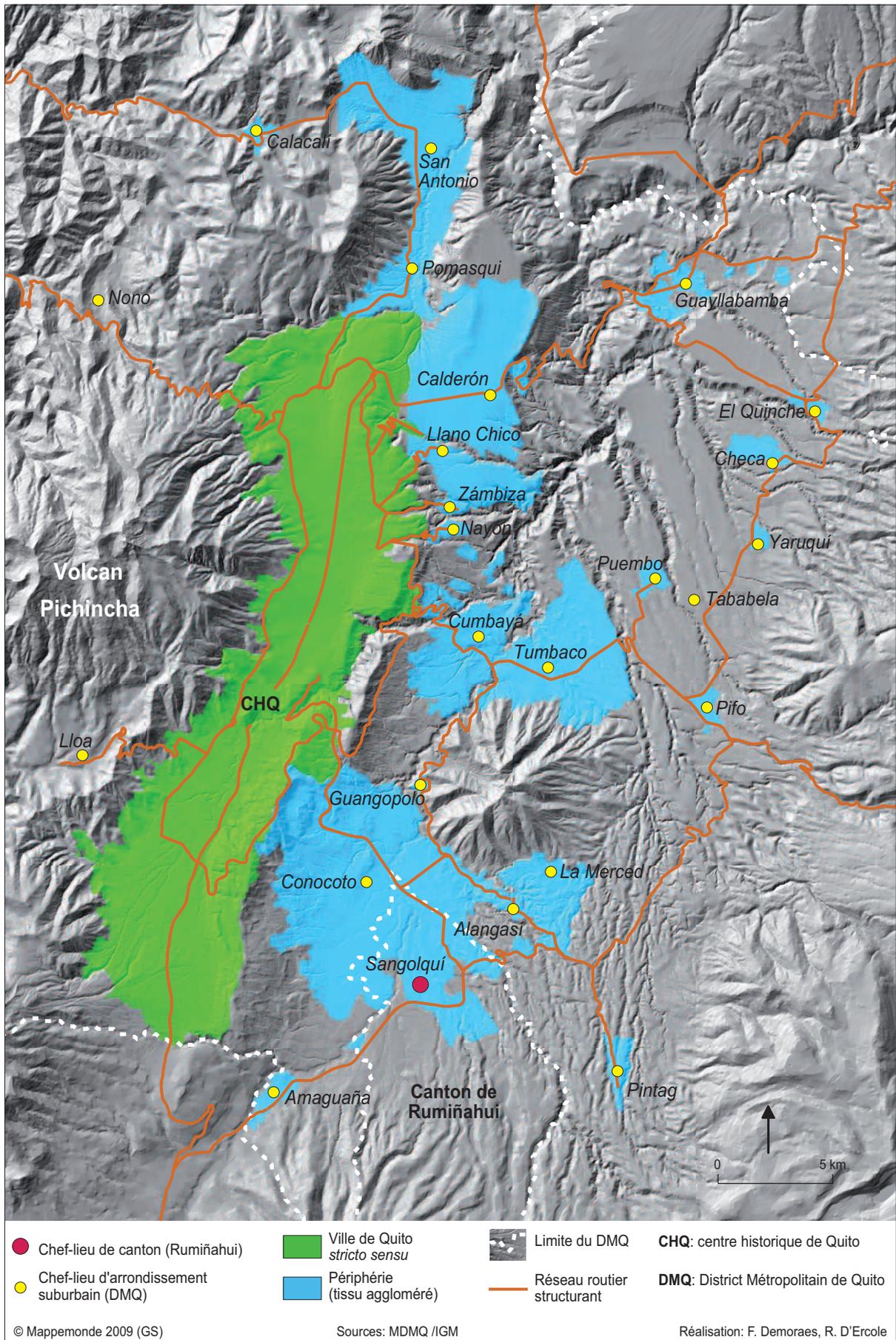
D'autres aléas, en particulier les éruptions volcaniques et les séismes, sont quant à eux susceptibles d'affecter des espaces beaucoup plus vastes. Plusieurs explosions du volcan *Pichincha* (fig. 2) ont eu lieu en octobre 1999 au cours desquelles des cendres se sont déposées sur la ville, heureusement en quantité réduite (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 (4) 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).



## 1. Découpage provincial et étagement altitudinal de l'Équateur



## 2. Agglomération de Quito (repères toponymiques et relief)

Si l'on compare la situation de Quito à celle d'autres capitales latino-américaines, telles que Mexico, Lima ou Buenos Aires, on s'aperçoit que les problèmes pour ces dernières relèvent plutôt de leur gigantisme (pollutions, embouteillages) et que la variété des aléas naturels y est globalement moindre (avec essentiellement l'aléa sismique pour les deux premières, et des inondations pour la dernière). Parmi les capitales andines, celle qui ressemble peut-être le plus à Quito au regard de sa taille, de son site, et de son exposition aux phénomènes d'origine naturelle, est l'agglomération de La Paz dans laquelle siège le gouvernement bolivien. En effet, on y recense également des glissements de terrain, des inondations, des coulées boueuses, des affaissements de sol et des séismes modérés. L'un des autres points communs entre La Paz et Quito est la relative facilité avec laquelle l'interruption de la mobilité peut perturber le fonctionnement de la ville. La population utilise fréquemment cette arme en guise de protestation contre les mesures gouvernementales ou municipales impopulaires. À la différence du DMQ, l'agglomération bolivienne est divisée en deux municipalités (La Paz et El Alto) aux intérêts divergents, ce qui empêche une gestion uniformisée de la mobilité et rend vaine toute politique de prévention des risques à l'échelle métropolitaine (Hardy, 2009).

## **1.2. Le District Métropolitain de Quito : une juridiction correspondant à une seule municipalité dotée de compétences en matière de prévention et de gestion des risques**

Au regard des agglomérations susmentionnées, ou d'autres encore telle que Santiago du Chili dont l'agglomération s'étale sur 42 communes (Dureau *et al.*, 2000), la situation de l'agglomération de Quito est assez exceptionnelle dans la mesure où elle n'est gérée que par une seule municipalité (5) et ce depuis 1993, date à laquelle a été créé le District Métropolitain de Quito. Ses compétences initiales (aménagement du territoire, organisation des transports) ont été progressivement renforcées, notamment dans le domaine de la prévention et gestion des risques (6), suite au réveil du volcan *Pichincha* en 1998. Auparavant, cette compétence relevait du gouvernement et les interventions sur le terrain revenaient à la Défense Civile. De cette nouvelle attribution a découlé, tout d'abord, la création d'une unité spéciale de gestion des risques rattachée à la Direction Métropolitaine du Territoire et du Logement (7) de la Municipalité du DMQ. Par la suite, en 2002, a été créée la Direction Métropolitaine de Sécurité des Citoyens (8) de la Municipalité du DMQ, cette dernière intervenant d'ailleurs sur un spectre plus large que la simple protection des citoyens contre les aléas d'origine naturelle (incendies, délinquance, etc.).

Face aux problèmes posés par la multiplicité des aléas en présence dans le DMQ et compte tenu de cette nouvelle compétence acquise par la mairie, une collaboration est née entre la Direction Métropolitaine du Territoire et du Logement de la Municipalité de Quito (DMTV) et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

## **1.3. Le programme « Système d'information et risques dans le DMQ » : une recherche à l'échelle du DMQ ciblée sur les enjeux territoriaux**

Ce programme (9), dans lequel s'inscrit la recherche doctorale en partie exposée dans le présent article, a été mis en place en 1999 et s'est achevé en 2004. Il poursuivait 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 dans le cadre d'une politique de prévention des risques et d'actions à mener en période de crise.
- 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, alimentée depuis la fin des années 1980 par le Service Municipal d'Études Métropolitaines en collaboration avec l'ORSTOM (actuel IRD). Cette base, administrée à l'aide de SavGIS, logiciel SIG gratuit développé par Marc Souris, chercheur à l'IRD (10), avait initialement été mise en place pour la planification et la gestion urbaine quotidienne. Outre un profond travail d'actualisation des données existantes, notamment pour couvrir non plus seulement la ville, mais bien l'ensemble du DMQ, la base a été enrichie tout au long des cinq années du programme (11), dans de nombreux domaines, en particulier dans celui de la mobilité.

Ce partenariat avec un organisme opérationnel a directement influencé la démarche globale du programme et en conséquence la structuration de la base de données. L'optique était de convertir la base de données initiale en un outil d'aide à la décision pour la planification préventive et la gestion des crises, et ce à l'échelle du DMQ. Comment avons-nous procédé ? Quelle démarche avons-nous adoptée ? En quoi est-elle différente des études de risque classique ? Quelles ont été les grandes étapes de l'analyse ?

La philosophie générale du programme (12) a été de considérer que pour prévenir le risque de façon efficace, au plus faible coût et le plus rapidement possible — en particulier dans les villes, 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, de se focaliser d'abord sur les enjeux de la société dans la mesure où leur détérioration ou perte constituerait un lourd handicap pour le territoire urbain (D'Ercole, Metzger, 2004). Ainsi, l'accent 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. Cette approche est apparue d'autant plus adaptée que les enjeux territoriaux considérés correspondent à des éléments sur lesquels les gestionnaires municipaux ont directement prise et sur lesquels des actions ciblées de réduction de vulnérabilité peuvent être menées, même indépendamment de leur exposition aux aléas.

En ce qui concerne la question de la mobilité, cette approche a supposé une analyse en quatre étapes. La première a été d'identifier et de localiser les infrastructures-clés sur lesquelles repose la mobilité quotidienne des personnes. Cette question a impliqué une analyse préalable des déplacements quotidiens et du système de transport. La deuxième étape a été d'identifier les vulnérabilités de ces infrastructures-clés, vulnérabilités qui les prédisposent aux endommagements, aux défaillances. La troisième étape a été de comprendre les risques encourus par le district compte tenu de la réduction possible de l'accessibilité des différents espaces métropolitains attribuable à la perte d'opérationnalité des infrastructures-clés des réseaux routier et de transport. Enfin, dans la dernière étape, différents scénarii ont

été envisagés mettant en perspective les répercussions spatiales prévisibles à l'échelle du district.

À chaque étape de la recherche, un travail de recueil de données auprès de divers services municipaux et d'organismes publics ou para-publics, a été nécessaire. L'accès aux données a été relativement aisé dans la mesure où il existe à Quito une certaine culture du partage des données, notamment entre services municipaux dans le cadre de conventions. En complément, un travail de collecte sur le terrain a parfois été mené par nous-mêmes (recensement des caractéristiques de construction des ouvrages d'art routiers, par exemple).

Dans ce contexte, nous proposons ci-après de détailler les méthodes utilisées pour construire notre analyse à chaque étape. Nous montrons en particulier l'intérêt de recourir à la notion d'accessibilité pour évaluer les risques encourus par un territoire, mais, avant d'aller plus loin, il convient de répondre aux questions suivantes : de quelle accessibilité parle-t-on ? Comment l'évaluer ? Quels sont les facteurs susceptibles de l'altérer ? Comment mesurer les réductions possibles de l'accessibilité ?

## **2. Une analyse fondée en premier lieu sur l'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures-clés du réseau routier**

Dans cette étude, l'accessibilité a été considérée dans sa plus simple expression, c'est-à-dire comme le degré de facilité avec lequel on atteint un lieu. Dans une analyse de risque, cette information est d'une extrême importance car elle permet de détecter les lieux difficilement joignables ou susceptibles de se retrouver isolés, ce qui peut poser problème pour l'acheminement des secours et l'évacuation des victimes en période de crise et, de manière générale, pour le fonctionnement du territoire.

Pour évaluer les réductions prévisibles d'accessibilité, nous nous sommes attachés à analyser les pertes d'opérationnalité que pourrait connaître le réseau routier, en particulier les axes et infrastructures considérés comme enjeux à l'échelle du territoire métropolitain (13). Pour ce faire, nous avons mis au point une méthode idoine en partie inspirée d'études préalables (Iida, 1999 ; Appert, Chapelon, 2001, 2003 ; CERTU, 2002 ; Berdica, 2002). Ceci dit, ces études mettent avant tout l'accent sur les outils et/ou indicateurs permettant de mesurer la vulnérabilité des réseaux de transport, mais ne s'attachent pas directement à évaluer les conséquences d'une réduction de l'intégrité des réseaux sur l'accessibilité des lieux, comme nous le proposons dans cet article. Ainsi, nous avons considéré six formes de vulnérabilité reflétant à la fois les faiblesses des pièces maîtresses du réseau routier, mais aussi leurs forces, ces dernières permettant de contrebalancer les premières (14). Les six formes sont décrites ci-après :

- la vulnérabilité intrinsèque

Cette entrée englobe l'analyse des faiblesses internes, les fragilités propres, les faiblesses structurelles et structurales de l'élément étudié (par exemple, la sinuosité d'une route, sa pente, l'état d'une infrastructure...).

- la dépendance

À travers cette entrée, sont analysées les relations de dépendance d'un élément d'un réseau vis-à-vis d'autres systèmes, relations qui sont nécessaires à son fonctionnement (par exemple, l'électricité pour un réseau ferroviaire ou pour le fonctionnement des systèmes de ventilation et d'éclairage dans les tunnels...).

- **l'exposition aux aléas et les pertes possibles d'opérationnalité**  
Sont considérés avec cette entrée, les différents types d'aléas d'origine naturelle (glissements de terrain, inondations, lahars, séismes...) et de perturbations (blocages liés à des manifestations, accidents routiers, coupures électriques...) auxquels sont exposés les axes de communication à Quito, et les dommages ou dysfonctionnements associés prévisibles.
- **la capacité de contrôle**  
Dans cette entrée, on se pose la question de savoir s'il est facile ou non d'intervenir au niveau d'une infrastructure ou d'une partie d'un réseau, directement ou à distance, en cas de problème (par exemple, l'existence de systèmes vidéo pour la surveillance routière, la proximité de centres techniques rapidement mobilisables, le degré d'accessibilité d'un équipement, le niveau de sécurisation d'un axe...).
- **les alternatives de fonctionnement**  
Il s'agit dans cette section de réfléchir sur les possibilités de remplacement, de substitution d'un élément (pont, gare, tunnel...) remplissant une fonction donnée, en cas de défaillance (existence d'itinéraires *bis*, de voies de délestage, de générateurs pour pallier les coupures électriques...).
- **la préparation aux crises**  
Correspond aux mesures préventives, aux diverses formes de préparation, à l'existence de plans prévus par les gestionnaires pour faire face aux perturbations dans les transports.

Chacune des six formes repose sur l'analyse de différents indicateurs (15) auxquels sont affectés des scores qui sont additionnés puis classés permettant ainsi d'évaluer le degré moyen de fragilité des infrastructures-clés. Les six degrés sont à leur tour additionnés puis classés pour obtenir des degrés synthétiques de vulnérabilité pour chaque infrastructure-clé (16). Les degrés s'échelonnent de 0 (vulnérabilité nulle) à 5 (vulnérabilité très forte).

La lecture croisée des six formes de vulnérabilités a permis par la suite de mettre en exergue les éléments-clés du réseau routier qui sont globalement les plus vulnérables. Ceci est le cas lorsque les vulnérabilités sont fortes et faiblement compensées. Ces éléments-clés atteignent les degrés synthétiques de vulnérabilité 4 ou 5 (fig. 3). En d'autres termes, ce sont ces infrastructures-clés qui sont les plus susceptibles de ne plus fonctionner ou de ne plus assurer leur rôle et d'altérer gravement l'accessibilité des lieux.

Connaissant les infrastructures-clés les plus vulnérables du réseau routier, nous avons pu ensuite estimer l'incidence d'une perte de leur opérationnalité sur l'accessibilité des différents secteurs du DMQ. Plusieurs questions se posent. De quels secteurs parle-t-on ici? S'agit-il de zones administratives? Comment évaluer la réduction possible de l'accessibilité desdits secteurs?

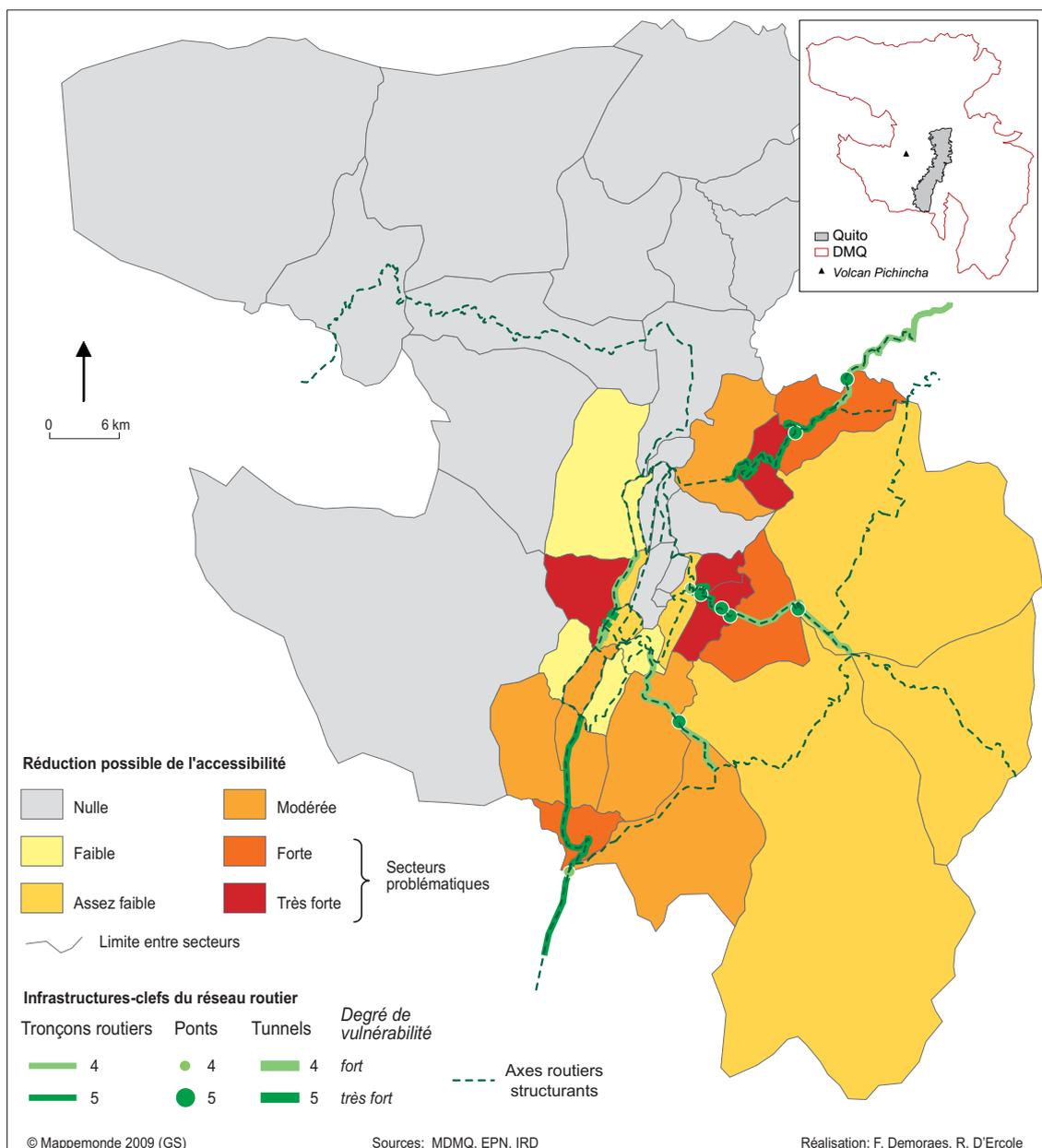
### **3. De la vulnérabilité des infrastructures-clés du réseau routier à la vulnérabilité de l'accessibilité des lieux**

Nous avons d'abord repris le découpage administratif existant à savoir les arrondissements (17), puis essayé de mesurer les altérations possibles de leur accessibilité. Ceci dit, ce découpage avant tout basé sur des caractéristiques historiques, architecturales et socio-économiques s'est révélé inadapté par rapport à notre objectif. En effet, pour mettre en exergue des problèmes d'accessibilité, il fallait plutôt s'appuyer sur des secteurs peu ou mal connectés entre eux et regarder le degré de vulnérabilité des infrastructures-clés du réseau routier se trouvant au niveau des limites entre secteurs. C'est ainsi que nous avons défini des secteurs que l'on pourrait qualifier de « bassins routiers » (18). Ces derniers ont été délimités en fonction de l'armature du réseau routier structurant et principal, en partie conditionnée

par les discontinuités et barrières de l'espace métropolitain (elles-mêmes calquées sur la topographie, l'hydrographie et sur certains aménagements urbains) (19). Une fois délimités ces secteurs, la réduction possible de leur accessibilité a été évaluée en considérant les deux critères suivants :

- le nombre d'accès principaux susceptibles de se retrouver inopérants par rapport au nombre total d'accès principaux,
- le nombre d'accès secondaires susceptibles de rester ouverts à la circulation.

Cette approche permet de déceler les possibilités d'isolement au moins partiel de certains secteurs vis-à-vis des secteurs limitrophes. Les possibilités qu'ont les zones de voir leur accessibilité réduite sont d'autant plus élevées que le nombre de voies permettant d'y accéder est restreint et que ces voies sont vulnérables (degrés 4 ou 5). Au final, six secteurs se trouvent dans une situation particulièrement problématique avec des niveaux prévisibles de réduction d'accessibilité fort et très fort (fig. 3).



### 3. Réduction possible de l'accessibilité des secteurs en cas de perte d'opérationnalité des éléments-clés les plus vulnérables du réseau routier

#### **4. Vulnérabilité de l'accessibilité des lieux, répartition de la population et localisation des installations urbaines enjeux : un premier éclairage sur les risques encourus**

Connaissant les six secteurs dont l'accessibilité est la plus susceptible d'être compromise, la dernière étape a été de réfléchir sur les risques qui en découlent pour le DMQ dans son ensemble. Deux cas de figure ont été envisagés en suivant une approche spatiale :

- Les risques encourus compte tenu de la vulnérabilité des populations attribuable à la faible présence d'enjeux vitaux de proximité dans les six secteurs susceptibles de voir leur accessibilité très fortement compromise.
- Les risques encourus compte tenu de la localisation d'enjeux majeurs pour le fonctionnement du district dans ces six mêmes secteurs.

##### **4.1. Isolement, enjeux vitaux de proximité et risques dans le DMQ**

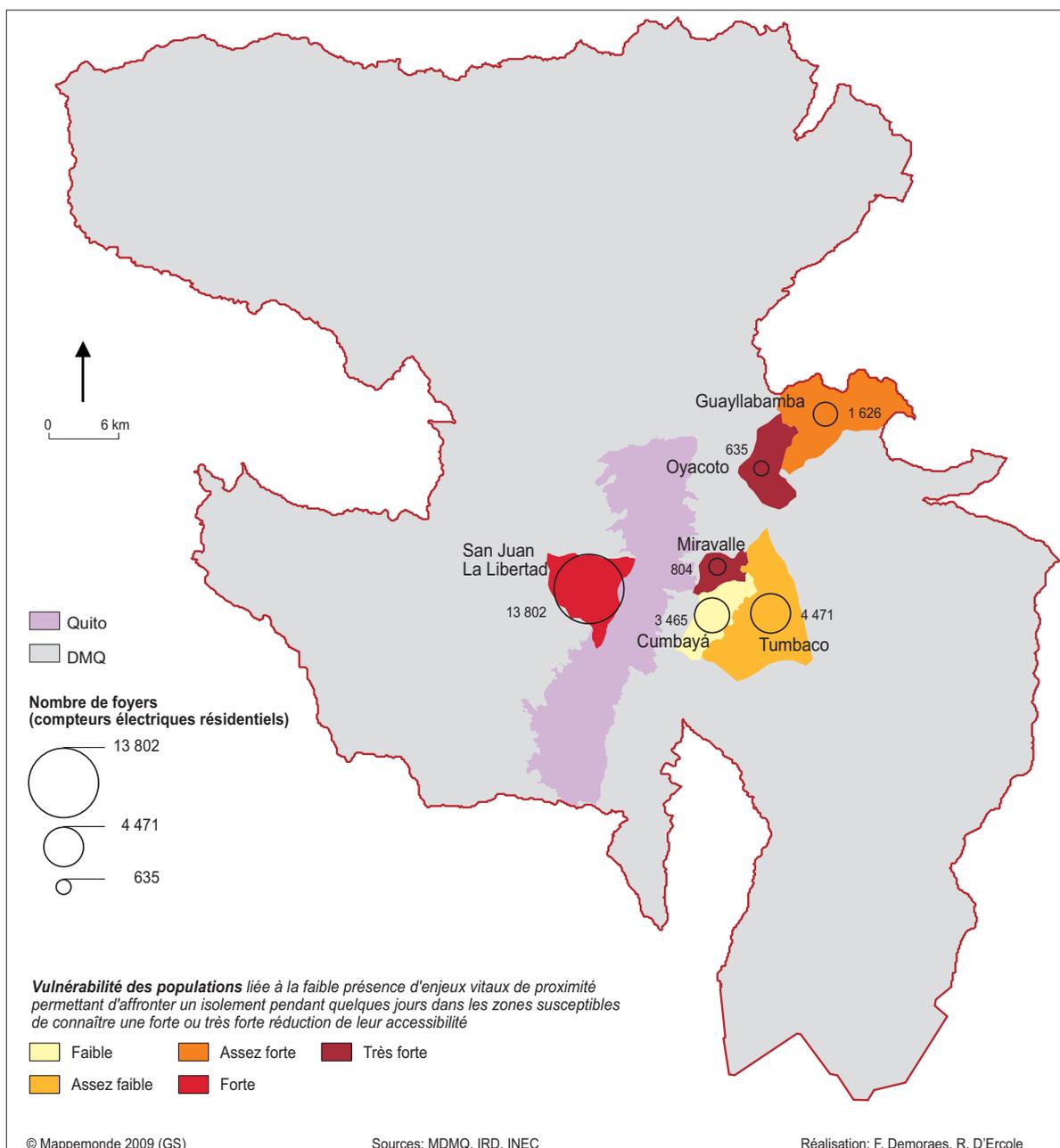
En cas de survenue d'un phénomène (séisme, lahar..) pouvant entraîner des victimes, des dommages au bâti et des dysfonctionnements dans les réseaux urbains (comme celui de l'eau), alors certains secteurs se trouveraient en situation défavorable voire très défavorable. En effet, leur accessibilité pourrait être fortement altérée (rendant très difficile l'accès des secours) ce qui serait problématique en particulier pour les secteurs peu pourvus en enjeux vitaux de proximité. Les enjeux vitaux de proximité renvoient à des installations et équipements assurant un rôle essentiel pour affronter localement une crise durant les premières heures, voire les premiers jours suivant l'impact (voir liste ci-après). Nous avons donc quantifié la présence d'enjeux vitaux de proximité dans les six secteurs susceptibles de voir leur accessibilité très fortement compromise. Huit enjeux vitaux de proximité ont été retenus. Ils ont été classés en quatre groupes :

1. disponibilité en eau
  - capacité des réservoirs d'eau (en m<sup>3</sup>)
  - existence d'eau de puits (litre/seconde)
2. disponibilité en nourriture
  - nombre de points de vente d'aliments
  - nombre de lieux de stockage d'aliments
3. présence de capacités médicales
  - nombre de centres médicaux
  - nombre de lits d'hospitalisation
4. possibilité de prise en charge des sinistrés
  - nombre d'ambulances
  - nombre de refuges

Pour mesurer la disponibilité en enjeux vitaux de proximité dans chaque secteur, nous avons calculé tout d'abord leur nombre sur l'ensemble de l'agglomération puis nous l'avons rapporté au nombre total de ménages afin d'obtenir une disponibilité moyenne. Ensuite, nous avons calculé le nombre d'enjeux vitaux de proximité également rapporté aux foyers, dans chaque secteur. Les valeurs des zones ont ensuite été comparées à la moyenne de l'agglomération. Quand la disponibilité est inférieure à celle observée sur l'ensemble de l'agglomération, la valeur « -1 » a été attribuée au secteur. Lorsque la disponibilité est comparable à la moyenne de l'agglomération, la

valeur « 0 » a été octroyée. Enfin lorsque la disponibilité est supérieure à la moyenne de l'agglomération, la valeur « 1 » a été donnée. Ces valeurs ont ensuite été additionnées puis classées et une carte de la vulnérabilité des populations dans les secteurs susceptibles de se retrouver isolés a été réalisée (fig. 4).

La vulnérabilité des populations attribuable à la faible présence d'enjeux vitaux de proximité est très inégale entre les six secteurs susceptibles de se retrouver isolés. Les secteurs de Tumbaco et Cumbayá sont les mieux équipés pour affronter un isolement. En effet, ces deux centralités suburbaines ont des ressources en eau comparativement assez abondantes et disposent de nombreux points de vente d'aliments. Une clinique se trouve également à Cumbayá. À l'opposé, Miravalle, Oyacoto et San Juan se trouvent les plus démunis en capacités locales.



#### 4. Vulnérabilité des populations compte tenu de la faible présence d'enjeux vitaux de proximité (eau, nourriture, soins, prise en charge des sinistrés) dans les six secteurs susceptibles de se retrouver isolés

Plus de 6 % des 397 000 foyers recensés dans l'agglomération se trouvent dans les six secteurs susceptibles de se retrouver isolés. Ces 25 000 foyers sont, pour plus de 70 % d'entre eux, au moins assez fortement vulnérables du fait des carences dans leur zone de résidence en enjeux vitaux de proximité. Les risques envisageables sont de plusieurs ordres pour ces populations. L'isolement, dès lors qu'il se prolonge au-delà de deux ou trois jours, peut être associé à des pénuries en particulier d'eau et de médicaments et le risque de voir se développer des épidémies et une surmortalité n'est pas à écarter. Les zones d'Oyacoto et de Miravalle ne disposent pas de centres médicaux ni d'ambulances et la disponibilité en eau est très réduite dans le premier secteur particulièrement aride (il y tombe moins de 450 mm d'eau par an). En cas de défaillance du système d'adduction d'eau, les populations pourraient utiliser l'eau stockée dans les réservoirs dont la capacité s'élève à près de 20 000 m<sup>3</sup> dans les six zones. Oyacoto et Guayllabamba avec moins de 100 m<sup>3</sup> chacune sont les plus mal loties, d'autant qu'elles ne possèdent pas non plus de captages d'eau alternatifs.

Sur les 80 ambulances que compte l'agglomération, les six zones étudiées n'en détiennent qu'une seule stationnée à Tumbaco. Sur les neuf casernes de pompiers répertoriées dans le district aucune ne se situe dans les six zones. Ceci laisse présager des risques pour la prise en charge des blessés, d'autant que les taux de motorisation des ménages y sont particulièrement bas. Dans les zones de Guayllabamba, Oyacoto et San Juan, plus des deux tiers des ménages n'ont pas de véhicule personnel. Les deux dernières zones sont de surcroît difficilement accessibles en temps habituel en raison d'une topographie accidentée et du faible nombre d'accès. L'acheminement des blessés vers des structures médicales tout comme l'accès des secours peu présents localement peuvent donc y être très problématiques et contribuer à une augmentation des décès prématurés.

En dehors de ces aspects négatifs immédiats lors d'une crise, des risques existent également à moyen terme. En effet, le risque de rupture d'accessibilité peut avoir des impacts sur le prix du foncier dans les zones en question : la prise de conscience de ne plus pouvoir accéder à un secteur contribue à ternir son image, et peut aboutir à son délaissement de la part des investisseurs. Ce risque n'est pas négligeable en particulier dans la vallée de Tumbaco et Cumbayá qui comporte des secteurs économiques en développement et un foncier particulièrement onéreux comparable à celui de l'espace central de Quito.

La perte d'accessibilité d'un lieu laisse présager des risques pour les populations locales compte tenu de leur incapacité à affronter une crise imputable à un manque d'enjeux vitaux de proximité et laisse entrevoir des risques immédiats à moyen terme. Cette perte d'accessibilité peut aussi pénaliser certains enjeux majeurs pour le fonctionnement du district, comme nous l'analysons ci-après.

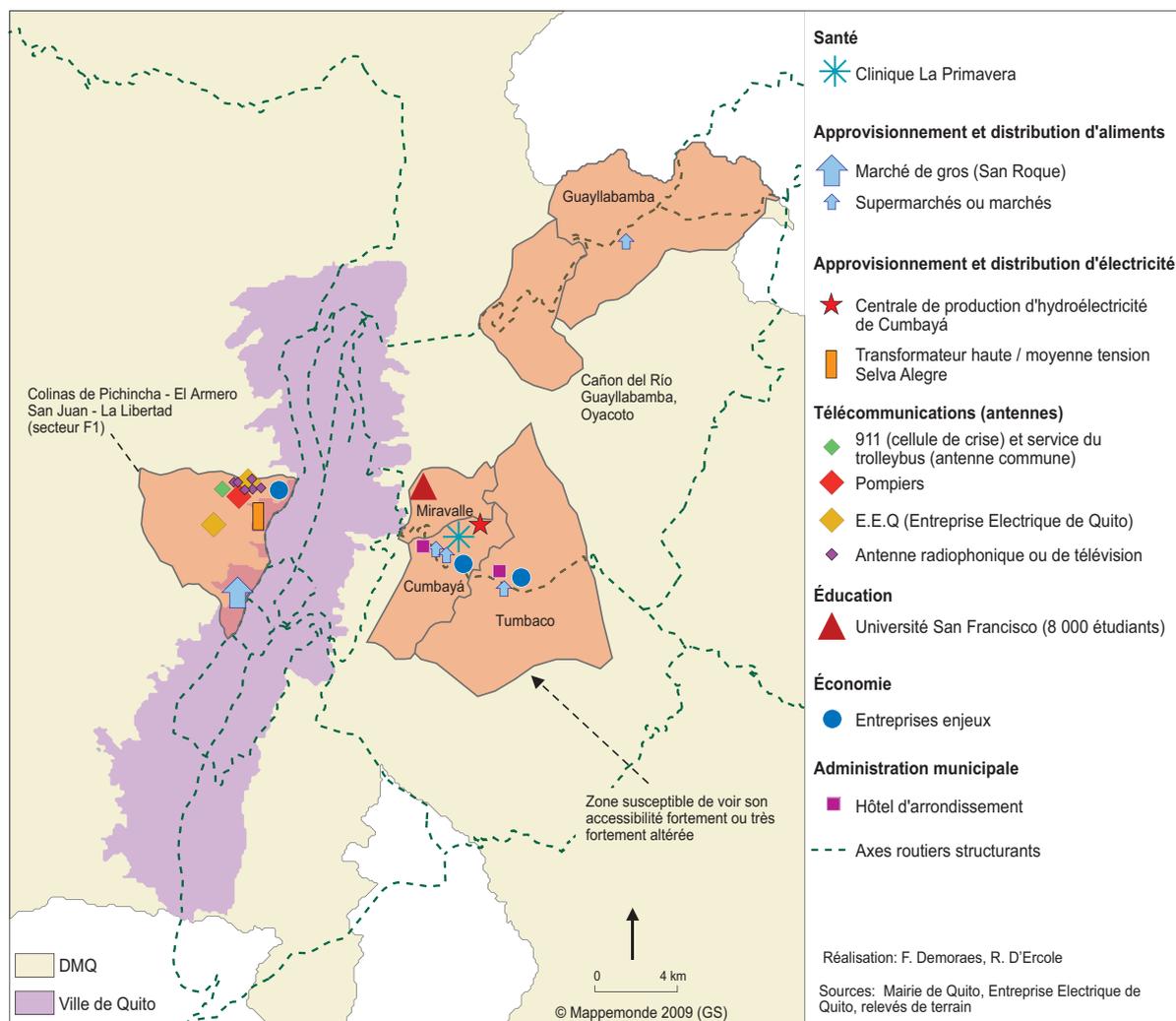
#### **4.2. Isolement, enjeux majeurs du fonctionnement urbain et risques dans le DMQ**

Dans cette partie, nous avons considéré la répartition spatiale des installations urbaines essentielles pour le fonctionnement et pour la gestion de crise à l'échelle du DMQ, ces dernières ayant été identifiées par les autres membres de l'équipe de recherche. En particulier, nous avons cherché à savoir si certaines d'entre elles sont situées dans les six secteurs précédents. La [figure 5](#) est issue de cette confrontation et constitue une base de réflexion pour l'évaluation des risques associés. Plusieurs scénarii ont été envisagés. Nous présentons ici les risques prévisibles liés à l'impos-

sibilité simultanée d'accéder aux six secteurs. Ce cas de figure relève d'une situation exceptionnelle, qui ne s'est encore heureusement 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 certains secteurs laisse entrevoir toute une série de dysfonctionnements. Par exemple, si l'on considère les points de vente d'aliments, organisés en flux tendus notamment pour les denrées périssables, une réduction de leur accessibilité, ne serait-ce que pendant un à deux jours, entraînerait immédiatement des problèmes d'approvisionnement. Ce risque est réel à Quito, car cinq centres principaux de distribution, dont le marché de gros San Roque, se trouvent dans quatre des six secteurs dont l'accessibilité est la plus compromise.

Par ailleurs, si les problèmes d'accessibilité étaient amenés à durer plus de quelques jours, ils pourraient affecter durement l'économie du district, et ce à plus long terme, compte tenu des difficultés auxquelles seraient confrontées les entreprises, en particulier celles dont le domaine d'activité contribue au développement du district (commerce, construction, services aux entreprises, floriculture, industries...). D'une manière générale, pour une entreprise, le fait de voir son accessibilité remise en cause lui porte préjudice. En effet, ses employés pourraient éprouver des difficultés à



## 5. Localisation d'installations urbaines stratégiques pour le DMQ dans les secteurs susceptibles de connaître une forte ou très forte réduction de leur accessibilité

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, voire une perte de compétitivité si le phénomène se prolonge. À l'issue de l'analyse, on observe que de nombreuses entreprises regroupant près de 5 000 emplois sont recensées dans les six secteurs.

En fonction du scénario considéré (séisme, chute de cendre, lahar), ce n'est pas seulement l'accessibilité des installations urbaines stratégiques qui pourrait être altérée. Certains phénomènes pourraient également engendrer des dommages aux installations urbaines. Dans ce cas, leur accès serait d'autant plus crucial qu'il faudrait procéder à des réparations afin de réamorcer des systèmes ou maintenir des services, et ce dans les plus brefs délais. 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 (fig. 5). 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 Électrique de Quito (EEQ) et l'Unité du Trolleybus (UOST). L'endommagement des antennes, difficilement réparable en raison de leur faible accessibilité, pourrait entraîner des dysfonctionnements significatifs et immédiats dans le système de télécommunications. Ceci pourrait entraîner de graves conséquences pour l'organisation des secours, mais aussi pour le maintien de certains services. De son côté, l'entreprise d'électricité avec deux antennes dans le secteur F1 à l'ouest de la ville (fig. 5), pourrait éprouver des difficultés à coordonner les interventions de ses équipes de techniciens sur le terrain. Quant à l'UOST, elle pourrait également rencontrer des problèmes pour maintenir le service du trolley fonctionnant sous radio-contrôle. Enfin, 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.

## ***5. Représentation cartographique des échelles de risques liés aux réductions prévisibles de l'accessibilité des lieux : un support supplémentaire pour la prise de décision***

La confrontation préalable des niveaux de réduction possible d'accessibilité des zones avec, d'une part la distribution de la population et, d'autre part la localisation des installations urbaines stratégiques, permet de repérer les configurations à risque et de pressentir les dysfonctionnements prévisibles. Si ces connaissances représentent en soi une première base de réflexion pour orienter la réduction des risques, il est possible d'aller plus loin et de classer l'ampleur des dysfonctionnements associés à chaque installation urbaine considérée comme enjeux. Là encore, afin d'affiner la prise de décision, l'ampleur de ces dysfonctionnements peut être représentée de façon hiérarchisée sur une carte de manière simple. Nous expliquons ci-après la méthode employée.

De manière générale, toutes les installations urbaines considérées comme enjeux sur un territoire n'ont pas la même échelle d'influence. Certaines assurent une fonction sur l'ensemble d'une région métropolitaine ou d'une agglomération, d'autres ont un rayonnement beaucoup plus localisé. Par exemple, certains centres

hospitaliers spécialisés ont une zone d'influence très vaste, alors qu'un dispensaire n'assure un rôle que sur le voisinage proche. Dans le même ordre d'idées, certaines infrastructures (télécommunications, électricité) assurent une couverture très hétérogène qui peut aller du quartier à un arrondissement et jusqu'à une ville toute entière. L'attractivité d'une université dépasse bien souvent l'échelle de la ville et l'aire de chalandise de certains commerces est également fort variable. Plus le service ou le produit proposé est rare, plus l'aire de chalandise s'étend. La réduction de l'accessibilité des zones dans lesquelles se trouvent des installations urbaines considérées comme enjeux peut directement les pénaliser et entraîner des impacts à des échelles distinctes.

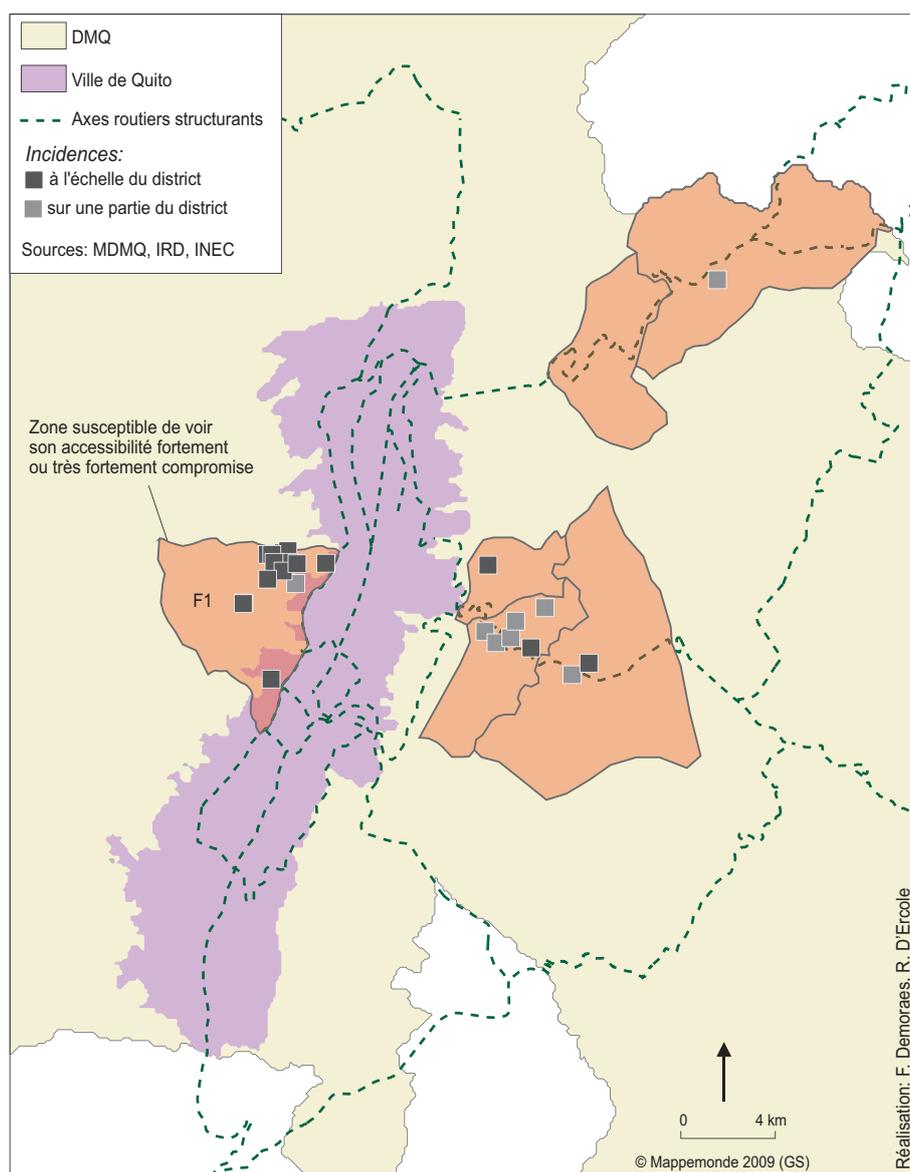
Dans notre exemple, nous avons retenu simplement deux échelles de répercussions pressenties (échelle de risque) pour chaque installation urbaine retenue comme enjeux (fig. 6). Ces répercussions ont été définies suivant la place occupée par chaque installation urbaine, à partir de son champ d'action, de sa couverture ou de son attractivité en temps habituel. Dans la mesure où il était impossible de circonscrire avec précision l'étendue de ces répercussions (mesure subjective, qualitative), lesquelles auraient d'ailleurs été difficiles à cartographier compte tenu de leur enchevêtrement, nous avons opté pour une représentation simple consistant à choisir deux symboles à l'endroit de chaque installation urbaine, différenciés selon l'échelle de risque.

Ainsi, le dysfonctionnement ou l'impossibilité d'accéder aux installations retenues comme enjeux et recensées dans les zones dont l'accessibilité peut poser le plus de problèmes, aurait dans plus des deux tiers des cas une incidence spatiale sur l'ensemble du district et ceci est d'autant plus marqué dans la zone F1 à l'ouest de la ville (fig. 6). Au final, cette analyse permet d'observer que le risque d'isolement d'un nombre restreint de zones (6 sur 44, soit moins de 5% de la superficie du district) laisse présager des conséquences pouvant toucher l'ensemble du district dans de nombreux domaines.

## **Conclusion**

L'objectif de cet article a été de présenter une série de cartes dont la lecture permet de comprendre progressivement les risques auxquels est confrontée l'agglomération de Quito. Si les cartes produites permettent dans un premier temps de mettre en exergue de manière globale les configurations à risque et de pressentir les dysfonctionnements prévisibles, elles permettent aussi de repérer précisément les enjeux les plus vulnérables et les enjeux dont la défaillance aurait une incidence spatiale très étendue. C'est sur ce nombre restreint d'enjeux qu'il conviendrait d'intervenir en priorité.

Plusieurs mesures concrètes entrant dans les champs de compétences de la municipalité de Quito, pourraient être envisagées dans une perspective de planification urbaine préventive et de réduction des risques. Par exemple, des investissements ciblés dans le domaine de la voirie permettraient d'améliorer l'accessibilité des quelques secteurs comportant des installations urbaines stratégiques les plus exposées à l'isolement. Dans le même ordre d'idées, la relocalisation de certaines installations urbaines stratégiques dans des secteurs ayant moins de risque de se retrouver isolés, ou la déconcentration spatiale des



**6. Échelles de risques : incidences pressenties du dysfonctionnement des installations urbaines enjeux localisées dans les secteurs susceptibles de connaître une forte ou très forte réduction de leur accessibilité**

antennes permettraient au district d'affronter plus efficacement une crise. Enfin, il pourrait être prévu de rendre obligatoire la construction de plusieurs voies d'accès pour les nouvelles extensions urbaines périphériques.

Cette méthode d'analyse conçue de façon à être reproductible, a été appliquée moyennant adaptation, à l'agglomération de La Paz en Bolivie dans le cadre du programme PACIVUR (20) (Núñez, Demoraes, article à paraître) (21). Comme à Quito, cette analyse montre que des axes de première importance à l'échelle de cette agglomération sont hautement vulnérables, ce qui rend problématique l'accessibilité de certains secteurs, notamment le centre-ville. La situation est d'autant plus critique en Bolivie que les alternatives routières pour relier les deux parties de l'agglomération (La Paz et El Alto) fortement dépendantes l'une de l'autre, sont très peu nombreuses.

## Bibliographie

- APPERT M., CHAPELON L. (2001). *The urban traffic system vulnerability: definition and measures*. Communication au 12<sup>e</sup> colloque international de « Géographie théorique et quantitative », St Valéry en Caux, France, septembre 2001.
- APPERT M., CHAPELON L. (2003). « Variabilité de la performance des réseaux routiers : application à la région urbaine de Londres ». In MATHIS Ph., dir., *Graphes et réseaux : modélisation mult niveau*. Paris : Hermès science, coll. « IGAT, Série Aspects fondamentaux de l'analyse spatiale », 361 p. ISBN : 2-7462-0601-3
- BERDICA K. (2002). « An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done ? ». *Transport Policy* 9 (2), 117-127.
- CERTU (2002). *Vulnérabilité des réseaux urbains et gestion de crise : exemple de l'inondation de mars 2001 à Lyon et Mâcon*. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (DPPR), 81 p. (<http://www-certu.fr>)
- CHESNEAU E. (2006). *Modèle d'amélioration automatique des contrastes de couleur en cartographie : application aux cartes de risque*. Paris : Université de Paris-Est, Marne-la-Vallée et IGN, thèse de doctorat, 2 vol., 161 p. et 372 p. [http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/CHESNEAU/These\\_Chesneau\\_2006.zip](http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/CHESNEAU/These_Chesneau_2006.zip)
- DEMORAES F. (2004). *Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito (Équateur)*. Chambéry : Université de Savoie, thèse de doctorat, 587 p. <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/04/71/43/PDF/tel-00007025.pdf>
- D'ERCOLE R. (1991). *Vulnérabilité des populations face au risque volcanique. Le cas de la région du volcan Cotopaxi (Équateur)*. Grenoble : Université Joseph Fourier, thèse de doctorat, 460 p.
- D'ERCOLE R., METZGER P. (2002). *Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito : Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, coll. « Quito Metropolitano », n° 22, 206 p. ISBN : 9978-970-45-2. [http://upload.savgis.org/files/Etudes\\_realisees/DERCOLE\\_METZGER\\_Lugares\\_esenciales\\_2002.pdf](http://upload.savgis.org/files/Etudes_realisees/DERCOLE_METZGER_Lugares_esenciales_2002.pdf)
- D'ERCOLE R., METZGER P. (2004). *La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito : Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, coll. « Quito Metropolitano », n° 23, 496 p. [http://upload.savgis.org/files/Etudes\\_realisees/DERCOLE\\_METZGER\\_Vulnerabilidad\\_DMQ\\_2004.pdf](http://upload.savgis.org/files/Etudes_realisees/DERCOLE_METZGER_Vulnerabilidad_DMQ_2004.pdf)
- DUREAU F., DUPONT V., LELIÈVRE E., LÉVY J-P., LULLE Th., (2000). *Métropoles en mouvement, une comparaison internationale*. Paris : Anthropos, IRD, coll. « Villes », 658 p. ISBN : 2-7178-4145-8
- EPN, GeoHazards International, MDMQ, ORSTOM - OYO Corp., (1995). *Proyecto para el manejo del riesgo sísmico de Quito*. Quito : Síntesis, coll. « Quito Metropolitano ».
- HARDY S. (2009). « Explorer la construction de la résilience. Expériences de recherche à La Paz ». In PELTIER A., BECERRA S., dir., *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*. Paris : L'Harmattan, 575 p. ISBN : 978-2-296-08132-1
- IDA Y. (1999). « Basic concepts and future directions of road network reliability analysis ». *Journal of Advanced Transportation*, vol. 33, n° 2, p. 125-134.

- PELTRE P. (1989). « Quebradas y riesgos naturales en Quito, período 1900-1988 ». *Estudios de Geografía*, vol. 2, Colegio de Geógrafos del Ecuador, Corporación Editorial Nacional, p. 45-91.
- LUTOFF C. (2000). *Le système urbain niçois face à un séisme. Analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels*. Chambéry : Université de Savoie, thèse de doctorat, 361 p.
- SOURIS M., DEMORAES F., SERRANO T., HABERT E. (2007). *Manuel de référence de SavGIS*. 870 p. <http://www.savgis.org/manuels-de-reference.html>

## Notes

1. Les enjeux du District Métropolitain de Quito ont été identifiés dans trois domaines : les enjeux des habitants et de leurs besoins, les enjeux de la logistique urbaine, les enjeux de l'économie et de la gestion du district.
2. Cette fermeture a privé les citoyens de leur épargne et les entreprises de toutes transactions financières.
3. Les pentes supérieures à 30 % occupent 20 % du DMQ.
4. Lahar est un terme indonésien générique décrivant un écoulement rapide saturé en débris rocheux et en eau. Dans le cas des volcans *Cotopaxi* et *Cayambe*, l'eau proviendrait essentiellement de la fonte des glaciers qui les recouvrent durant une éruption.
5. Hormis l'enclave du canton Rumiñahui (fig. 2).
6. Par décret présidentiel.
7. Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
8. Dirección de Seguridad Ciudadana.
9. Piloté successivement par Pascale Metzger et Robert D'Ercole, chercheurs à l'IRD.
10. Sous la direction de M. Souris. Le logiciel est téléchargeable à l'adresse suivante : <http://www.savgis.org/>
11. Grâce à une demi-douzaine de personnes en moyenne (étudiants, stagiaires, doctorants).
12. 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.
13. À partir d'analyses fonctionnelles 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 du district, 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 et type de déplacements, fréquentation, utilité et importance dans le réseau, dimension des ouvrages, redondance des infrastructures...). L'ensemble de la méthode (variables, critères et seuils choisis) qui ne saurait être décrite ici, est présentée dans Demoraes, 2004 (p.137-176).
14. Par exemple, une section d'un réseau peut être fréquemment hors service (à cause de glissements de terrain, d'accidents, de grèves...), ce qui constitue une faiblesse, mais la circulation peut ne pas en être trop affectée s'il existe à proximité une déviation ou des équipes d'intervention rapide (facteurs de compensation permettant de contrebalancer la faiblesse).
15. Par exemple, nous avons mesuré dans le SIG l'exposition des infrastructures aux aléas. Plusieurs cas de figure se présentent : pas d'exposition (score = 0), exposition à un aléa modéré (score = 1), exposition à un aléa fort (score = 3). Nous avons réalisé cette analyse pour chaque aléa. Les scores obtenus ont été additionnés puis classés pour définir un degré moyen d'exposition aux aléas des infrastructures-clés.
16. La méthode (indicateurs, méthode de calcul, représentation cartographique) est détaillée dans Demoraes, 2004 (p. 189-260).

17. Le terme en espagnol est « parroquia », signifiant littéralement « paroisse ». Pour faciliter la compréhension du lecteur francophone, nous employons le terme « arrondissement », même si ce terme renvoie à une autre logique de découpage territorial.
18. La méthode est décrite dans Demoraes, 2004, (p. 272-274)
19. Certains parcs tel que celui de La Carolina, dans le centre-nord de Quito, ou encore les sites propres du transport en commun (trolley, métrobus) agencés nord-sud, s'ils représentent autant d'éléments indispensables au fonctionnement de la ville, n'en constituent pas moins de véritables obstacles pour la circulation est-ouest.
20. Programme andin de formation et de recherche sur la vulnérabilité et les risques en milieu urbain, piloté par Robert D'Ercole (depuis 2006).
21. NÚÑEZ J., DEMORAES F. (à paraître). « Vulnerabilidad de la red vial: herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial del área metropolitana de La Paz ». *Bulletin de l'IFEA*, Lima, Pérou, 11 p.

### **Adresses des auteurs**

Florent Demoraes, UMR 6590 CNRS ESO (Laboratoire RESO), Université Rennes 2, Campus Villejean - Place Recteur Henri Le Moal, CS 24307 - 35043 Rennes. Courriel : florent.demoraes@univ-rennes2.fr

Robert D'Ercole, Institut de Recherche pour le Développement, UR 029 « Environnement Urbain » - Casilla 18-1209, Lima 18, Pérou. Courriel : robert.dercole@ird.fr