

# SIG ET ÉVALUATION DES RISQUES NATURELS: APPLICATION AUX RISQUES SISMQUES DE QUITO

/ Jean-Luc CHATELAIN\*, Bertrand GUILLIER\*  
/ Marc SOURIS\*\*, Eric DUPÉRIER\*\*  
Hugo YEPES\*\*\*

**RÉSUMÉ** L'article retrace rapidement les principales étapes de la réalisation d'un scénario sismique sur la ville de Quito. Les croisements nécessaires entre les données provenant de domaines variés (sciences de la Terre, ingénierie civile, et sociodémographie) ont pu être effectués rapidement grâce à l'utilisation du SIG SAVANE. Le SIG a permis l'édition de documents graphiques décrivant de façon concrète la vulnérabilité sismique de la ville, facilitant ainsi la prise de conscience des responsables politiques et économiques.

**ABSTRACT** The paper briefly outlines the successive stages of the scenario of an earthquake in the city of Quito. The required cross-referencing of data of various origins (Earth Sciences, Civil Engineering and Sociodemography) has been carried out using the SAVANE GIS. As a result, graphical documents describing the city's seismic sensitivity have been produced which have been useful in raising awareness among policy makers and economic authorities.

**RESUMEN** Este artículo describe las principales etapas de la realización de un proceso sísmico para la ciudad de Quito. Los cruces necesarios entre los datos provenientes de varias fuentes (Ciencias de la Tierra, Ingeniería Civil, y Sociodemografía) fueron efectuados rápidamente gracias al SIG. Las producciones gráficas sumamente descriptivas del SIG permitieron la edición de documentos que describen de manera concreta la vulnerabilidad sísmica de la ciudad, ayudando a la toma de conciencia de los responsables políticos y económicos.

• BASE DE DONNÉES URBAINES • ÉQUATEUR • RISQUES NATURELS • SCÉNARIO SISMIQUE • SIG

• ECUADOR • GIS • NATURAL HAZARDS • SEISMIC SCENARIO • URBAN DATA BASE

• BASE DE DATOS URBANOS • ECUADOR • PROCESO SÍSMICO • RIESGOS NATURELES • SIG

Actuellement, il n'est pas possible de prévoir avec exactitude les séismes à court et moyen terme. Il est possible, par contre, d'évaluer l'ensemble des conséquences socio-économiques d'un séisme pouvant affecter une ville ou un territoire. C'est ce qui a été fait en Californie et au Japon, où sont élaborés des scénarios sismiques: il s'agit de définir les caractéristiques d'un séisme possible (à partir de la sismicité historique et du contexte tectonique régional), d'estimer la distribution des intensités qu'il produit (en fonction des conditions de propagation des ondes sismiques, et des caractéristiques physiques du site: topographie, géologie de surface et mécanique des sols). Parallèlement, est réuni un ensemble de données, caractérisant l'habitat et les infrastructures urbaines. L'application de matrices standard permet alors d'obtenir une estimation des dommages et de leur distribution dans l'espace. Enfin, ces résultats sont combinés avec ceux d'autres études pour établir une série de

recommandations pratiques dont l'objectif est de limiter les conséquences des séismes destructeurs.

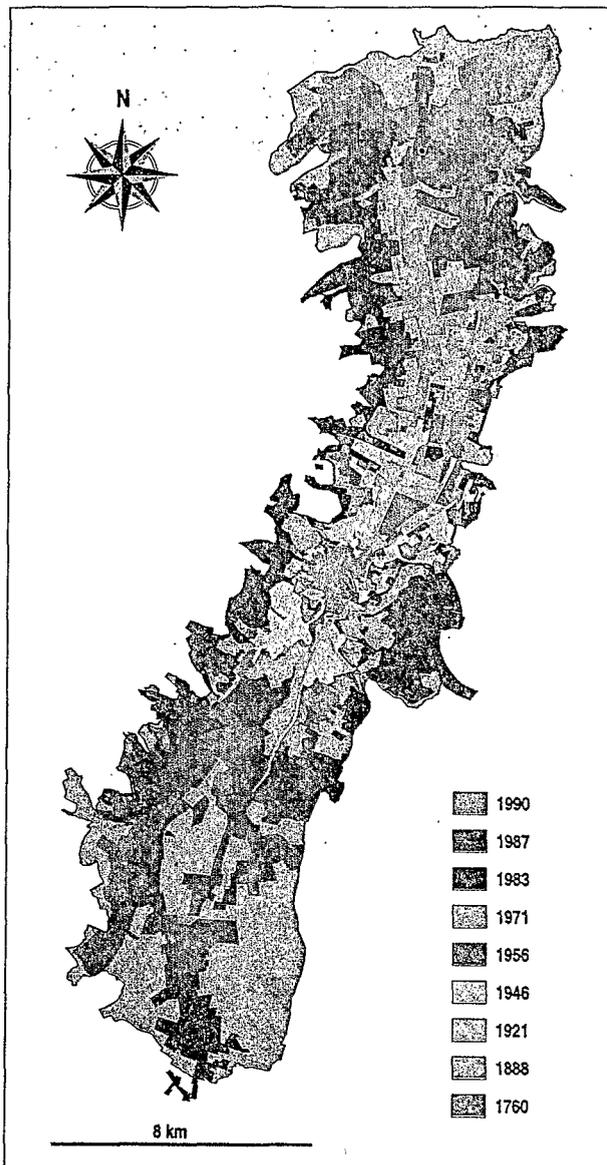
La situation de Quito justifiait à plus d'un titre l'élaboration d'un scénario sismique. Depuis la colonisation espagnole, 23 séismes d'intensité supérieure à VI ont été ressentis à Quito, dont 8 avec une intensité supérieure à VII (Del Pino et Yepes, 1990). Ces derniers se produisent avec une périodicité moyenne de 60 ans. Le dernier séisme destructeur s'est produit en 1868. À cette date, Quito comptait 45 000 habitants sur 4 km<sup>2</sup>; maintenant l'agglomération comporte plus de 1 300 000 habitants sur une superficie cent fois plus grande (fig. 1), et rassemble les caractères typiques d'une ville d'un pays en voie de développement. Il est donc évident que les seules données historiques ne peuvent servir à évaluer les risques liés aux tremblements de terre à Quito, puisque environ 90% de la ville n'ont jamais été soumis à une forte catastrophe sismique.

\* ORSTOM et Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Équateur.

\*\* ORSTOM et Ilustre Municipio de Quito, Équateur.

\*\*\* Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Équateur.





### 1. Croissance de la ville de Quito de 1760 à 1990

Source: *SUIM*.

#### Les disponibilités offertes par le SIG

Suite à un projet de coopération scientifique entre la Direction de la Planification de la municipalité de Quito et l'ORSTOM, la ville de Quito dispose depuis 1991 d'une base de données urbaines spatialisées, gérée par le SIG *SAVANE* (Souris *et al.*, 1984 -1994). L'existence de ce *Sistema Urbano de Información Metropolitana (SUIM)* a déterminé en partie le choix de la capitale équatorienne, et a permis la réalisation du scénario sismique. En effet, l'élaboration d'un tel scénario nécessite une information géographique abondante et de bonne qualité. De plus, toutes les données doivent pouvoir être ramenées à une unité géographique commune pour l'application des matrices.

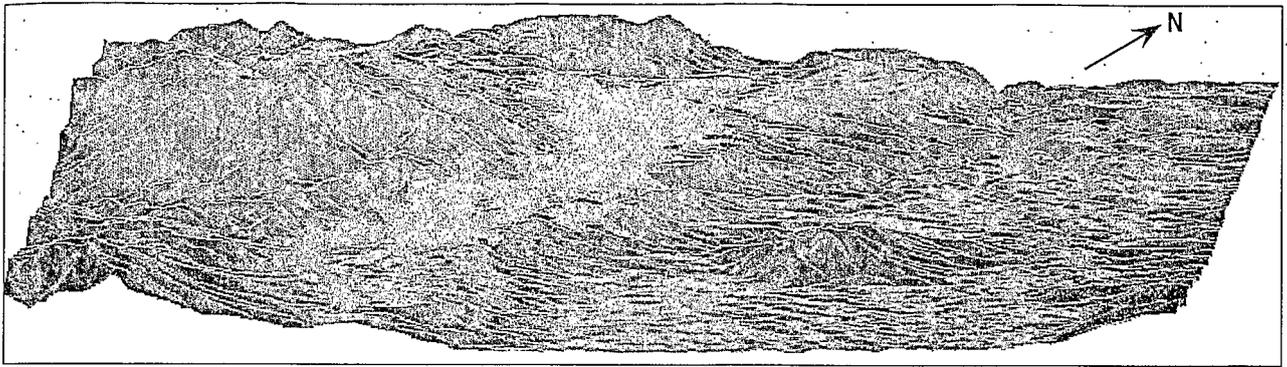
Face à ces exigences, le SIG est l'instrument le plus approprié. Il permet d'effectuer le regroupement et d'assurer la cohérence géographique de l'information, facilite sa gestion et sa consultation, permet d'effectuer les changements d'échelles, les agrégations, et les croisements nécessaires à l'élaboration du scénario.

La base de données urbaines de Quito (Godard *et al.*, 1993) renfermait déjà une bonne partie de l'information requise pour l'élaboration du scénario. Toute l'information topographique (pente, altitude) a pu être déduite de modèles numériques de terrain construits par *SAVANE* à partir des courbes de niveaux et points cotés numérisés dans la base (fig. 2). Se posait le problème de la définition du découpage spatial permettant l'application des matrices de calcul. Nous aurions pu créer un maillage arbitraire pour agréger les données spatiales, comme cela se fait habituellement, mais nous avons préféré utiliser le découpage par flot, unité spatiale d'agrégation des informations du recensement (population et logements) utilisée dans la base.

Des difficultés sont apparues: le contenu de certaines données était inadapté aux caractéristiques requises pour les évaluations techniques (cas des données du recensement décrivant le logement), l'information n'avait pas toujours été actualisée, ou elle était purement et simplement absente (ce fut le cas pour la plupart des informations sur les réseaux). Pour combler ces lacunes, il n'a été que très exceptionnellement nécessaire de se livrer à des enquêtes directes. Dans la plupart des cas, l'information manquante existait, éparpillée dans divers services de différentes institutions équatoriennes. Les réunions avec les principaux décideurs et gestionnaires urbains ont été l'occasion d'une prise de conscience de l'intérêt de l'élaboration d'un scénario sismique pour la ville. Ces entretiens ont joué un rôle de catalyseur des relations entre des institutions n'entretenant en général que des rapports plus ou moins distants; elles se sont pourtant engagées à fournir les informations spatiales qu'elles détenaient. Là encore, l'existence d'un SIG opérationnel a été déterminante pour concrétiser ces bonnes volontés, car il a permis l'intégration rapide de nouvelles données.

Dans le cas du logement, le problème était différent: les critères descriptifs utilisés par l'institut de recensement ne correspondaient pas aux normes techniques permettant d'évaluer les capacités de résistance des bâtiments. L'information était donc inutilisable. Pour lever cette difficulté, les experts de l'Escuela Politécnica Nacional (EPN) de Quito se sont livrés à une enquête de terrain qui a permis de composer l'information manquante. Il faut souligner l'engagement pris à cette occasion par les responsables de l'Institut National Équatorien de Statistique d'intégrer ces critères lors du prochain recensement.

Notre connaissance des difficultés habituellement rencontrées pour accéder à l'information dans les pays en développement nous amène à souligner la rapidité avec laquelle la collecte a ici été effectuée. Elle prouve qu'un projet mobilisateur (le scénario sismique), appuyé sur une technologie de gestion des données souple et ouverte (le SIG), peut, à l'occasion, donner l'occasion d'abaisser les barrières interinstitutionnelles. Le SIG s'est avéré indispensable, non seulement pour les traitements auxquels il



## 2. Modèle numérique de terrain de la région de Quito et extension de la tache urbaine

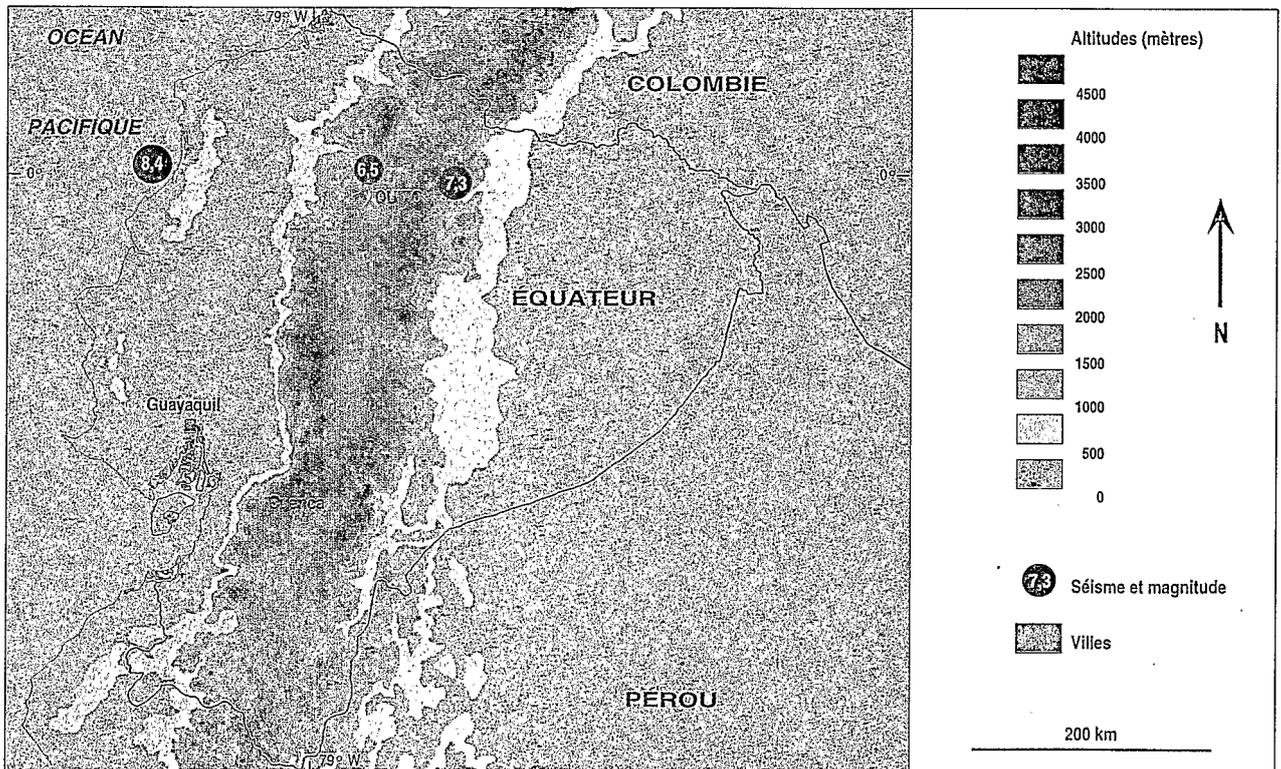
Sources: IGM, cartographie de base et *SUIM* modèle numérique de terrain).

permet de soumettre l'information spatiale, mais aussi et surtout pour la mobilisation des capacités d'échange et de communication de l'information qu'il a suscitée.

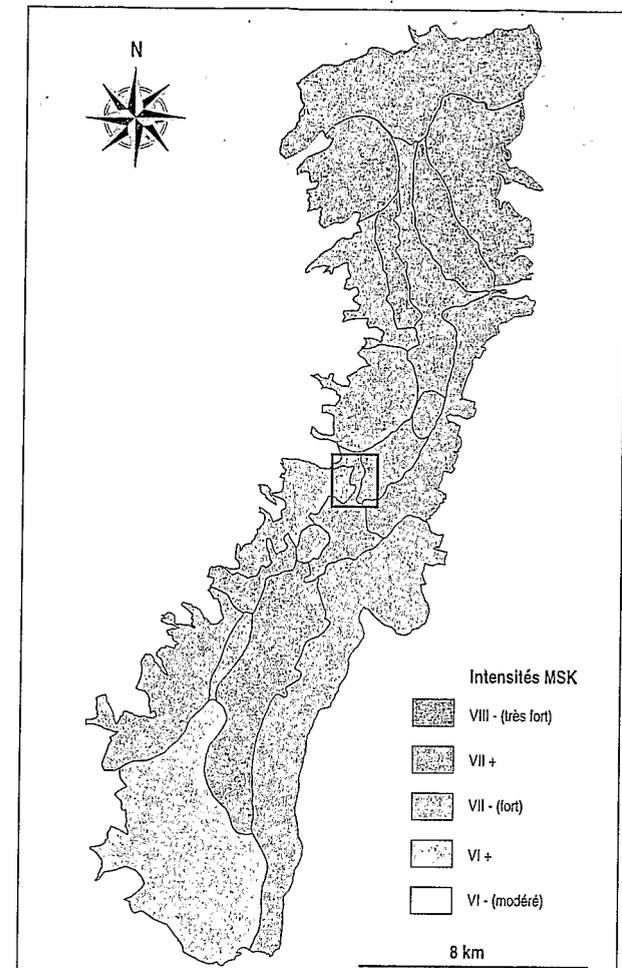
### Simulation des conséquences de séismes destructeurs dans l'espace urbain

La définition des caractéristiques d'un séisme potentiel repose sur les données de la sismicité historique et de la tectonique régionale. Plusieurs séismes potentiels sont pris comme hypothèses de départ. Pour Quito, sur toutes les sources sismiques possibles, trois séismes ont été sélectionnés (fig. 3): un séisme

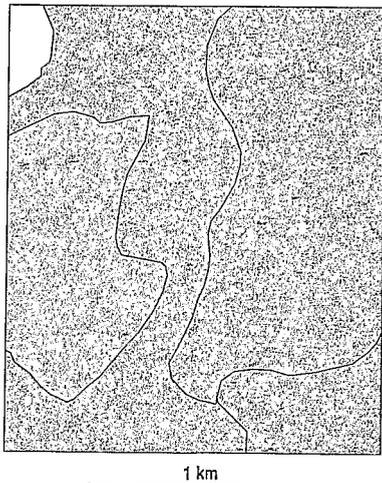
côtier de magnitude 8,4, localisé à 200 km à l'ouest de Quito; un séisme continental de magnitude 7,3, localisé à 80 km à l'est de Quito; un séisme local de magnitude 6,5, localisé à 25 km au nord de Quito. À partir des données de topographie, de géologie de surface et de caractéristiques des sols, une carte des zones homogènes du point de vue de leur comportement sismique est établie. Ensuite, pour chacun des séismes potentiels retenus, on calcule dans ces zones l'intensité produite en fonction de la magnitude du séisme, de la distance de la ville à l'hypocentre, et de l'atténuation des ondes sismiques. On obtient ainsi la carte de distribution des intensités sismiques (fig. 4a).



### 3. Localisation des 3 séismes étudiés dans le scénario

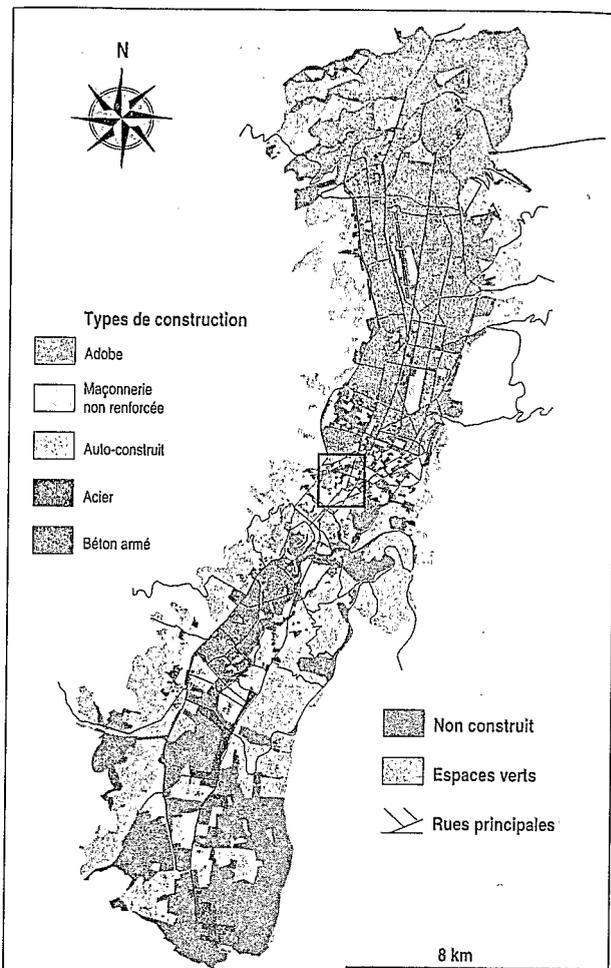


Détail de la zone délimitée par le rectangle



4a. Répartition des intensités sismiques produites par le séisme côtier dans la ville de Quito

Source: EPN.

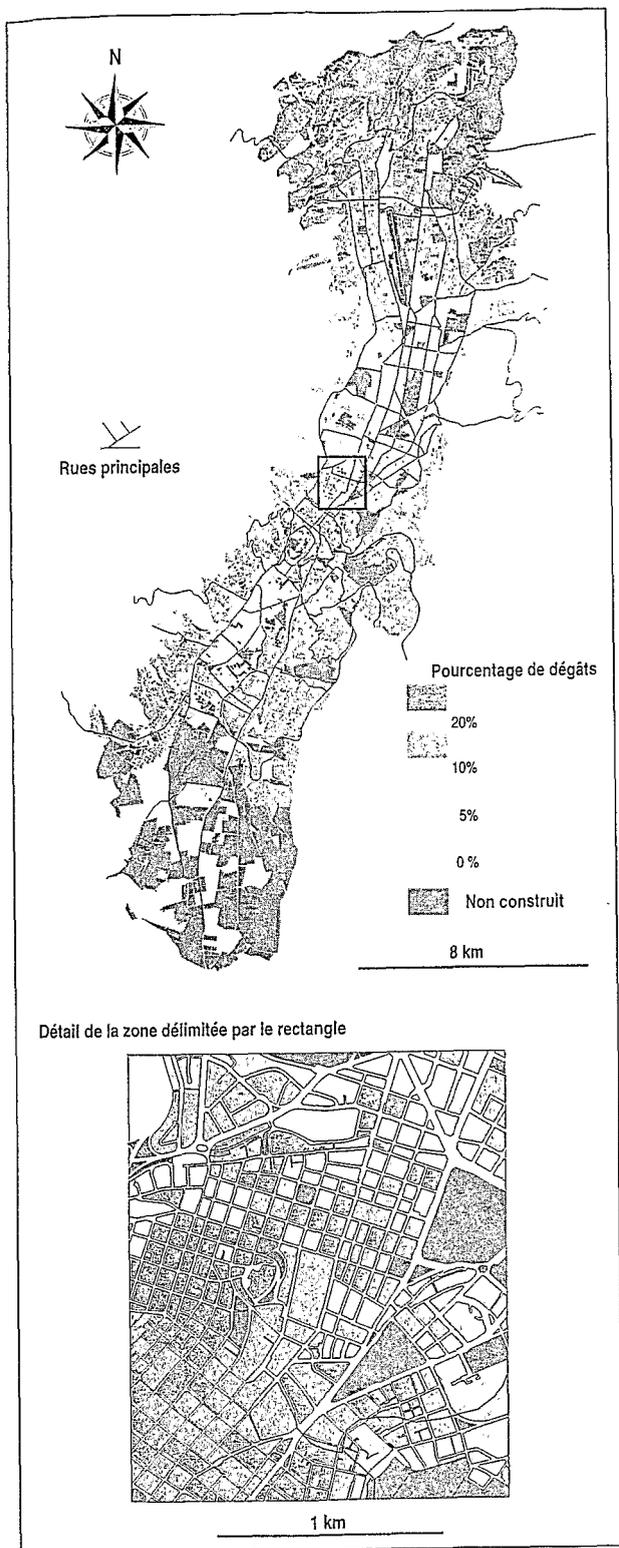


Détail de la zone délimitée par le rectangle



4b. Distribution du type de construction par îlot dans la ville de Quito (bâti dominant)

Source: EPN.



4c. Distribution des dommages subis par les bâtiments de Quito pour le séisme local

Source: EPN.

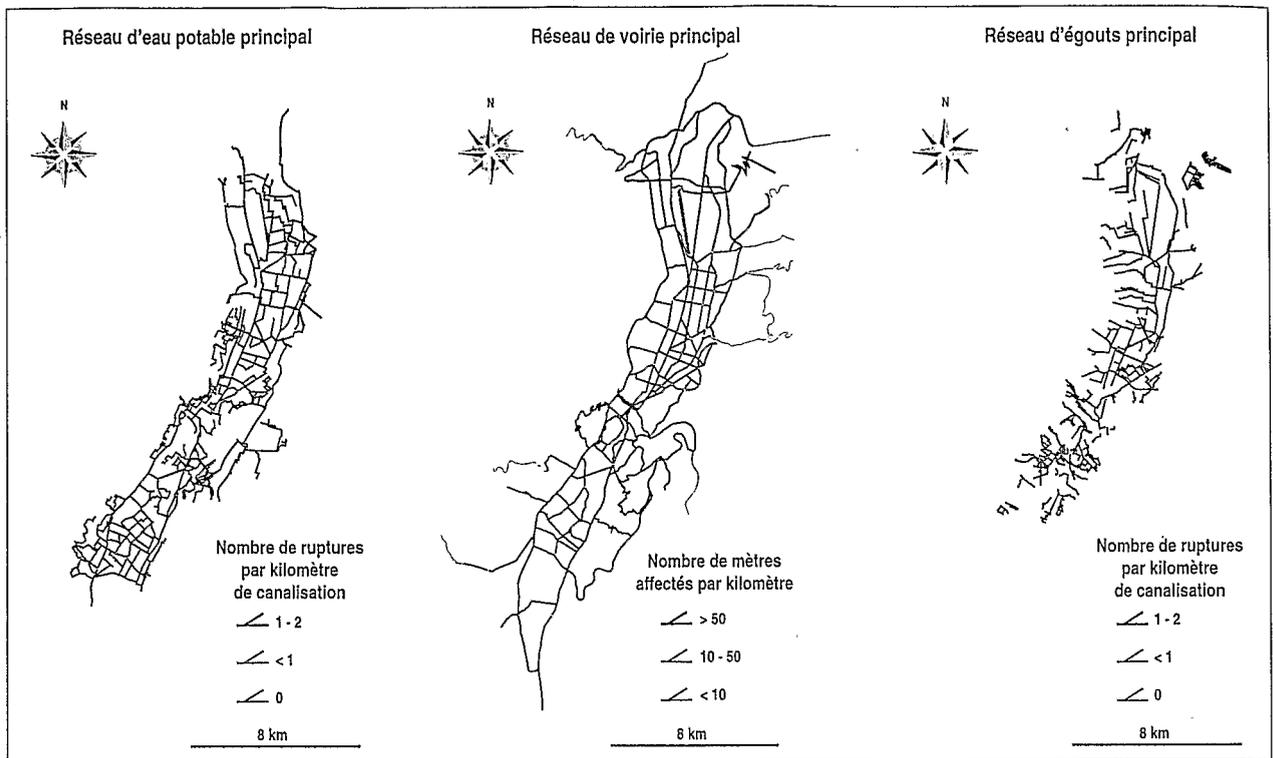
Le SIG permet d'attribuer une intensité pour chaque îlot à partir de celles calculées dans les zones. Puis, en croisant les données d'intensité sismique (fig. 4a) avec celles concernant le type de bâti dominant (fig. 4b), on obtient l'évaluation des dégâts pour chaque îlot (fig. 4c). Le calcul utilise des matrices standard obtenues à partir d'observations historiques. Les seules matrices disponibles sont californiennes ou japonaises. Elles ont été adaptées au cas de Quito pour ce projet. D'autres matrices sont utilisées pour obtenir l'évaluation par îlot des pertes en vies humaines, en fonction des dégâts estimés et des données de population. Les dommages subis par les réseaux ont été calculés dans chaque zone d'intensité sismique homogène (fig. 5). Enfin, des matrices différentes ont permis d'évaluer le temps nécessaire à la remise en fonctionnement des réseaux. Les délais calculés ont été réajustés sur la base des entretiens réalisés avec les responsables de ces réseaux, car les matrices temporelles standard (japonaises) sont les plus sensibles aux conditions locales.

Les résultats sont présentés dans Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards International, Ilustre Municipio de Quito, ORSTOM, Oyo Corp. (1994a, 1994b) et Chatelain *et al.* (1994, 1995). Ils montrent la forte vulnérabilité de Quito en cas de séisme violent: dans le cas du séisme local, environ 20% du parc immobilier subirait de graves dommages (supérieur à 20% du coût de la construction), et il faudrait au moins trois mois pour rétablir un service normal de distribution d'eau potable, six mois pour les égouts...

Ce projet est exemplaire sur le plan de la coopération: il a impliqué plusieurs départements de l'Escuela Politécnica de Quito (géophysique, géologie, génie civil, mécanique des sols), la Municipalité de Quito, GeoHazards International (États-Unis), Oyo Corporation (Japon), l'ORSTOM, et l'Institut Français d'Études Andines. La collaboration étroite entre ces organismes a permis de réaliser ce projet dans un délai très court, de septembre 1992 à mars 1994.

Ce scénario n'est que la première étape de l'étude de la vulnérabilité sismique de la ville. Il a servi principalement à faire prendre conscience aux responsables des services de la ville de la réalité des problèmes de vulnérabilité sismique de leur ville, grâce aux documents concrets produits à l'aide du SIG: cartes des intensités et des dégâts notamment. Cette étude devra être complétée par l'estimation des risques liés à d'autres séismes, au Sud de la ville par exemple. Les scénarios devront être mis régulièrement à jour, afin que les problèmes liés aux séismes destructeurs puissent être pris en compte dans la planification du développement de la ville. Enfin, il faudra prolonger cette étude dans d'autres directions, notamment vers l'analyse des dimensions sociales et politiques de la vulnérabilité (utilité de l'étude: est-ce que le gouvernement peut et veut utiliser une telle étude?) et un bilan des capacités de résistance de la ville différenciées dans l'espace.

Finalement, ce projet a permis de mettre en valeur la puissance du SIG pour les études de vulnérabilité. Sans une base commune regroupant toutes les données sur la ville, provenant de sources très variées, il aurait été très difficile, sinon impossible de



5. Distribution des dommages subis par Quito pour le séisme local par le réseau de distribution d'eau potable (gauche) — par le réseau de voirie (centre) — par le réseau des égouts (droite)

Source: EPN.

mener à terme ce projet. À partir de cette base de données, il est ensuite très facile d'obtenir tous les croisements nécessaires. D'autre part, la facilité de mise à jour de la base de données permettra une actualisation régulière facile du scénario, fournissant ainsi aux services concernés un outil pointu d'aide à la décision face aux risques sismiques. De plus, le SIG offre la possibilité de produire des documents très démonstratifs, permettant de convaincre plus facilement les responsables des secteurs politiques et économiques de la réalité du risque, qu'ils n'appréhendent pas du tout.

Références bibliographiques

CHATELAIN J.-L., YEPES H., GUILLIER B., FERNANDEZ J., VALVERDE J., KANEKO F., SOURIS M., DUPERIER E., HOEFER G., YAMADA T., BUSTAMANTE G., TUCKER B. et VILLACIS C., 1994, «Les scénarios sismiques comme outils d'aide à la décision pour la réduction des risques: Projet Pilote à Quito, Équateur, *Revue de Géographie Alpine*, Tome LXXXII, n° 4, pp. 131-150.

CHATELAIN J.-L., YEPES H., GUILLIER B., FERNANDEZ J., VALVERDE J., SOURIS M., TUCKER B., HOEFER G., KANEKO F., YAMADA T., BUSTAMANTE G. et VILLACIS C., 1995, «Earthquake Risk Management Pilot Project in Quito, Ecuador», soumis à *GeoJournal*.  
 DEL PINO et YEPES H., 1990, «Apuntes para una historia sísmica de Quito. Centro Histórico de Quito. Problemática y perspectivas», *Dirección de planificación, Ilustre Municipio de Quito*, Équateur.  
 Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards International, Ilustre Municipio de Quito, ORSTOM, Oyo Corp., 1994a, «The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project: an Overview», *GeoHazards International Publication*, San Francisco, États-Unis.  
 Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards International, Ilustre Municipio de Quito, ORSTOM, Oyo Corp., 1994b, «The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project: a Compilation of Methods, Data, and Findings», *Oyo Corp. Publication*, Japon.  
 GODARD R., de MAXIMIMY R. et SOURIS M., 1993, «Du SIG à l'Atlas Infographique de Quito», *Mappemonde*, Montpellier, GIP Reclus, n° 3, pp. 35-40.  
 SOURIS M., LEPAGE M. et PELLETIER F., 1984-1994, «Le Système d'Information Géographique SAVANE», Logiciel ORSTOM.

**Remerciements**  
 Nous remercions les équipes de GeoHazards International, d'Oyo Corporation, de la Municipalité de Quito, des services de l'Escuela Politécnica Nacional de Quito et de l'IFEA pour leur participation à la réalisation du scénario, ainsi que B. Lortic, J. Tupiza, V. Tupiza et J. Vega pour l'aide apportée à la réalisation des cartes. Cette étude n'aurait pas été possible sans les idées, le soutien, et la générosité du Dr. Kunio Suyama, président de Oyo Corporation, décédé avant qu'elle ait été menée à son terme.