



SOMMAIRE

Préambule.....	5
Organisation du volume.....	5
Détail des références par axe	6
1 – Aléas, vulnérabilités, risques	9
1.1 – Aléas, exposition des enjeux et risques encourus à une échelle nationale	11
1.2 – Vulnérabilité d’un réseau routier liée à son exposition aux aléas à l’échelle d’une ville.....	29
1.3 – Vulnérabilité des réseaux routiers et des systèmes de transport : un éclairage pour évaluer les vulnérabilités territoriales et les risques encourus à l’échelle d’une ville	47
1.4 – La dimension institutionnelle des vulnérabilités	93
2 – Relations santé-environnement	113
3 – Mobilités quotidiennes et inégalités socio-spatiales.....	137
4 - Travaux à caractère méthodologique	227
5 – Promotion et vulgarisation de la géomatique	305
5.1 – Promotion de la pratique d’outils SIG libres dans l’enseignement supérieur et témoignage de leur usage dans l’espace francophone	307
5.2 – Affiches (exposition grand public).....	313
6 – Documentations de solutions logicielles.....	317





Préambule

Organisation du volume

Ce volume est le troisième de mon Habilitation à Diriger des Recherches. La sélection des travaux présentés dans ce volume a reposé sur plusieurs critères : leur apport scientifique, leur représentativité dans ma production, leur référencement académique et leur langue de parution¹. J'ai également considéré des travaux qui illustrent les inflexions scientifiques survenues au cours de ma carrière. Ce volume rassemble ainsi seize références parues entre 2003 et 2014. Quatorze références sont extraites de mes soixante-quatorze publications principales présentées dans le deuxième volume et deux sont issues de mes autres formes de publications dans la mesure où je les ai considérées comme significatives de mes activités. En général et logiquement, les résultats des contrats de recherche et d'expertise sont restitués et valorisés dans le cadre d'articles ou de chapitres d'ouvrage, ce qui explique que je n'aie pas jugé utile d'ajouter des extraits de rapports.

Les seize références sont réparties dans ce volume en six grands axes (**Tableau 1**). Afin de guider le lecteur, un code couleur a été défini pour chacun d'entre eux. Ce code couleur est repris dans les **tableaux 2, 3 et 4** et apparaît au bas de chaque tiré-à-part dans les sections ultérieures.

Axes	Nombre de références
1 – Aléas, vulnérabilités, risques	5
2 – Relations santé-environnement	2
3 – Mobilités quotidiennes et inégalités socio-spatiales	3
4 – Travaux à caractère méthodologique	3
5 – Promotion et vulgarisation de la géomatique	2
6 – Documentation de solutions logicielles	1
Total	16

Tableau 1 – Publications par axes et nombre de références associées

Les trois premiers axes renvoient à des champs thématiques que j'ai explorés au cours de ces quinze dernières années. Ils sont présentés dans ce volume par ordre chronologique.

Le premier axe englobe une sélection de travaux correspondant aux thèmes les plus représentatifs de ma production (cinq références). Ils traitent les questions d'aléas, de risques et de vulnérabilités. Comme évoqué dans le deuxième volume, ce poids important s'explique par le fait que ces thèmes ont été centraux dans ma recherche de 2000 à 2009, tout au long de ma thèse et dans les travaux ultérieurs menés dans le cadre du programme PACIVUR. Le deuxième axe renvoie à une sélection de deux publications issues de mon Post-Doc (2004-2006) sur les relations entre l'environnement et la santé en Thaïlande. Le troisième axe regroupe trois références portant sur deux thématiques (mobilités quotidiennes et inégalités socio-spatiales) que j'explore et que je confronte de façon plus récente depuis mon intégration à l'UMR ESO en 2007 et mon implication dans le programme de l'ANR METAL. Le quatrième axe, non thématique, réunit trois travaux dans lesquels la dimension méthodologique de la recherche constitue le fil conducteur. Les cinquième et sixième axes sont le reflet d'activités connexes à la recherche et dans lesquelles je me suis beaucoup impliqué.

Je présente dans les **tableaux 2, 3 et 4** le détail des seize références réparties dans chacun des six axes. Les tableaux indiquent également les références telles que numérotées dans le volume 2 et leur équivalence dans le volume 3. Les tirés-à-part sont ensuite proposés en suivant cette organisation en six axes et chaque axe est introduit par un prologue.

¹ Lorsque deux publications portaient sur un thème similaire, j'ai systématiquement choisi de présenter dans ce volume, celle rédigée en français ou en anglais, ce qui diminue le poids des productions en langue espagnole dont l'accès peut poser problème à un lectorat francophone. Sont présentées ainsi huit références en français, quatre en anglais et quatre en espagnol.



Détail des références par axe

Axes	Sous-axes	Détails de la référence	Réf. Vol. 2	Réf. Vol. 3	Pagination
1 – Aléas, vulnérabilités, risques	1.1 – Aléas, exposition des enjeux et risques encourus à une échelle nationale	R. D'ERCOLE, F. DEMORAES (2003). - <i>Risques et réponses institutionnelles en Equateur - Cartes et méthodes - Cahiers de Géographie, Collection EDYTEM (1), Université de Savoie, pp. 157-168.</i>	ACLN2	Réf. 1	pp. 13-27
	1.2 – Vulnérabilité d'un réseau routier liée à son exposition aux aléas à l'échelle d'une ville	F. DEMORAES, R. D'ERCOLE, G. ATIAGA, P. METZGER. (2005). - <i>Seismic vulnerability of the bridges and overpasses along critical roads and mobility disruption within the Metropolitan District of Quito (Ecuador) - Revue Internationale PANGEA, CIFEG, n°43/44, pp. 37-52.</i>	ACL14	Réf. 2	pp. 31-46
	1.3 – Vulnérabilité des réseaux routiers et des systèmes de transport : un éclairage pour évaluer les vulnérabilités territoriales et les risques encourus à l'échelle d'une ville	DEMORAES F., D'ERCOLE R. (2009) - <i>Risques et accessibilité des lieux dans le District Métropolitain de Quito (Équateur) - Dossier spécial « Cartographie des risques sous la coordination de : Emmanuel Bonnet, Élise Beck et Élisabeth Chesneau » - Revue Mappemonde, N° 95 (3-2009), 20p.</i>	ACL6	Réf. 3	pp. 49-68
		NÚÑEZ J., DEMORAES F., (2009). - <i>El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial: el caso de La Paz (Bolivia). - Numéro thématique «Vulnerabilidades urbanas en los países andinos (Bolivia, Ecuador, Perú) » - Bulletin de l'IFEA, 38 (3), (dir. R. D'ERCOLE, S. HARDY, J. ROBERT, P. METZGER), pp. 827-848.</i>	ACL7	Réf. 4	pp. 71-92
1.4 - La dimension institutionnelle des vulnérabilités	SERRANO T., DEMORAES F. (2007) - <i>Discrepancias institucionales y vulnerabilidad asociada en el valle de Los Chillos frente al peligro de lahares del volcán Cotopaxi - Congreso latinoamericano de ciencias sociales en conmemoración de los 50 años de la FLACSO, Simposio III "Gestión del riesgo y sus relaciones con los procesos y la gestión ambiental en los países andinos" - 29-31 octubre 2007, in Inter/secciones urbanas: origen y contexto en América Latina, Coordinador: Jaime Erazo, Quito, pp. 365-380.</i>	C-ACTI2	Réf. 5	pp. 97-110	

Tableau 2 – Détail des publications par axe et équivalence des référencements entre les volumes 2 et 3 (Première partie)



Axes	Sous-axes	Détails de la référence	Réf. Vol. 2	Réf. Vol. 3	Pagination
2 – Relations santé-environnement		JP. CORNET, F. DEMORAES, M. SOURIS, P. KITTAYAPONG, JP. GONZALEZ (2009) - <i>Spatial distribution of ticks in Thailand: a discussion basis for tick-borne virus spread assessment. International Journal of Geoinformatics. Vol. 5, No 1, March 2009, pp. 57-62</i>	ACL9	Réf. 6	pp. 115-121
		V. HERBRETEAU, F. DEMORAES, JP. HUGOT, P. KITTAYAPONG, G. SALEM, M. SOURIS, JP. GONZALEZ (2006). - <i>Perspectives on Applied Spatial Analysis to Animal Health: a Case of Rodents in Thailand - Annals New York Academy of Sciences, Volume 1081, pp. 17-29.</i>	ACL12	Réf. 7	pp. 123-135
3 – Mobilités quotidiennes et inégalités socio-spatiales		V. GOUËSET (coord.), F. DEMORAES, O. FIGUEROA, G. LE ROUX, S. ZIONI, (2014). - <i>Parcourir la métropole. Pratiques de mobilité quotidienne et inégalités socio-territoriales à Bogotá, Santiago et São Paulo - Programme de recherche ANR METAL, Chapitre 8, in DUREAU F., LULLE T., SOUCHAUD S., CONTRERAS Y., (Ed.), Mobilités et changement urbain à Bogotá, Santiago et São Paulo, coll. Espaces et Territoires, Presses Universitaires de Rennes, pp. 265-302.</i>	COS2	Réf. 8	pp. 139-176
		DEMORAES F., PIRON M., ZIONI S., SOUCHAUD S. (2012) - <i>Inégalités d'accès aux ressources de la ville analysée à l'aide des mobilités quotidiennes - Approche méthodologique exploratoire à São Paulo, Vol. 56, No 158, septembre 2012, Dossier Mobilités spatiales et ressources métropolitaines : l'accessibilité en questions, Cahiers de géographie du Québec, pp. 463-489.</i>	ACL3	Réf. 9	pp. 179-207
		DEMORAES F., GOUËSET V., PIRON M., FIGUEROA, O., ZIONI S. (2010) - <i>Mobilités quotidiennes et inégalités socio-territoriales à Bogotá, Santiago du Chili et São Paulo, Revue Espace, Populations, Sociétés, n° 2010-2 « Nouvelles mobilités dans les Suds », pp. 349-364.</i>	ACL4	Réf. 10	pp. 209-224

Tableau 3 – Détail des publications par axe et équivalence des référencements entre les volumes 2 et 3 (Deuxième partie)



Axes	Sous-axes	Détails de la référence	Réf. Vol. 2	Réf. Vol. 3	Pagination
4 - Travaux à caractère méthodologique		<i>F. DUREAU (coord.), Y. CONTRERAS, F. DEMORAES, G. LE ROUX, T. LULLE, M. PIRON, S. SOUCHAUD (2014). - Une méthodologie de production et d'analyse de l'information commune aux 3 métropoles étudiées - Programme de recherche ANR METAL, Chapitre 2, in DUREAU F., LULLE T., SOUCHAUD S., CONTRERAS Y., (Ed.), Mobilités et changement urbain à Bogotá, Santiago et São Paulo, coll. Espaces et Territoires, Presses Universitaires de Rennes, pp. 49-82.</i>	COS1	Réf. 11	pp. 229-262
		<i>F. DEMORAES, R. D'ERCOLE, P. METZGER, M. SOURIS. (2006). - Enjeux, mobilité, accessibilité et risques - L'exemple du District Métropolitain de Quito (Equateur) - Revue Internationale de Géomatique - Editions Hermès, Vol. 16/3-4, pp. 435-456.</i>	ACL11	Réf. 12	pp. 265-284
		<i>F. DEMORAES, D'ERCOLE R., METZGER P. (2004). - Accesibilidad de los espacios en el DMQ - In D'ERCOLE R., METZGER P. (Dir.), La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, Coll. Quito Metropolitano, MDMQ-IRD (Ed.), pp. 35-50.</i>	COS11	Réf. 13	pp. 287-302
5 – Promotion et vulgarisation de la géomatique	5.1 – Promotion de la pratique d'outils SIG libres dans l'enseignement supérieur et témoignage de leur usage dans l'espace francophone	<i>Y. BAUDOIN, F. DEMORAES (2011). - Bilan de la première journée des utilisateurs francophones de gvSIG: 1er juillet 2011 - (article bilingue Français-Anglais) - Magazine Open Planet n°5, pp.58-60.</i>	PV1	Réf. 14	pp. 309-311
	5.2 – Affiches (exposition grand public)	<i>DEMORAES F. (2006). ¿Cómo se concibe un mapa temático en un Sistema de Información Geográfico?, Exposition « El damero a vuelo de pájaro », Museo de la Ciudad, Quito, déc. 2006 et janvier 2007.</i>	Autre forme de production	Réf. 15	pp. 315-316
6 – Documentations de solutions logicielles		<i>M. SOURIS, F. DEMORAES, T. SERRANO, E. HABERT (2007). - Manuel de référence du système d'information géographique SavGIS, 870p (extrait).</i>	Autre forme de production	Réf. 16	pp. 319-341

Tableau 4 – Détail des publications par axe et équivalence des référencements entre les volumes 2 et 3 (Troisième partie)



1 – Aléas, vulnérabilités, risques

Cet axe divisé en quatre sous-axes, réunit cinq références. La première (**Réf. 1**) est le résultat d'une expertise réalisée pour le compte de deux ONG (Oxfam et COOPI). Elle dresse un état des lieux des aléas d'origine naturelle auxquels est exposé l'Equateur sur l'ensemble de son territoire national. Le diagnostic s'attache aussi à hiérarchiser à partir du zonage initial des aléas, les unités du découpage administratif qui sont à la fois les plus exposées, concentrant le plus d'enjeux humains et le moins de capacités locales, et rassemblant en outre une population particulièrement vulnérable. Une réflexion sur les critères à retenir à chacune des étapes de l'analyse et la conception d'une carte pour le décideur sont proposées.

Dans le deuxième sous-axe, l'article sélectionné (**Réf. 2**) renvoie à une analyse de vulnérabilité sectorielle. Elle ne considère qu'un seul aléa et ne portent plus sur l'ensemble d'un territoire national mais sur une agglomération, celle de Quito. Plus précisément, on s'intéresse à la vulnérabilité d'un ensemble de maillons du réseau viaire (les ponts) face à l'aléa sismique. Une réflexion sur les répercussions de ces endommagements sur la circulation et les déplacements à l'échelle de l'agglomération est proposée.

Le troisième sous-axe englobe deux références (deux articles) qui s'inscrivent dans la continuité des approches précédentes en les approfondissant et en les élargissant. La première référence (**Réf. 3**) montre en quoi l'étude de la vulnérabilité des réseaux de voirie et de transport permet d'évaluer à une échelle plus globale les vulnérabilités territoriales en suivant une approche multisectorielle et en considérant six formes de vulnérabilité. La démonstration qui n'est ici plus centrée sur un aléa, se fonde sur le cas d'étude de Quito et met en exergue le nécessaire recours à la notion d'accessibilité. La deuxième référence (**Réf. 4**) correspond à la transposition et à l'adaptation de la méthode d'analyse mise au point à Quito sur l'agglomération de La Paz / El Alto. Ces travaux résultent de la valorisation de ma thèse et de ma participation au programme PACIVUR.

Dans le quatrième sous-axe, qui comporte un acte de colloque (**Réf. 5**), la dimension institutionnelle de la vulnérabilité est interrogée. On s'attache à travers le prisme du mode d'occupation du sol à montrer en quoi les politiques non coordonnées menées par deux municipalités voisines (Quito et Rumiñahui) concernées par un même aléa (des lahars) augmentent leurs vulnérabilités territoriales.





1.1 – Aléas, exposition des enjeux et risques encourus à une échelle nationale

Réf. 1 - R. D'ERCOLE, F. DEMORAES (2003). - *Risques et réponses institutionnelles en Equateur - Cartes et méthodes - Cahiers de Géographie, Collection EDYTEM (1), Université de Savoie, pp. 157-168.*





RISQUES ET REPONSES INSTITUTIONNELLES EN EQUATEUR CARTES ET METHODES

Robert D'Ercole¹ et Florent Demoraes²

- 1 - Maître de Conférence – Laboratoire EDYTEM - CISM - Université de Savoie,
détaché à l'Institut de Recherche pour le Développement - IRD - Apartado 17 12 857 ; Quito – Equateur
dercole@ecnet.ec
- 2 - Doctorant - ATER – laboratoire EDYTEM - CISM - Université de Savoie - 73 376 Le Bourget-du-Lac cedex
florent.demoraes@univ-savoie.fr

RESUME

L'article constitue la synthèse d'une étude sur les risques d'origine naturelle en Equateur réalisée pour le compte des Organisations Non Gouvernementales COOPI (Italie) et OXFAM (Royaume Uni). Il présente un triple intérêt : il fournit un exemple de géographie appliquée, il présente une méthodologie opérationnelle de recherche et propose une réflexion nouvelle sur la notion de risque, son évaluation et sa cartographie. La prise en compte de la dynamique positive du risque à travers la réponse institutionnelle susceptible de le réduire, et la cartographie résultante par canton, constituent l'une de ses principales originalités.

MOTS-CLEFS : EVALUATION DU RISQUE, CARTOGRAPHIE DU RISQUE, REPONSE INSTITUTIONNELLE, EQUATEUR.

RESUMEN

Este artículo corresponde a la síntesis de un estudio sobre los riesgos de origen natural realizado para las organizaciones no gubernamentales COOPI (Italia) y OXFAM (Reino Unido). El interés es triple: propone un ejemplo de geografía aplicada, describe una metodología operacional de investigación y presenta una nueva reflexión sobre la noción de riesgo, su evaluación y cartografía. El análisis de la dinámica positiva del riesgo mediante la respuesta institucional destinada a reducirlo y la cartografía asociada por cantón, constituyen una de sus principales originalidades.

PALABRAS CLAVES: EVALUACIÓN DEL RIESGO, REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DEL RIESGO, RESPUESTA INSTITUCIONAL, ECUADOR.



Introduction

Cet article présente un triple intérêt : il fournit un exemple de géographie appliquée, il présente une méthodologie de recherche et propose une réflexion sur la notion de risque, son évaluation et sa cartographie.

Il s'agit en premier lieu de la synthèse d'une étude réalisée pour le compte de deux ONG européennes présentes dans de nombreux pays en développement, notamment en Equateur : une ONG italienne (COOPI) et une ONG anglaise (OXFAM). L'action de ces ONG couvre de nombreux aspects du développement ainsi que les situations d'urgence liées aux catastrophes et aux conflits. En matière de prévention des risques et de réponse aux situations d'urgence, l'une de leurs préoccupations est de mieux cibler géographiquement leurs actions en Equateur, de disposer d'un fond d'information utile pour répondre aux appels d'offre internationaux, et d'accroître leur crédibilité vis-à-vis des bailleurs de fonds (notamment l'Union Européenne). Dans ce contexte, l'objectif de l'étude est de procéder à l'analyse et à la cartographie des risques d'origine naturelle en Equateur. Elle a été réalisée dans le cadre d'une équipe de recherche au sein de laquelle ont travaillé les auteurs de cet article¹.

L'étude repose sur une méthodologie de recherche dont les grands traits sont présentés dans cet article. Sont ainsi exposées les différentes étapes qui ont conduit à l'analyse et, plus particulièrement, à la cartographie du risque en Equateur, à l'échelle du canton. Le canton, subdivision des provinces, a été choisi comme unité spatiale de base dans la mesure où il constitue une juridiction jugée appropriée par

les ONG pour développer des actions destinées à réduire les risques. En termes méthodologiques, l'objectif n'était pas seulement de produire une information de type scientifique mais également des documents d'aide à la décision, facilement lisibles et ciblés sur les besoins des utilisateurs. L'équipe de recherche a donc été en permanence à l'écoute des commanditaires de l'étude afin de répondre au mieux à leurs besoins.

L'étude a, en même temps, fourni l'occasion de réfléchir sur la notion de risque, son évaluation et sa cartographie. Le risque a longtemps été confondu avec l'aléa (le phénomène physique susceptible d'engendrer des dommages) et l'est souvent encore. Il en va de même pour sa cartographie. Les cartes dites de risques ne sont généralement que des cartes d'aléas ou des cartes d'exposition à partir du moment où les enjeux (les éléments susceptibles d'être affectés ou endommagés) sont superposés aux aléas². Les enjeux et les aléas ne sont que deux des différentes composantes du risque. Une troisième composante, la vulnérabilité, a progressivement été prise en compte depuis la fin des années 70 et surtout depuis une dizaine d'années. L'idée est simple : tous les enjeux n'affichent pas la même propension à l'endommagement en cas de survenue du phénomène destructeur. En d'autres termes, certains sont plus fragiles ou plus sensibles que d'autres et par conséquent le risque encouru par ces enjeux est plus élevé. Partie de considérations essentiellement techniques (vulnérabilité structurale d'un édifice, par exemple), la vulnérabilité a progressivement pris une dimension sociale. La faiblesse d'une société réside ainsi dans sa capacité (ou plutôt son incapacité) à prévenir, affronter et surmonter une catastrophe.

Dans ce contexte, les études de vulnérabilité se sont multipliées ces dernières années, parfois accompagnées de cartes. Mais les cartes de vulnérabilité ont rarement été associées aux cartes d'exposition pour déboucher sur des cartes de

¹ L'étude débouchera sur un ouvrage dont la publication est prévue pour le deuxième semestre 2002 (COOPI / OFAM, « Mapas de amenazas, vulnerabilidad y capacidades en El Ecuador. Los desastres, un reto para el desarrollo »). L'équipe de recherche était composée de Robert D'Ercole (IRD – Université de Savoie, coordinateur COOPI), Mónica Trujillo (coordinatrice OXFAM), Florent Demoraes (IRD – Université de Savoie), René Ramirez (SIISE), Annamaria Selleri (COOPI), Tania Serrano (Centro de investigaciones CIUDAD). Outre leur participation à la réflexion collective de l'équipe de recherche, les auteurs de l'article ont eu directement à leur charge les volets de l'étude suivants : constitution d'une base de données, usage du SIG Savane développé par Marc Souris de l'IRD, étude sur les aléas (F. Demoraes et R. D'Ercole) ; enjeux, risque, réflexion sur la cartographie ciblée sur les besoins de l'utilisateur (R. D'Ercole). Les volets concernant la vulnérabilité et la présence institutionnelle sont le résultat du travail de l'ensemble de l'équipe.

² C'est le cas, par exemple, de la cartographie réalisée dans le cadre d'une étude comparable à celle qui est présentée dans cet article, réalisée pour le compte de l'ONG OXFAM au Mexique et en Amérique Centrale (Trujillo M., Ordoñez A., Hernández R., 2000, Risk-mapping and local capacities. Lessons from Mexico and Central America, OXFAM, 78 p.). Les cartes présentées comme des cartes de risques ne sont en fait que des cartes d'aléas ou des cartes d'exposition.



risque à trois composantes (enjeux, aléas, vulnérabilité)³. Ce type de carte a été réalisée dans le cadre de l'étude réalisée pour COOPI / OXFAM. Cependant, cette triple approche n'est pas suffisante pour apprécier le risque dans toutes ses dimensions. En effet, à travers les aléas, susceptibles d'endommager, et la vulnérabilité qui traduit les faiblesses, seules les composantes négatives du risque sont retenues alors que ce dernier est le produit d'un jeu de forces opposées. Le risque est non seulement la résultante, la conjonction spatiale de dynamiques négatives mais également de dynamiques positives, ces dernières ayant pour effet de le réduire. Les notions de capacité de réponse, de résistance ou de résilience traduisant ces dynamiques positives apparaissent parfois dans la littérature⁴ mais sont rarement suivies d'applications en matière d'évaluation du risque. Dans le cadre de l'étude menée pour le compte de COOPI et OXFAM, l'intégration de la composante positive du risque a été tentée, en retenant un critère simple : la présence, dans les cantons, d'organismes susceptibles, de par leur action et leur capacité d'intervention en situation d'urgence, de réduire le risque ou du moins les conséquences d'une catastrophe. Une carte synthétique de risque, à quatre composantes, a ainsi pu être réalisée.

I - La carte des enjeux

La première carte utile pour l'analyse de risque est la carte des enjeux. Les enjeux sur lesquels portent l'analyse et la cartographie du risque dépendent de l'intérêt du chercheur, du décideur et, de manière générale, de l'utilisateur. Dans certains cas, ils peuvent être considérés de manière globale, d'où des études spécifiques destinées à déterminer ce qui est enjeu pour le fonctionnement et le développement d'une communauté, d'une ville ou d'un pays⁵. Plus généralement, les enjeux sont connus à l'avance. Il peut s'agir d'éléments aussi divers que les activités économiques d'un pays, le

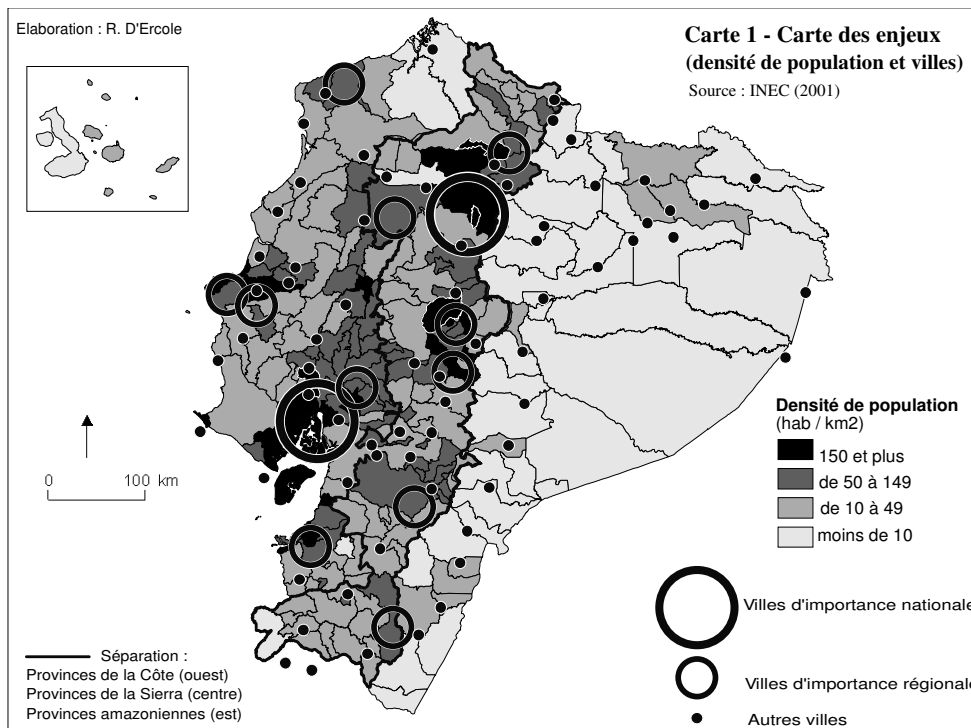
patrimoine historique d'une province ou le système hospitalier d'une ville. Dans le cas présent, c'est la population de l'Equateur qui constitue le centre d'intérêt des ONG's commanditaires de l'étude, dans la mesure où elle peut être affectée par une catastrophe. Elle est donc susceptible d'être préparée à l'éventualité d'un désastre et d'être secourue le jour où la menace se concrétise. En même temps, les ONG's s'intéressent aux espaces où la population est la plus nombreuse afin d'accroître la portée de leur action tant en terme de préparation que d'intervention d'urgence⁶. Dans cette perspective, la carte réalisée représente les densités de population par canton ainsi que les principales villes du pays classées suivant leur importance nationale, régionale ou locale (carte 1). L'Equateur (256 000 km²) est clairement divisé en deux parties. Les provinces de la Sierra (centre) et celles de la Côte (à l'ouest) concentrent l'essentiel de ses 12 millions d'habitants. Les effectifs de population et les densités sont, en revanche, faibles à très faibles dans les provinces amazoniennes. Les plus fortes densités de population s'observent dans les cantons où se situent les villes d'importance nationale (Quito, la capitale, et Guayaquil, cité portuaire) et régionale. Cela dit, les densités rurales peuvent être également élevées. C'est le cas dans de nombreux cantons de la Sierra, en particulier dans sa partie centrale, où les populations indiennes sont très largement majoritaires. C'est également le cas à l'Ouest du pays où la population rurale se concentre en auréoles à proximité des villes les plus importantes ainsi que le long d'une large frange, au nord de Guayaquil, correspondant au sub-andin côtier et au bassin amont du fleuve Guayas. Ces fortes densités de la région de la Côte sont liées aux cultures d'exportation passées et actuelles (cacao, café, banane) qui, depuis le XIXe siècle, ont été à l'origine de forts courants de migration en provenance de la Sierra.

³ Pour des exemples de cartographies de ce type, voir entre autres : D'Ercole, 1991 ; D'Ercole, 1996 ; Chardon, 1996 ; Manche, 1998.

⁴ Pour les notions de résistance et de résilience, voir notamment Dauphiné, 2001, p.20-22.

⁵ Des études de ce type sont en cours de réalisation dans le cadre du programme "Système d'Information et Risques dans le District Métropolitain de Quito" développé par l'IRD en collaboration avec la municipalité de Quito. Voir également Lutoff (2000) pour la ville de Nice et Baussart et al. (2000) pour la ville d'Annecy.

⁶ Mais aussi pour obtenir les crédits destinés à financer leur action. La possibilité d'obtenir les financements de bailleurs de fonds internationaux n'est, en effet, pas indépendante du nombre de bénéficiaires des projets développés par les ONG's, du moins lorsqu'il s'agit de projets de développement (la situation peut-être différente lorsqu'il s'agit d'intervenir dans des zones à conflit).



II - La carte de vulnérabilité

L'ensemble de la population équatorienne n'affiche pas la même propension à anticiper un phénomène destructeur, à l'affronter, à lui résister et à récupérer après sa survenue⁷. Il est donc essentiel, pour l'analyse de risque, de différencier cette population suivant des critères et des degrés de vulnérabilité. Dans le cadre de cette étude, compte tenu du temps et des données disponibles, les vulnérabilités spécifiques à tel ou tel aléa n'ont pas été considérées (par exemple, la vulnérabilité structurale du bâti face à l'aléa sismique, l'existence et la qualité des systèmes de protection contre les inondations). Les critères de vulnérabilité retenus sont valables quel que soit le type d'aléa (et c'est pour cette raison que la question de la vulnérabilité est traitée avant celle des aléas). Ces critères reposent en même temps sur des données disponibles à l'échelle du canton⁸.

⁷ D'après la définition de la vulnérabilité de Blaikie et al., 1994.

⁸ Les données utilisées ont été fournies par le SIISE (Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador). Cet organisme, initialement créé

Les données utilisées concernent cinq domaines : eau / assainissement, santé, éducation, pauvreté, part de la population active agricole. Dans chaque domaine plusieurs indicateurs ont été considérés. Par exemple, dans celui de la santé ont été retenues les variables suivantes : taux de mortalité des enfants de moins de 5 ans ; taux de mortalité lié à la pauvreté ; pourcentage d'accouchements assistés par un médecin ; nombre de lits pour 10000 habitants. Suite à l'analyse des différentes variables, tous les cantons ont obtenu une valeur (de 1 à 3)⁹ dans chacun des cinq domaines. En concertation avec les ONG's, ces valeurs ont été pondérées (la question de l'eau et de l'assainissement a, par exemple, été jugée essentielle, d'où un fort coefficient de pondération).

par la coopération japonaise et aujourd'hui en passe d'être transféré à l'Etat Equatorien, est chargé de la constitution de données statistiques à l'échelle du pays (données économiques et sociales). Le SIISE a directement collaboré avec l'équipe de recherche dans le choix des critères de vulnérabilité.

⁹ Valeur 1 : situation de moindre vulnérabilité ; valeur 3 : situation de plus grande vulnérabilité.

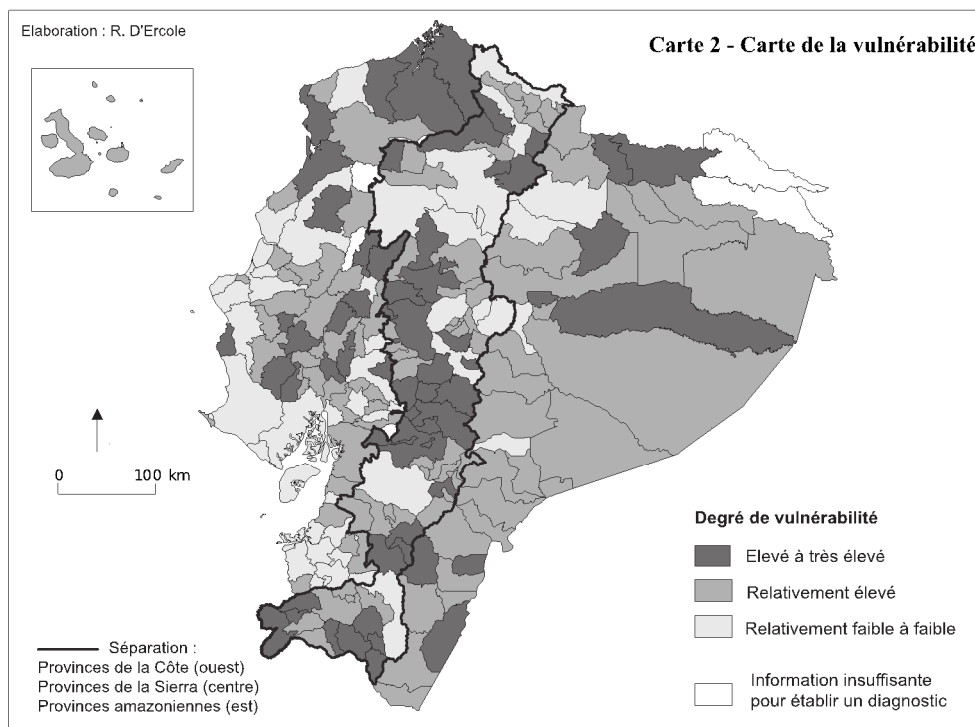


Tableau 1

Domaines considérés pour l'analyse de vulnérabilité	Valeur minimum avant pondération	Valeur maximum avant pondération	Coefficient de pondération	Valeur minimum après pondération	Valeur maximum après pondération
Eau / Assainissement	1	3	4	4	12
Santé	1	3	2	2	6
Education	1	3	2	2	6
Pauvreté	1	3	2	2	6
% de la population active agricole	1	3	1	1	3
				Total = 11	Total = 33

La somme des valeurs obtenues dans les cinq domaines a ainsi permis d'obtenir un indice de vulnérabilité permettant de hiérarchiser et de cartographier les cantons (tableau 1 et carte 2).

La valeur maximum de l'indice est 33. Cette valeur correspondant à une vulnérabilité maximale compte tenu des critères choisis, a été atteinte par deux cantons : Colimes et Palenque (situés respectivement dans les provinces côtières du Guayas et de Los Ríos).

La carte résultante (carte 2), proposée ici en trois classes¹⁰, indique que les plus fortes vulnérabilités concernent surtout les cantons de la Sierra, notamment la Sierra centrale, ainsi que certains espaces côtiers, en particulier au nord-ouest, dans la province d'Esmeraldas, où la population est majoritairement de descendance africaine. Les cantons amazoniens présentent globalement une moindre vulnérabilité. Les cantons affichant la

¹⁰ Ces trois classes sont par la suite retenues pour réaliser la carte de risque. Dans le cadre de l'étude, une carte de vulnérabilité en 6 classes a également été réalisée et analysée.



vulnérabilité la moins élevée sont les cantons ruraux (essentiellement côtiers) qui bénéficient d'un certain dynamisme économique de par leurs activités agro-exportatrices et ceux qui comportent les principales villes du pays. C'est en effet dans les villes, même s'il existe d'importants noyaux de population marginalisée, que les conditions de vie sont les meilleures (ou les moins défavorables) que ce soit en matière de services essentiels (comme l'approvisionnement en eau), de santé et d'éducation.

III - La carte des aléas

Pour bâtir la carte des aléas d'origine naturelle par canton (carte 3b), une phase préalable a été nécessaire avec la cartographie multi-phénomène à l'échelle du pays (carte 3a). Le travail a consisté à rassembler l'information préexistante, cartographique et bibliographique, émanant de différentes institutions nationales (Institut de Géophysique, Institut de Météorologie et d'Hydrologie, Institut Géographique Militaire, Ministère de l'Agriculture) et internationales (Institut de Recherche pour le Développement, Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Désastres de Louvain, La RED). Six aléas ont été retenus en fonction de leur récurrence et de leurs conséquences négatives pressenties : les aléas géophysiques (séismes, tsunamis, éruptions volcaniques) et les aléas climatiques et morphoclimatiques (inondations, mouvements en masse, sécheresses). La constitution de la carte multi-phénomène est issue du recoupement de l'information susmentionnée à l'exception des secteurs enclins aux mouvements en masse qui ont été localisés à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT), grâce au SIG « Savane » développé par l'IRD. Ce logiciel a servi au traitement de l'ensemble des données et des opérations d'uniformisation, de conversion de format, de mise à l'échelle et de géoréférencement ont permis d'aboutir à cette première carte synthétique nationale. Afin de ne pas trop surcharger cette dernière, ont été gardées, pour chacun des six aléas, uniquement les classes correspondant aux dangers les plus élevés (zones sujettes aux sécheresses les plus sévères, zones les plus exposées aux

inondations, volcans actifs...)¹¹. La carte multi-phénomène correspond à une représentation spatiale des dangers potentiels fondée sur les événements passés et sur des études prospectives (cas des séismes). Elle n'est qu'une approximation en raison de l'échelle utilisée et de l'inégale qualité de l'information disponible. Elle présente néanmoins l'avantage d'établir un panorama synthétique novateur de la situation de l'Equateur face aux aléas. Enfin, elle constitue le point de départ de la deuxième étape du travail permettant d'approfondir l'analyse des aléas par canton.

La carte du degré synthétique d'aléas (carte 3b) représente un indicateur quantitatif global des menaces d'origine naturelle par canton. Chacun des 219 cantons a été classé en considérant les différents aléas auquel il est exposé, sur une échelle de 0 à 3 ou de 0 à 2, le choix de l'échelle étant lié à la probabilité d'occurrence et à la gravité des phénomènes considérés (cf. tableau 2). La valoration a été établie à partir de plusieurs critères disponibles et adaptés aux caractéristiques de chacun des phénomènes considérés : la magnitude attendue (séismes), l'intensité (sécheresses), l'extension (mouvements en masse, inondations), la dangerosité (éruptions volcaniques), la récurrence (inondations) et la potentialité (tsunamis, séismes et éruptions volcaniques)¹². La somme des valeurs assignées à chaque canton pour chacun des aléas permet d'obtenir un degré synthétique de menace. La valeur maximale possible (16) n'a pas été atteinte dans la mesure où aucun canton n'est en même temps menacé par les six types d'aléas. Le canton de Portoviejo situé dans la province côtière de Manabi enregistre la valeur la plus importante (12, cf. tableau 2).

¹¹ Des cartes plus détaillées, correspondant à chacun des aléas ont également été réalisées.

¹² Dans les cas où au moins 60 % du territoire cantonal est soumis à un phénomène donné, l'intégralité du territoire a été considéré comme étant susceptible de connaître des dégâts et perturbations et correspond donc au niveau d'aléa maximal.

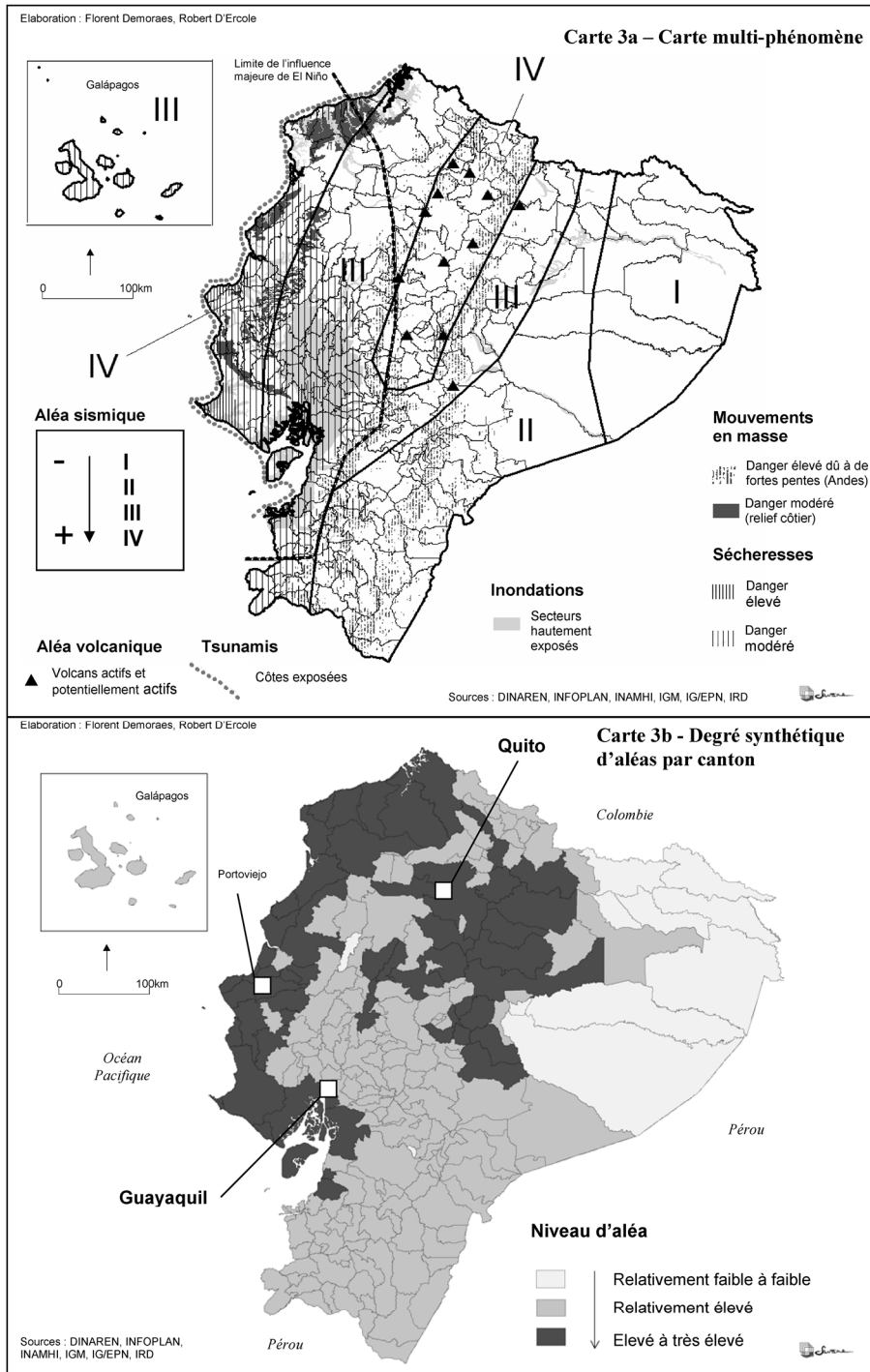




Tableau 2

	Valoration	Exemple du canton Portoviejo
Aléa sismique		
zone IV (danger le plus élevé)	3	3
zone III	2	
zone III	1	
zone I (danger le moins élevé)	0	
Aléa volcanique		
abords directs des volcans actifs (Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi)	3	
abords d'autres édifices volcaniques qui ont eu une activité historique	2	
cantons situés à proximité d'autres volcans	1	
cantons non exposés aux éruptions volcaniques	0	0
Inondations		
zones inondées lors des deux derniers principaux ENOA (1982 et 1998)	3	3
zones inondées soit en 1982 soit en 1998 ou à une autre date	2	
partie inférieure des grands bassins versants côtiers (zone de moins de 40m d'altitude)	1	
cantons qui n'ont pas connu d'inondations (à l'échelle à laquelle le travail a été réalisé)	0	
Mouvements en masse		
cantons andins présentant un fort potentiel d'instabilité des sols due à de fortes pentes	3	
cantons côtiers les plus exposés aux glissements	2	2
cantons côtiers légèrement exposés	1	
cantons situés en dehors des secteurs enclins aux mouvements en masse	0	
Sécheresses		
cantons exposés aux sécheresses les plus sévères (estimées à partir des déficits hydriques)	2	2
cantons exposés à des sécheresses modérées	1	
cantons non sujets aux sécheresses	0	
Tsunamis		
cantons situés sur la zone littorale la plus sismique	2	2
cantons littoraux moins exposés aux séismes	1	
cantons non côtiers	0	
	Maximum : 16	Total : 12

Les deux cartes permettent une analyse complémentaire. Avec la carte multi-phénomène il est possible de repérer les différents phénomènes susceptibles d'affecter l'espace équatorien. La Côte et le nord de la Sierra sont de toute évidence les espaces les plus exposés. La région côtière est sujette à tous les types d'aléas, volcanique excepté. Ce secteur est très largement exposé aux inondations notamment dans la partie inférieure du Guayas (en amont de Guayaquil, vers le nord) et correspond à la zone de plus forte incidence pluviométrique en cas de ENOA (augmentation des précipitations de 60%). La frange littorale est également soumise au plus fort aléa sismique et aux tsunamis.

Les déficits hydriques peuvent y être élevés et les sols enclins aux glissements y sont largement représentés notamment dans les reliefs côtiers. L'espace andin est caractérisé par la concentration d'édifices volcaniques actifs ou potentiellement actifs dans sa moitié nord. Il correspond aussi à une des zones les plus sismiques. Enfin les secteurs susceptibles aux mouvements en masse sont omniprésents. La partie amazonienne est essentiellement exposée à un faible aléa sismique et à des inondations le long des grands cours d'eau comme le rio Napo.

La deuxième carte permet d'apprécier, en trois classes, le degré d'exposition de chacun des cantons



aux 6 types d'aléas considérés dans l'étude¹³. Il ressort que la frange littorale et l'espace andin centre nord où se situent les deux métropoles du pays, Guayaquil et Quito, correspondent aux degrés synthétiques d'aléas les plus élevés comparativement au reste des cantons. Cet état concorde bien avec le diagnostic précédent. Ces deux ensembles géographiques sont exposés à un grand nombre d'aléas, qui plus est des plus fréquents et dangereux. L'espace andin méridional et le subandin côtier connaissent une situation intermédiaire tandis que le bassin amazonien se trouve globalement en situation de moindre exposition.

IV - La carte de risque à trois composantes (enjeu / vulnérabilité / aléa)

La carte de risque à trois composantes (carte 4) réunit l'information sur les enjeux, la vulnérabilité et les aléas. Comme cela a été indiqué dès l'introduction, cette carte ne représente que partiellement le risque dans la mesure où la dynamique positive, celle qui a pour effet de le réduire, n'est pas incorporée. Pour des raisons de commodité de lecture (compte tenu de l'échelle utilisée et de l'usage du noir et blanc), la carte présentée ici est une carte simplifiée. Elle représente trois niveaux de risque. Le niveau le plus élevé correspond aux cantons dont les degrés d'aléas et de vulnérabilité vont du relativement élevé au très élevé. Le niveau le plus faible caractérise les cantons dont le degré de menace et/ou le degré de vulnérabilité est (sont) faible(s) à relativement faible(s)¹⁴. Les enjeux sont pour leur part représentés par les espaces dont la densité de population est supérieure à 50 habitants au Km².

La carte fait ressortir cinq ensembles d'espaces à haut risque. Certains de ces espaces étaient déjà clairement délimités dans les cartes précédentes : la

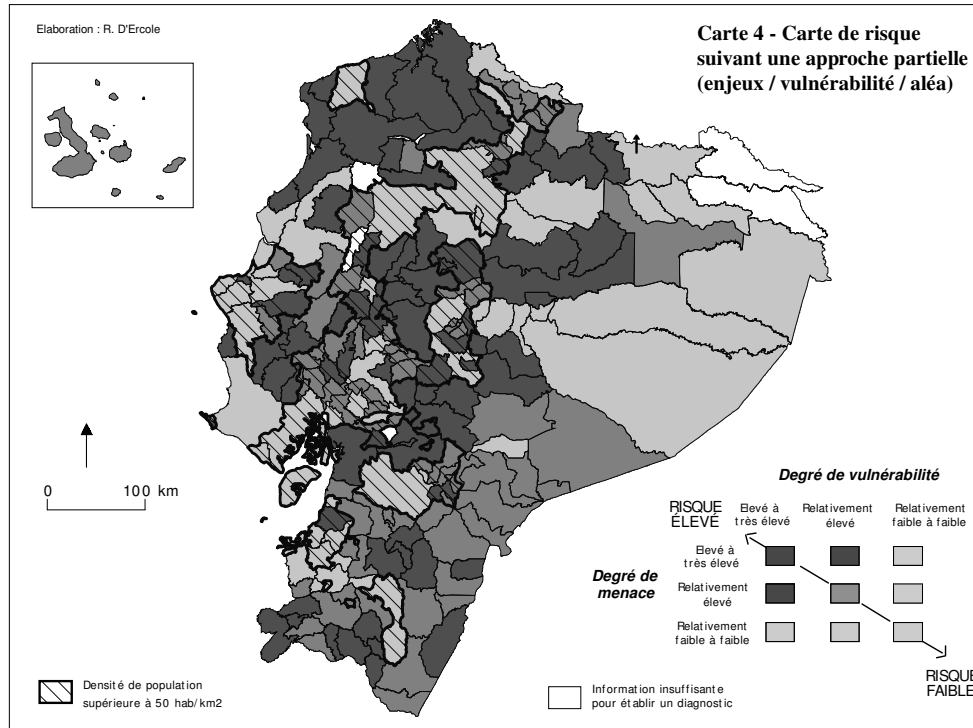
Sierra Centrale et le nord-ouest du pays (notamment la province d'Esmeraldas, à l'exception du canton où se situe sa capitale) qui présentent les degrés les plus élevés de vulnérabilité et de menace. Les autres espaces se situent dans le sub-andin côtier (est de la province de Manabí, nord de la province du Guayas et l'essentiel de la province de Los Ríos), dans le sud du pays, à proximité de la frontière péruvienne, et dans quelques cantons du sub-andin amazonien.

Les cantons où le risque est le moins élevé correspondent globalement à deux types de situations. Il s'agit des cantons qui affichent un degré de vulnérabilité faible à relativement faible, même si la menace peut être élevée (cas des cantons urbains). Il s'agit aussi des cantons dont la vulnérabilité peut être élevée mais dont le degré de menace est faible ou relativement faible (cas de certains cantons amazoniens)¹⁵.

¹³ Une carte comportant 5 classes a été réalisée dans le cadre du programme. La carte à 3 classes présentée ici a été retenue pour bâtir la carte de risque.

¹⁴ La carte en 9 classes réalisée dans le cadre de l'étude non seulement indique différents degrés de risque mais en même temps en dresse une typologie. Par exemple, le risque peut résulter d'un degré de vulnérabilité relativement élevé et d'un degré de menace élevé à très élevé. Il peut aussi résulter d'une situation inverse (degré de vulnérabilité élevé à très élevé et degré de menace relativement élevé). Il s'agit là de deux types de situations différentes, difficiles de hiérarchiser en terme de risque.

¹⁵ La carte simplifiée de risque présentée ici ne le montre pas, mais aucun canton ne présente à la fois les degrés les plus bas de vulnérabilité et de menace. Il n'existe donc pas de cantons pour lesquels le risque puisse être considéré comme faible ou très faible.

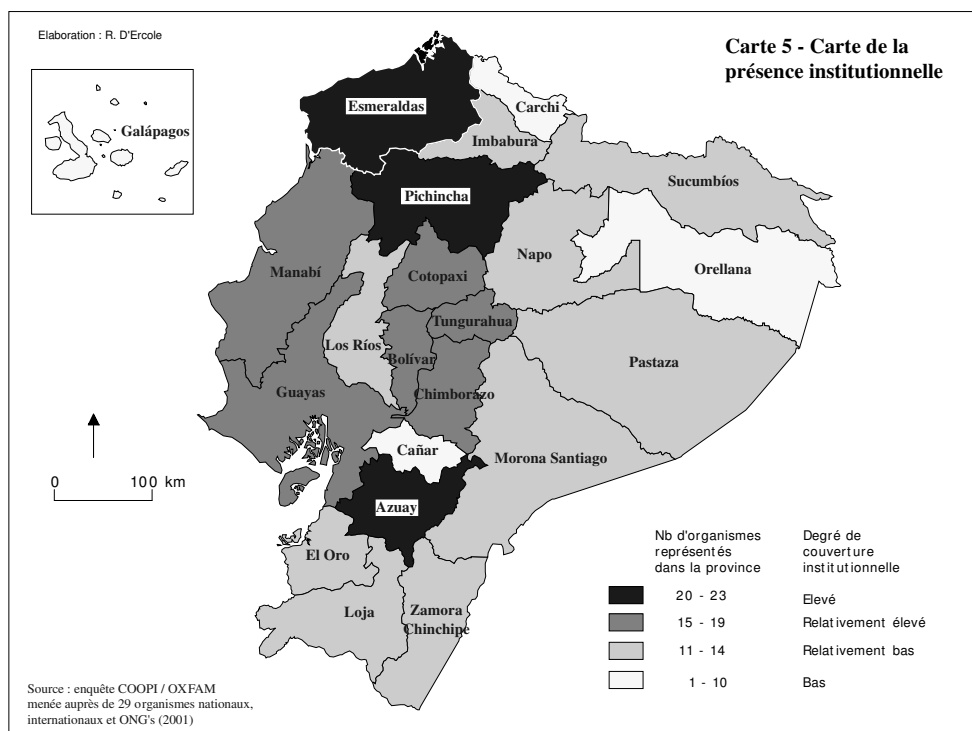


V. La carte de la présence institutionnelle

La présence institutionnelle constitue la composante positive du risque, celle qui tend à le réduire. Une enquête a été réalisée¹⁶ auprès des principaux organismes présents en Equateur (organismes nationaux, internationaux et ONG, 29 au total), en mesure d'intervenir à la suite de catastrophes en raison de leur capacité à mobiliser des fonds d'urgence et à intervenir rapidement sur le terrain. Les domaines d'intervention couvrent des besoins variés comme la santé, l'approvisionnement en eau potable, l'assainissement, la (re)construction ou la sécurité alimentaire. D'autres organismes (la Protection Civile par exemple) exercent en même temps un rôle de prévention des catastrophes et de préparation aux situations de crise.

L'enquête visait notamment à identifier les lieux où ces organismes sont représentés soit de manière permanente, soit de manière temporaire, mais effective au moment de l'enquête, en raison de projets en cours. Une cartographie de la présence institutionnelle par province et par domaine d'action a été réalisée. La carte 5 en constitue la synthèse et indique le nombre d'institutions présentes par province quel que soit le domaine d'intervention. En raison des structures physiques et relationnelles mises en place, les lieux où la présence institutionnelle est la plus forte sont en même temps ceux où la capacité d'action est la plus rapide et la plus efficace, ce qui constitue un facteur de réduction des risques.

¹⁶ Enquête réalisée par Annamaria Selleri et Monica Trujillo, membres de l'équipe. R. D'Ercole a été chargé de la cartographie et de l'analyse spatiale.



La carte indique une présence institutionnelle particulièrement forte dans les provinces de la Sierra et de la Côte, à l'exception des provinces les plus méridionales. Ces dernières, de même que les provinces amazoniennes auxquelles il convient d'ajouter les provinces du Carchi et de Cañar, présentent une couverture institutionnelle sensiblement moins élevée.

La province du Pichincha où sied Quito est celle où la représentation est la plus importante. Les programmes développés ne sont pas plus nombreux que dans d'autres provinces mais la grande majorité des organismes enquêtés y sont présents en raison des avantages offerts par la capitale. La province de l'Azuay, avec la ville de Cuenca, constitue un lieu stratégique, pour le sud du pays. Sa position et la qualité de vie qui la caractérise, explique la concentration de nombreux organismes. Pour sa part, la forte présence institutionnelle observée dans la province d'Esmeraldas s'explique à la fois par des raisons conjoncturelles (de nombreux projets de réhabilitation suite au Niño de 1998-99) et des

raisons structurelles (pauvreté de sa population majoritairement de descendance africaine). Les provinces du Guayas et de Manabí, globalement plus riches, connaissent une forte représentation en raison des programmes de réhabilitation post-Niño et de la présence de la ville de Guayaquil, première ville du pays en nombre d'habitants et comportant d'importants noyaux de population urbaine marginale. Les provinces du Cotopaxi, du Tungurahua, de Bolívar et du Chimborazo concentrent en plein cœur des Andes les populations les plus pauvres du pays, essentiellement indiennes. De nombreux programmes de développement y sont menés, de même que des programmes de réhabilitation suite aux éruptions du volcan Tungurahua. Ces dernières ont, en effet, occasionné d'importants dommages, surtout dans le domaine agricole, et plusieurs évacuations depuis 1999.

Les autres provinces sont nettement moins représentées soit en raison d'une faible à très faible densité de population (provinces amazoniennes) ou



d'un niveau de vie qui ne justifie pas la présence de nombreux organismes. C'est le cas de la province du Carchi qui a longtemps profité de sa situation frontalière avec la Colombie et des échanges associés à cette position. La situation de la province du Carchi, de même que celle d'autres provinces-frontières (Sucumbios) pourrait cependant évoluer. La représentation des organismes est susceptible de s'accroître rapidement en raison d'un conflit colombien dont les effets se font ressentir en Equateur (problèmes liés aux réfugiés notamment). Pour leur part, les provinces du sud connaissent une moindre représentation des organismes en raison de leur relative richesse (cas de la province bananière de El Oro), d'une faible densité de population ou de problèmes frontaliers en grande partie réglés depuis la paix signée entre le Pérou et l'Equateur en 1998 à la suite de conflits récurrents depuis 1942.

côtier, le sub-andin amazonien et le sud de la Sierra. Certaines provinces regroupent un grand nombre de cantons de ce type, ce qui est le cas des provinces de Los Rios (province côtière située entre Quito et Guayaquil), de Imbabura (nord de la Sierra), du Cañar (centre sud de la Sierra), de Loja (extrême sud-ouest du pays) et du Napo sur le versant amazonien. Il s'agit de cantons et de provinces, qui, tout en affichant un degré de risque élevé ne disposent pas d'un dispositif de réduction du risque ou du moins de réduction des conséquences de catastrophes potentielles. En revanche, certains espaces considérés à haut risque (comme la Sierra Centrale et la province d'Esmeraldas au nord-ouest du pays) disposent sinon les moyens de limiter l'occurrence d'une catastrophe, du moins la possibilité d'en réduire les effets.

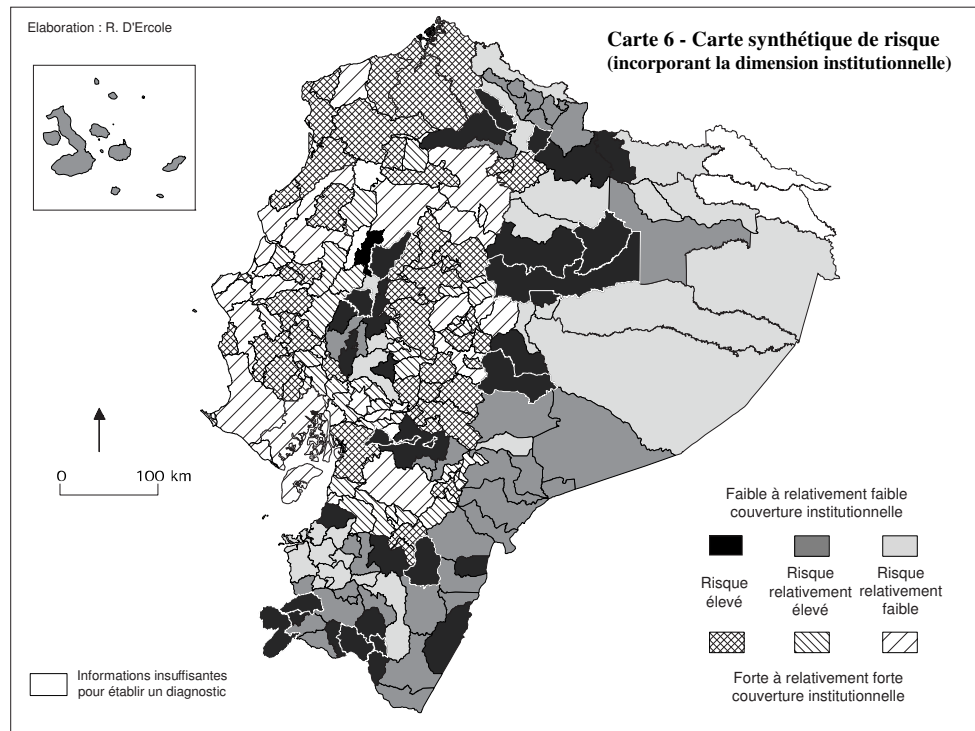
VI - La carte de risque incorporant la dimension institutionnelle

A la différence de la carte de risque à trois composantes (carte 4), la carte 6 incorpore la dynamique positive du risque à travers la couverture institutionnelle. Toutes les composantes du risque sont ici réunies à l'exception des enjeux dont la représentation s'est révélée difficile pour des questions de lisibilité¹⁷. A l'appui des nuances de gris et du jeu de trames, cette carte propose deux niveaux de lecture : le degré de risque (correspondant aux informations fournies par la carte 4) et la présence institutionnelle (informations de la carte 5)¹⁸. Le résultat visuel est très différent de celui de la carte 4. En effet, si la carte 6 permet de repérer l'ensemble des cantons où le risque a été considéré comme élevé (compte tenu de degrés élevés de menace et de vulnérabilité), ce sont les cantons à la fois à haut risque et à faible couverture institutionnelle qui ressortent le plus.

Ces cantons se répartissent en tâches discontinues mais concernent plus particulièrement le sub-andin

¹⁷ Les enjeux (densités de population) ont été représentés dans la carte élaborée dans le cadre de l'étude, cette dernière ayant été réalisée avec des couleurs et à une plus grande échelle.

¹⁸ En matière de couverture institutionnelle, les cantons ont été caractérisés suivant les informations obtenues à l'échelle provinciale, ce qui constitue une limite méthodologique. Une analyse plus fine de la présence institutionnelle permettrait vraisemblablement de procéder à des différenciations entre les cantons situés dans une même province.

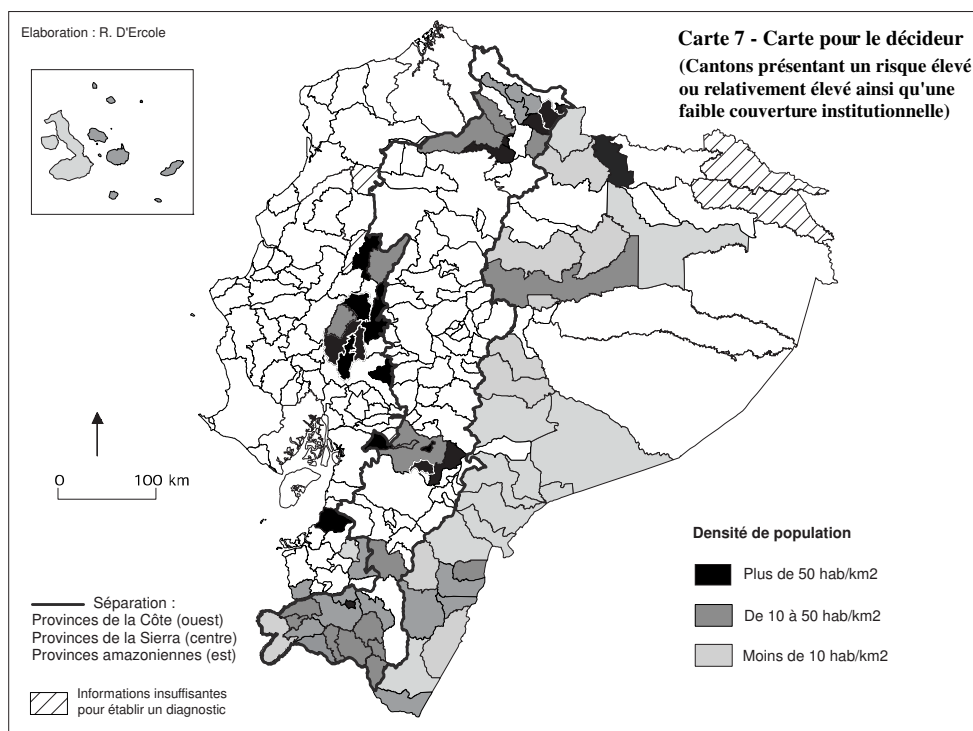


VII - La carte pour le décideur

La carte 6 fournit une information synthétique recouvrant l'ensemble des cantons. Il est ainsi possible d'avoir une idée globale de la répartition des cantons à plus haut risque à l'échelle du pays, tout en ayant la possibilité d'établir un diagnostic canton par canton¹⁹. Ceci dit, ce type de carte ne répond pas directement aux questions précises que se posent les utilisateurs. La carte 7, dénommée carte pour le décideur, tente de répondre à l'une des questions que se posent les ONG's commanditaires de l'étude : quels sont les cantons à forte densité de population, à haut risque et à faible couverture institutionnelle ? En d'autres termes : quels sont les cantons dont les besoins, importants, sont insuffisamment pris en compte par les organismes nationaux et internationaux ?

Dans cette perspective, la carte proposée est le résultat d'une restriction de l'information cartographique fournie par la carte 6 (restriction facilement réalisable à l'aide d'un SIG). Cette carte fait ressortir quelques cantons des provinces septentrionales (provinces andines du Carchi et d'Imbabura), d'une province du centre-sud de la Sierra (Cañar) ainsi qu'une grande partie des cantons de la province côtière sub-andine de Los Ríos. Le fait que la priorité ait été accordée jusqu'à présent aux provinces andines centrales, jugées plus pauvres, explique que l'on ait eu tendance à délaissier les provinces andines du nord et du centre-sud.

¹⁹ Compte tenu notamment des informations plus détaillées que fournit le reste de l'étude dans les différentes phases de l'analyse du risque.



L'étude montre cependant le fort degré de vulnérabilité de certains de leurs cantons, notamment ceux qui présentent une faible couverture institutionnelle. Par ailleurs, il s'agit d'espace n'ayant pas connu de catastrophes notables depuis longtemps. La plus grosse d'entre elles, liée à un séisme, a affecté la province d'Imbabura en 1868 et détruit sa capitale, Ibarra. Le volume de présence institutionnelle est cependant susceptible d'évoluer rapidement dans le nord de la Sierra, notamment dans la province du Carchi, en raison des problèmes liés à l'afflux de réfugiés colombiens. Pour sa part, la province de Los Rios concentre le plus grand nombre de cantons où la présence d'organisme nationaux et internationaux peut être nécessaire pour réduire les risques encourus. Il s'agit surtout de se protéger du risque d'inondation et de réduire une vulnérabilité particulièrement élevée.

Enfin, les cantons méridionaux, proches de la frontière péruvienne, de même que plusieurs cantons amazoniens, en dépit d'une densité plus faible, méritent une attention particulière en raison de degrés de menace et vulnérabilité élevés et d'une faible couverture institutionnelle. Dans les cantons du sud, la situation est relativement inquiétante dans la mesure où les organismes nationaux et internationaux ont très sensiblement réduit leur présence depuis la paix signée en 1998 entre l'Equateur et le Pérou.



Conclusion

L'étude réalisée pour le compte des ONG COOPI et OXFAM a permis de mener une réflexion sur la manière d'évaluer et de cartographier le risque et de proposer une méthode de recherche. La démarche consistant notamment à incorporer la dynamique positive du risque se veut novatrice, sinon en conception, du moins dans son application.

La méthode présente cependant des limites. Ces dernières tiennent en partie aux choix des variables destinées à caractériser chacune des composantes du risque. Ce choix, et ce fut le cas pour la présente étude, est souvent restreint par les délais impartis, ce qui oblige à utiliser au mieux les données existantes et limite les possibilités d'en créer de nouvelles. C'est ainsi que les vulnérabilités spécifiques à tel ou tel aléa n'ont pas été considérées. De même la prise en compte de la présence institutionnelle dans les cantons est essentiellement quantitative. Le nombre d'organismes présents est en soi un indicateur mais il n'est pas garant de la qualité de leur action. Une autre limite tient aux résultats obtenus sur le plan cartographique. L'intégration de l'ensemble des composantes du risque et les difficultés de représentation ont rendu nécessaires les regroupements de modalités, les simplifications. Le résultat est donc inévitablement très synthétique, réducteur de la réalité. En revanche, et c'était l'un des principaux objectifs de l'étude, il place l'accent sur certains espaces envers lesquels l'attention mérite d'être portée parce que le risque y est élevé et les possibilités actuelles de le réduire, limitées. Des études plus approfondies méritent d'être réalisées sur ces espaces sensibles et les ONG les ont d'ores et déjà programmées pour les années à venir.

Au-delà des méthodes et des résultats, l'étude présentée dans cet article fournit un exemple concret de géographie appliquée, de réponse du chercheur à une demande bien ciblée. Le principal inconvénient a tenu au peu de temps accordé (dans le cas présent, trois mois pour réaliser l'étude). Les avantages ont cependant pris le pas dans la mesure où une véritable communication a pu s'établir tout au long du programme entre le chercheur et l'utilisateur du produit de la recherche.

Bibliographie

- BAUSSART O., CAMBOT V., D'ERCOLE R., GNEMMI L., PIGEON P. & WATTEZ J. (2000) – ANALYSE DU SYSTEME URBAIN D'ANNECY ET DEFINITION DE SES ENJEUX – DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE, UNIVERSITE DE SAVOIE, 96 P.
- BLAIKIE P., CANNON T., DAVIS I., WISNER B. (1994) - *AT RISK. NATURAL PEOPLE'S VULNERABILITY, AND DISASTERS* - ROUTLEDGE, LONDON AND NEW YORK, 280 P.
- CHARDON A-C. (1996) - CROISSANCE URBAINE ET RISQUES «NATURELS». EVALUATION DE LA VULNERABILITE A MANIZALES, ANDES DE COLOMBIE - THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE JOSEPH FOURIER, GRENOBLE, 387 P.
- DAUPHINE A. (2001) – *RISQUES ET CATASTROPHES. OBSERVER, SPATIALISER, COMPRENDRE, GERER* – ARMAND COLIN, PARIS, 288P.
- D'ERCOLE R. (1991) - VULNERABILITE DES POPULATIONS FACE AU RISQUE VOLCANIQUE. LE CAS DE LA REGION DU VOLCAN COTOPAXI (EQUATEUR) - THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE JOSEPH FOURIER, GRENOBLE, 460P.
- D'ERCOLE R. (1996) - REPRESENTATIONS CARTOGRAPHIQUES DES FACTEURS DE VULNERABILITE DES POPULATIONS EXPOSEES A UNE MENACE VOLCANIQUE. APPLICATION A LA REGION DU VOLCAN COTOPAXI (EQUATEUR) - *BULLETIN DE L'IFEA*, TOME 25 N°3, P.479-507.
- LUTOFF C. (2000) - LE SYSTEME URBAIN NIÇOIS FACE A UN SEISME : METHODE D'ANALYSE DES ENJEUX ET DES DYSFONCTIONNEMENTS POTENTIELS - THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE DE SAVOIE, CHAMBERY, 368P.
- MANCHE Y. (1998) – CARTOGRAPHIE MULTIRISQUES : UNE METHODE SEMI-AUTOMATIQUE – *INGENIERIES*, HORS SERIE 1998 (RISQUES NATURELS : AVALANCHES, CRUES, INONDATIONS, LAVES TORRENTIELLES, INCENDIES DE FORET), P.115-119.
- TRUJILLO M., ORDOÑEZ A., HERNÁNDEZ R. (2000) - *RISK-MAPPING AND LOCAL CAPACITIES. LESSONS FROM MEXICO AND CENTRAL AMERICA* – OXFAM GB, ISBN 0 85598 420 1, 78 p.





1.2 – Vulnérabilité d'un réseau routier liée à son exposition aux aléas à l'échelle d'une ville

Réf. 2 - F. DEMORAES, R. D'ERCOLE, G. ATIAGA, P. METZGER. (2005). - *Seismic vulnerability of the bridges and overpasses along critical roads and mobility disruption within the Metropolitan District of Quito (Ecuador)* - *Revue Internationale PANGEA, CIFEG*, n°43/44, pp. 37-52.





Seismic vulnerability of the bridges and overpasses along critical roads and mobility disruption within the Metropolitan District of Quito (Ecuador)

Vulnérabilité sismique des ponts et passages surélevés le long des axes enjeux et perturbation de la mobilité dans le District Métropolitain de Quito (Equateur)

Florent Demoraes (1), Robert D'Ercole (2), Galo Atiaga (3), Pascale Metzger (4)

(1) Chercheur associé, laboratoire EDYTEM – Université de Savoie, 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex, France
membre de l'UR Environnement urbain, IRD (adresse cf. ci-dessous) e-mail : florent.demoraes@univ-savoie.fr

(2) Directeur de recherche à l'IRD (UR Environnement urbain)

Centre de Recherche d'Île de France, 32 avenue Varagnat, 93143 Bondy Cedex, France. e-mail : dercole@bondy.ird.fr

(3) Diplômé de la Faculté d'Ingénierie Civile de l'Ecole Polytechnique Nationale, Equateur. e-mail : gatiaga@yahoo.com

(4) Chargée de Recherche, IRD, LA REUNION – UR Environnement Urbain, BP 172, 97492 Sainte Clotilde, France.
e-mail : pascale.metzger@la-reunion.ird.fr

Texte reçu le 01 mars 2005

Abstract

This paper proposes a reflection about the mobility disruptions that are likely to occur within the Metropolitan District of Quito as a result of a road serviceability loss due to the damages that could be experienced by the elevated road structures, should an earthquake happen. This paper briefly presents the methodology we developed to pinpoint the urban critical roads, of which the closure is likely to be highly detrimental to the traffic and to the functioning of the whole district, and on which the stakeholders' attention should be prioritised. Secondly, it presents a diagnosis of the seismic damage probability for every elevated road structures located along the urban critical roads. This analysis was carried out in partnership with the National Polytechnic High School of Ecuador. Some scenarios were elaborated and allowed forecasting the mobility disruptions, which are to be expected within the capital town of Ecuador in case of a very severe earthquake (PGA = 0.40g). The paper is a result of a study about urban risks carried out within the framework of the "Information System and Risks in the Metropolitan District of Quito Programme" by the Development Research French Institute (IRD) jointly with the Municipality of Quito.

Key words: Urban critical roads, elevated road structures, mobility, seismic hazard, vulnerability, risks, scenarios, preventive planning, Quito.

Résumé

L'objectif de l'article est de proposer une réflexion sur les perturbations possibles de la mobilité du District Métropolitain de Quito associées à la perte d'opérationnalité des axes enjeux compte tenu des dégâts subis par les ouvrages d'art routiers aériens en cas de séisme. L'article présente brièvement la méthodologie mise au point pour identifier les voies routières essentielles, celles dont la fermeture serait le plus préjudiciable pour les communications et le fonctionnement du district et sur lesquelles l'attention des gestionnaires doit être prioritaire. En deuxième lieu, une analyse de la probabilité d'endommagement en cas de séisme, ciblée sur les ponts situés le long des axes enjeux et menée en partenariat avec l'Ecole Polytechnique Nationale équatorienne, est présentée. Elle permet de déboucher sur des scénarii mettant en évidence les graves perturbations de la mobilité que pourrait connaître la capitale de l'Equateur en cas de séisme très sévère (PGA = 0.40g). L'article est issu d'une étude sur les risques en milieu urbain réalisée dans le cadre du programme « Système d'information et risques dans le District Métropolitain de Quito » par l'Institut de Recherche pour le Développement en collaboration avec la municipalité de Quito.

Mots-clefs : Axes urbains enjeux, ouvrages d'art routier, mobilité, aléa sismique, vulnérabilité, risque, scénarios, planification préventive, Quito.

**Resumen**

El objetivo de este artículo es el de proponer una reflexión sobre las perturbaciones posibles de la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito asociada con la pérdida de operatividad de los ejes viales esenciales debida a los daños que podrían experimentar los puentes en caso de sismo. El artículo presenta brevemente la metodología desarrollada para identificar las vías esenciales, aquellas cuyo cierre perjudicaría gravemente las comunicaciones y el funcionamiento del distrito y sobre las cuales la atención de los gestores debe ser prioritaria. En segundo lugar se presenta un análisis de la probabilidad de daño en caso de sismo, enfocado en los puentes ubicados a lo largo de los ejes viales esenciales. Este análisis fue llevado a cabo en colaboración con la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. Permite llegar a escenarios que resaltan las graves perturbaciones de la movilidad que podría experimentar la capital del Ecuador en caso de sismo muy severo (PGA = 0.40g). El artículo es el resultado de un estudio de riesgos en medio urbano llevado a cabo en el marco del programa "Sistema de información y riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito" por el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) conjuntamente con la Municipalidad de Quito.

Palabras claves: Vías urbanas esenciales, obras viales, movilidad, peligro sísmico, vulnerabilidad, riesgo, escenarios, planificación preventiva, Quito.

INTRODUCTION

Siège de la capitale de l'Equateur, le District Métropolitain de Quito (DMQ) rassemble un peu plus de 1,8 million d'habitants en 2001 et se situe dans une des zones les plus exposées à l'aléa sismique à l'échelle nationale¹. Depuis l'arrivée des Espagnols au début du XVI^e siècle, 23 séismes d'intensités supérieures à VI ont été ressentis à Quito, dont 8 d'une intensité supérieure à VII². Le dernier tremblement de terre qui a affecté la ville, bien que de façon modérée, date de 1987 (séisme d'une magnitude de 6,9 localisé dans la zone sub-andine orientale). Les dégâts les plus sérieux ont affecté les ensembles architecturaux anciens du centre historique, classé depuis 1978 patrimoine de l'humanité.

Diverses initiatives visant à améliorer la connaissance du risque sismique à Quito ont été impulsées par les pouvoirs publics municipaux en collaboration avec différentes universités et organismes scientifiques internationaux.

Ce fut notamment le cas au début de la décennie 90 avec un projet pilote de scénario sismique qui a permis de progresser fortement en matière de connaissance des structures des sols, d'aléa sismique et de vulnérabilité³. Le présent article est issu d'une étude s'inscrivant dans la même logique, réalisée en 2002 en partenariat avec l'Ecole Polytechnique Nationale équatorienne⁴. Celle-ci a été menée dans le cadre du programme « Système d'Information et Risques dans le District Métropolitain de Quito » conduit entre 1999 et 2004 par l'Institut de Recherche pour le Développement en collaboration avec la municipalité de Quito. Les analyses de risques à Quito avaient jusqu'alors été menées sur les aléas ou s'appuyaient sur une étude préalable de ces derniers.

INTRODUCTION

The Metropolitan District of Quito (MDQ), location of the capital of Ecuador, has a population of a few more than 1,8 million in 2001 and is situated in one of the most exposed zones to seismic hazard at the national scale¹. Since the arrival of the Spanish at the beginning of the 16th century, 23 earthquakes with intensities higher than VI have been felt in Quito, among which 8 with intensities higher than VII². The last earthquake, which moderately affected the city, was in 1987 (with a magnitude of 6.9 and was located in the eastern sub-andean zone). More serious damages have affected the old buildings of the historical centre, classified as a World Heritage Site since 1978.

Various initiatives aiming to improve the knowledge of the seismic risk in Quito have been carried out by the public authorities in collaboration with different universities and international scientific institutes.

This was the case at the beginning of the nineties with a pilot seismic project, which allowed great progress of the knowledge of the soil structures, seismic hazards and vulnerability³. This paper is derived from such a study carried out in 2002 in partnership with the National Polytechnic High School of Ecuador⁴. This study is part of the "Information System and Risks of the Metropolitan District" Programme carried out between 1999 and 2004 by the Institut de Recherche pour le Développement in collaboration with the Quito Municipality. Previous risk analyses in Quito were focused on hazards or were based on a preliminary study of the latter. In the mentioned programme, the focus is on the contrary firstly on the strategic urban

¹ Sur une échelle d'aléa croissante échelonnée de I à IV, Quito se trouve dans la zone IV (Code Equatorien de la Construction, 2000) d'après l'Institut de Géophysique de l'Ecole Polytechnique Nationale équatorienne. / On a rising hazard scale grading from I to IV, Quito is placed in the zone IV (Ecuador Code of Construction, 2000) after the Geophysics Institute of the National Polytechnic School of Ecuador.

² CHATELAIN J.L., et al. 1994.

³ EPN - GeoHazards International - MDMQ - ORSTOM - OYO Corporation, 1995.

⁴ ATIAGA G., DEMORAES F., 2002.



Dans le cadre du programme, au contraire, l'accent a d'abord été placé sur les enjeux de fonctionnement de la ville, puis sur leur vulnérabilité. En effet, l'hypothèse a été de considérer que pour prévenir le risque de façon efficace au sein d'un territoire urbain, lieu de concentration de populations, de fonctions urbaines et de richesses, il était indispensable de cibler l'analyse sur les éléments et les espaces essentiels pour son fonctionnement, dans la mesure où leur détérioration ou perte, compte tenu de dysfonctionnements internes ou de leur exposition à un aléa, constituerait un très grave handicap pour la ville. Le risque correspond donc à la possibilité qu'une société de perdre ses enjeux et il est d'autant plus grand que les enjeux sont vulnérables⁵.

La mobilité, c'est-à-dire l'ensemble des déplacements effectués par les citoyens de façon contrainte (travail, éducation...) ou non (loisirs, visites...) par le biais de moyens de transport individuels ou collectifs généralement interconnectés, est fondamentale pour le fonctionnement d'un territoire urbain. L'interruption des flux de personnes et de marchandises, ainsi que les réductions ou pertes d'accessibilité de certains espaces d'intérêt majeur, peuvent être lourdes de conséquence pour la ville. Ces interruptions peuvent par exemple résulter de l'endommagement ou de la destruction des ouvrages d'art routier suite à un séisme. La rupture d'un pont peut rendre impossible le franchissement d'une rivière, d'un ravin. Elle est également susceptible, dans d'autres cas, de bloquer la circulation sur une voie située en dessous du pont effondré, à cause de l'amoncellement de débris. Ceci est d'autant plus problématique que les axes majeurs de la ville sont concernés.

Dans ce contexte, l'objectif de l'article est de proposer une réflexion sur les perturbations possibles de la mobilité dans le District Métropolitain de Quito (DMQ), liées à la perte d'opérationnalité de ses principaux axes routiers compte tenu des dégâts subis par les ouvrages d'art en cas de séisme. Dans un premier temps, l'article présente brièvement la méthodologie mise au point pour identifier ces axes enjeux, axes essentiels dont la fermeture serait la plus préjudiciable pour les communications et le fonctionnement du district et sur lesquels l'attention des gestionnaires doit être prioritaire. En deuxième lieu, l'analyse de la probabilité d'endommagement en cas de séisme des ponts situés le long de ces voies, menée en partenariat avec l'Ecole Polytechnique Nationale équatorienne, est présentée. Elle permet d'estimer et de tenter de localiser les plus graves perturbations de la mobilité que pourrait connaître la capitale de l'Equateur en cas de séisme très sévère (PGA = 0.40g).

facilities, then on their vulnerability. The starting hypothesis was that, in order to mitigate risk in an efficient way within an urban area, a place of high human densities and urban functions concentration, it was unavoidable to target the analysis at the critical facilities and strategic areas for its functioning, because their deterioration or loss, derived from internal failures or their exposure to a hazard, would cause a very acute handicap for the city. The risk is, therefore, the possibility for a society to lose its key socio-economic components (also called urban stakes). And the more vulnerable the related critical facilities, the higher the risk⁵.

Mobility, that is to say all movements realised by city-dwellers for different purposes (work, education, hobbies, visits...), using generally interconnected means of individual or collective transport, is fundamental for the functioning of an urban territory.

The disruption of freight transportation and people's mobility, as well as reduction or loss of access to some areas of major interest, may have severe consequences on the city. These interruptions may result for example, from the damage or the destruction of road infrastructures following an earthquake. Collapse of a bridge can hamper the crossing of a river or a ravine. In some cases, it is likely that this will affect the traffic on a road beneath the collapsed bridge, due to the piling up of the debris. This is all the more problematic as most of the critical roads and transportation lifelines of the city are concerned.

In this context, this paper aims at analysing the possible disruptions of the mobility in the Metropolitan District of Quito (MDQ), relating to the loss of serviceability of the main roads derived from damages to elevated road structures in case of an earthquake. Firstly, this paper briefly presents the methodology set up to pinpoint the critical roads. The critical roads are the essential roads of which the closure would be the most detrimental to interchanges and the functioning of the district, and roads that should be a priority of stakeholders. Secondly, the analysis of damage probabilities in case of an earthquake to elevated road structures located along these roads, carried out in partnership with the National Polytechnic High School of Ecuador is presented here. This allows estimation and a tentative location of the most acute disruptions of mobility that could affect the capital of Ecuador in case of a severe earthquake (PGA=0.40g).

⁵ Voir notamment D'ERCOLE R., METZGER P., 2002 et 2004 / *Notably see D'ERCOLE R., METZGER P., 2002 et 2004.*



IDENTIFICATION DES AXES ENJEUX DU DMQ ET REPERAGE DES PONTS SITUÉS SUR CES AXES

La détermination des axes routiers enjeux est basée sur une analyse qui a d'abord différencié 4 types d'axes selon leur rôle dans le fonctionnement du territoire métropolitain et de ses sous-espaces géographiques. Il s'agit :

- des voies d'accès au DMQ (qui permettent les liaisons entre le district et le reste du pays),
- des axes centre périphérie (spécifiques avant tout par leur rôle dans les déplacements entre la ville de Quito et le reste du district),
- des axes urbains (qui permettent les déplacements à l'intérieur de la ville),
- et des axes de l'espace central (qui vont définir l'accès et la circulation dans l'espace qui enregistre le plus de déplacements).

Des critères à la fois quantitatifs et qualitatifs adaptés à chaque type d'axes ont permis de hiérarchiser l'ensemble du réseau. Il s'agit d'indicateurs qui rendent compte du volume du trafic automobile, de l'importance de l'axe dans le réseau de transports en commun (essentiel à Quito), du poids démographique des espaces périphériques (ce qui renvoie à une estimation des besoins de déplacements), des dépendances fonctionnelles (entre les zones résidentielles et les espaces centraux), des liens qu'entretient le district vis-à-vis des autres pôles urbains, ou encore du rôle de la voie routière dans la desserte des espaces compte tenu notamment de l'existence ou de l'absence d'alternatives et de leur qualité (circulation plus ou moins aisée). Le résultat de cette hiérarchisation a permis d'identifier un ensemble d'axes routiers enjeux à l'échelle de l'agglomération (voir carte 1).

Sur les 90 ouvrages d'art routiers que compte l'agglomération, 55 se situent le long de ces axes enjeux (carte 1). Il s'agit d'infrastructures présentant une section aérienne (ponts, viaducs, passages surélevés, partie aérienne des échangeurs). Deux cas de figures se présentent : soit l'axe enjeu passe par l'ouvrage, soit l'ouvrage enjambe l'axe enjeu.

EVALUATION DE LA PROBABILITE D'ENDOMMAGEMENT DES OUVRAGES D'ART ROUTIERS SITUÉS LE LONG DES AXES ENJEUX

L'étude est ciblée uniquement sur les ouvrages d'art routiers situés le long des axes enjeux dans la mesure où la destruction de ces ouvrages est *a priori* la plus préjudiciable aux communications et au fonctionnement urbain. Ces infrastructures ont été inspectées au cours d'un travail de mesures sur le terrain.

IDENTIFICATION OF CRITICAL ROADS AND ELEVATED INFRASTRUCTURES ALONG THEM WITHIN THE MDQ

Determination of critical roads is based on analysis, which firstly differentiated four types of roads according to their role in the functioning of the metropolitan area and its geographical sub-areas. They are:

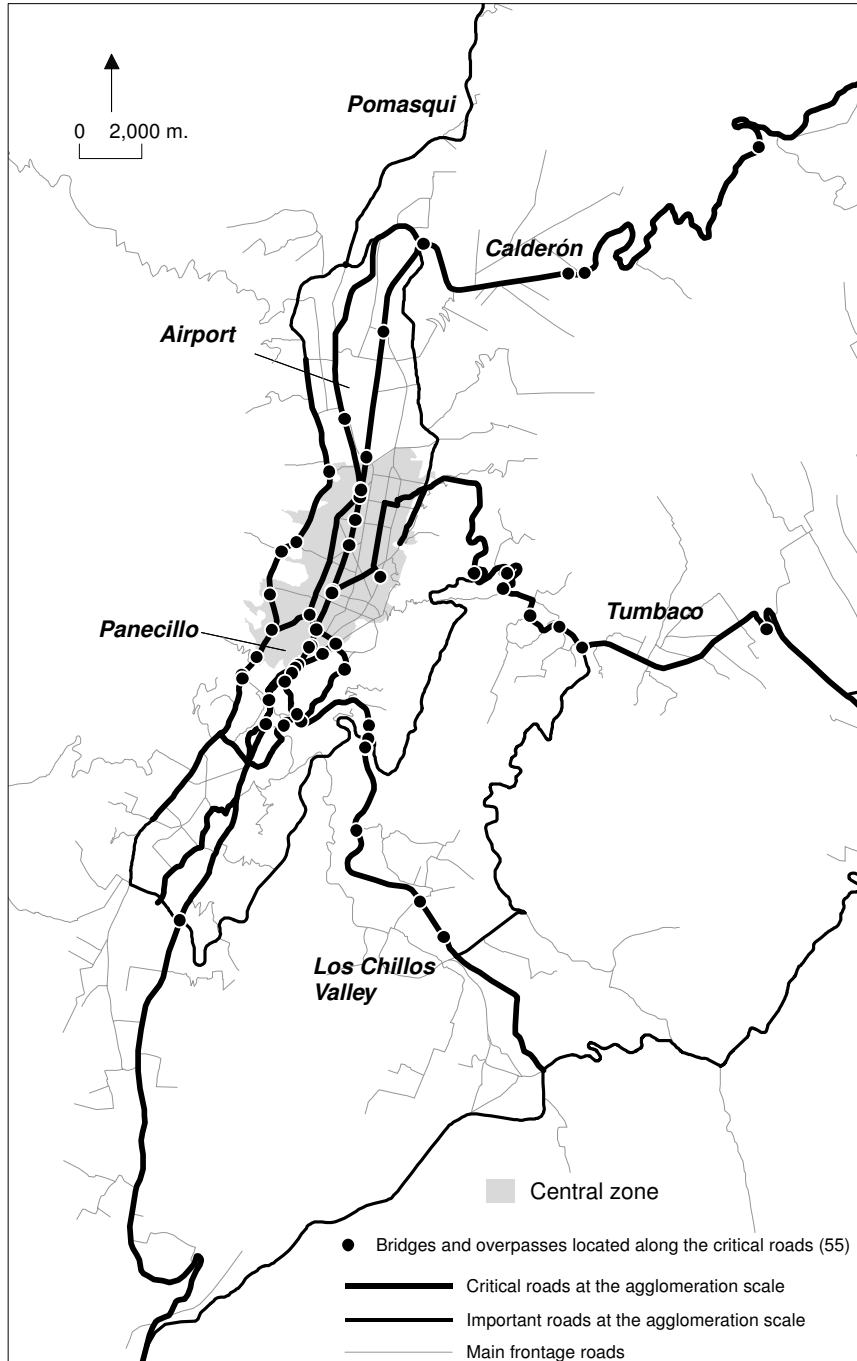
- *Access roads to MDQ (which allow connections between the district and the rest of the country),*
- *Commuting roads (playing an important role in travels between the city of Quito and the rest of the district),*
- *Urban roads (which allow movements inside of the city),*
- *And roads of the central area loaded with the highest traffic volumes (which make possible the access to this area and underpin traffic in it).*

Quantitative and qualitative criteria adapted to each type of roads have allowed a gradation of the sections within the whole network. These criteria are indicators which give an account of the volume of the car traffic, the importance of the road in the public transport networks (essential in Quito), the demographic weight of outskirts (which serves to estimate the travel demand), functional dependences (between residential zones and central areas), interchanges between the district and other urban centres, or also the role of the roads in the service of zones taking into account the existence or the absence of alternatives and their quality (more or less easy traffic). The result of this classification has allowed the identification of all critical transportation infrastructures and lifelines at agglomeration scale (see map 1).

Of the 90 elevated road infrastructures in the urban agglomeration, 55 are located along these critical roads (map 1). They are infrastructures that have an elevated section (bridges, viaducts, fly over, overpasses in motorway intersections/interchanges). Two cases can be identified: either the critical road relies on the engineering structure or the latter spans the critical road.

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF DAMAGING ROAD INFRASTRUCTURES LOCATED ALONG CRITICAL ROADS

The study is only focused on elevated road infrastructures located along critical roads to the extent that the destruction of these structures is a priori the most detrimental to communications and urban functioning. These infrastructures were checked during a field survey.



Carte 1 – Ponts et passages surélevés situés le long des axes enjeux.
 Map 1 – Bridges and overpasses located along the critical roads.



La méthodologie utilisée correspond à une adaptation de la méthode HAZUS@99 mise au point aux Etats-Unis⁶ par la *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*⁷ en partenariat avec le *National Institute of Building Sciences (NIBS)*. Méthode intégrée d'évaluation pluridisciplinaire du risque sismique, elle permet notamment d'estimer la susceptibilité d'endommagement des ponts face à un séisme. D'autres méthodes d'évaluation du risque sismique existent. Parmi les plus connues, notons la méthode développée par le BRGM à Nice dans le cadre du programme GEMITIS⁸ et appliquée par la suite à Ensenada (Mexique)⁹ et la méthode du programme RADIUS¹⁰ appliquée dans différentes villes (Addis-Ababa, Tijuana, Tashkent...) dans le cadre de la Décennie Internationale de Prévention des Catastrophes Naturelles.

Le choix de recourir à la méthode HAZUS tient au fait qu'elle semblait être la plus facilement applicable à Quito dans la mesure où les normes de construction des ouvrages routiers en Equateur sont largement inspirées de celles des Etats-Unis. Cette méthode se base sur des caractéristiques structurales propres aux ouvrages, sur le type de terrain sous-jacent et sur l'accélération maximale attendue au sol (PGA¹¹). Elle permet de distinguer cinq niveaux de dégâts : nuls, légers, modérés, graves, complets.

Afin d'appliquer la méthode HAZUS@99, il a fallu déterminer, pour chacun des ouvrages, les paramètres suivants :

- sismo-résistance de l'ouvrage (déterminée à partir de l'année de construction)¹²,
- nombre de segments qui composent le tablier,
- longueur et largeur des segments du tablier,
- matériel de construction,
- angle de désaxe (*skew angle*)¹³,
- type de sols sous-jacents.

En ce qui concerne les sols, la typologie élaborée dans le cadre du scénario sismique de 1994 fait ressortir 18 catégories qui ont été regroupées¹⁴ en 4 types standards (S1, S2, S3, S4) décrits dans le Code équatorien de

The used methodology is adapted from the HAZUS@99 method developed in the United States⁶ by Federal Emergency Management Agency (FEMA)⁷ in partnership with the National Institute of Building Sciences (NIBS). It is an integrated multidisciplinary method for seismic risk assessment which notably allows estimation of damage susceptibility of bridges by an earthquake. There are other methods for seismic risk assessment. Among the most known, the method developed by the BRGM in Nice as part of GEMITIS⁸ programme and subsequently applied in Ensenada (Mexico)⁹ and the method of the RADIUS¹⁰ programme applied in different cities (Addis-Ababa, Tijuana, Tashkent...) as part of International Decade for Natural Disaster Reduction.

We chose the HAZUS Method because it is the easiest method to use in Quito insofar as road construction standards in Ecuador are largely taken from the United States. This method is based on structural characteristics inherent to each road infrastructures, on the type of underlying ground and on the expected Peak Ground Acceleration (PGA¹¹). It allowed distinction of five damage levels: no damage, slight, moderate, extensive, complete.

To apply the HAZUS@99 Method, we had to determine for each of the structures the following parameters:

- *Earthquake resistance design (obtained from the year of construction)¹²,*
- *Number of spans which form the deck,*
- *Length and width of the deck,*
- *Building material,*
- *Skew angle¹³,*
- *Type of underlying soils.*

In terms of soils, the established typology, as part of the seismic scenario of 1994, has determined 18 categories which have been grouped¹⁴ into 4 standard types (S1, S2, S3, S4) described in the Ecuador Construction

⁶ *Direct Physical Damage to Transportation Systems*, <http://www.fema.gov/hazus/download.htm> (chapitre 7 / chapter 7).

⁷ Voir / see ATC, 1991.

⁸ LUTOFF C., 2000.

⁹ CHÁVEZ VELASCO G., 2004.

¹⁰ Risk Assessment tools for Diagnosis of Urban areas against Seismic disasters.

¹¹ Peak Ground Acceleration.

¹² D'après des experts en ingénierie civile de l'Ecole Polytechnique Nationale de l'Equateur, à Quito seules les infrastructures construites après 1996 ont été conçues en respectant les normes de para-sismicité établies en Californie dès 1975 et appliquées à l'ensemble des Etats-Unis à partir de 1990 / According to civil engineering experts of the National Polytechnic High School of Ecuador, only infrastructures built after 1996 respect para-sismicity standards established in California since 1975 and applied in the whole of United States since 1990.

¹³ Le *skew angle* correspond à l'angle entre l'axe du pilier et une droite perpendiculaire à l'axe du tablier / *Skew angle* corresponds to the angle between a pillar axis and a vertical line to the deck axis.

¹⁴ ALARCÓN F. VALVERDE J. FERNÁNDEZ J. YÉPEZ F., 2001.



construction (2000)¹⁵ et pour lesquels il est possible de déterminer les valeurs de l'accélération spectrale prévisible.

De manière schématique, les sols S1 correspondent à des terrains consolidés, les sols S3 à des roches meubles ou strates profondes. Les sols S2 comportent des caractéristiques intermédiaires entre les sols S1 et S3. Le type S4 matérialise des sols hautement compressibles et pour lesquels les conditions géologiques et topographiques sont défavorables.

L'application de la méthodologie HAZUS®99 et son adaptation à la ville de Quito ne sont pas développées ici mais sont consultables à l'adresse suivante : <http://edytem.univ-savoie.fr/membres/demoraes/pub-equateur-pdf/informe2.pdf> (document en espagnol).

La méthodologie présente un certain nombre de limites qu'il convient de préciser :

- les sols et amplifications vibratoires associées ne sont pas considérés dans le détail (notamment au niveau des remblais).
- La structure des sols n'est pas connue avec précision dans les zones suburbaines. Ces derniers ont été inclus dans la catégorie S2 sur le conseil de professionnels¹⁶ qui ont réalisé une caractérisation davantage qualitative.
- La méthode ne permet pas d'apprécier les dégâts susceptibles d'être occasionnés aux ponts par les déplacements de terrain associés aux failles.

Pour tenir compte de ces limites, le comportement des 55 ouvrages situés sur les axes enjeux a été calculé pour 4 types de séismes caractérisés par leur accélération maximale au sol (PGA) exprimée en fraction de la gravité :

- séisme léger (PGA = 0,05g)
- séisme modéré (PGA = 0,10g)
- séisme sévère (PGA = 0,25g)
- séisme très sévère (PGA = 0,40g)¹⁷

PRINCIPALES CONCLUSIONS DE L'EVALUATION DES DEGATS POTENTIELS

D'après la méthodologie utilisée, en cas de séisme léger ou modéré, les 55 ouvrages ne présenteraient probablement pas de dégât. En cas de séisme sévère (PGA = 0,25g), 64% des ouvrages présenteraient des niveaux d'endommagement légers voire modérés, et un seul pont

Code (2000)¹⁵ and for which it was possible to determine values of the predictable peak ground acceleration.

In a simplistic way, S1 soils correspond to consolidated ground; S3 soils are unconsolidated rocks or deep strata. S2 soils have intermediate characteristics between S1 and S3 soils. S4 type represents highly compressible soils and of which topographical and geological conditions are unfavourable.

The application of the HAZUS®99 methodology and its adaptation to the city of Quito are not developed here but are available for on-line consultation at: <http://edytem.univ-savoie.fr/membres/demoraes/pub-equateur-pdf/informe2.pdf> (document in Spanish).

The methodology has a number of limitations that must be mentioned:

- *Soils and related ground motions are not considered in detail (notably for the backfills).*
- *The soil structure is not precisely known in suburban areas. It is included in S2 category following the advice of professionals¹⁶ who carried out a qualitative characterisation rather.*
- *The method does not allow the valuation of damage which is likely to affect bridges by ground displacements due to faults.*

To take these limits into account, the behaviour of 55 elevated structures located along the critical roads is calculated for 4 types of earthquakes characterised by their maximal peak ground acceleration (PGA) expressed in gravity fractions:

- *Slight earthquake (PGA= 0.05g)*
- *Moderate earthquake (PGA=0.010g)*
- *Severe earthquake (PGA= 0.25g)*
- *Very severe earthquake (PGA= 0.40 g)¹⁷*

MAIN CONCLUSIONS OF POTENTIAL DAMAGE ASSESSMENTS

Following the used methodology, in case of a slight or moderate earthquake, the 55 structures possibly will not present any damage. In case of a severe earthquake (PGA = 0.25g), 64% of the structures would present slight even moderate levels of damage, and only one

¹⁵ Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, 2000.

¹⁶ Différents enseignants-chercheurs de l'EPN se sont prononcés dont Jorge Valverde, directeur de la Faculté d'Ingénierie Civile / According to some searchers-lecturers of the National Polytechnic High School of Ecuador, including Jorge Valverde, the Director of the Civil Engineering Faculty.

¹⁷ Un PGA maximal de 0,40g a été retenu pour caractériser le séisme le plus sévère pouvant être ressenti à Quito compte tenu des indications mentionnées dans le code de construction équatorien / Taking into account the data mentioned in the Ecuador Code of Construction, 0.40g is the maximum PGA selected to characterise the most severe earthquake that could be felt in Quito.



pourrait connaître des dommages graves ou complets. Les plus fortes probabilités d'endommagement sont associées à un séisme très sévère (PGA=0,40g). Dans ce cas, 56% des ouvrages connaîtraient des dégâts graves ou complets.

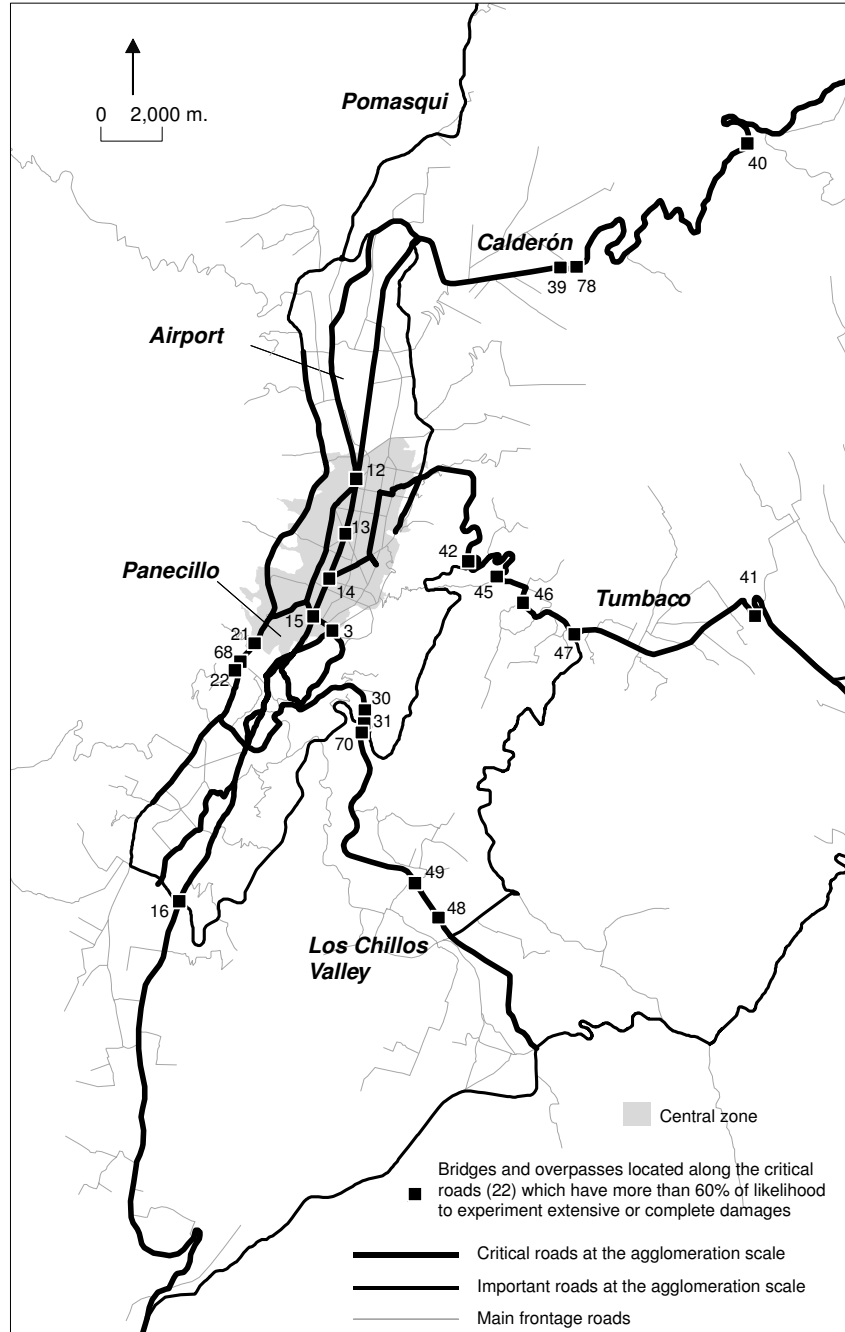
Le tableau 1 et la carte 2 présentent les 22 ouvrages situés le long des axes enjeux qui ont plus de 60% de probabilité (seuil limite retenu) d'être gravement ou complètement endommagés en cas de séisme très sévère (PGA = 0,40g). C'est donc sur cet ensemble d'ouvrages particulièrement vulnérables que l'attention des pouvoirs publics devrait porter en priorité (renforcement des structures, définition d'itinéraires bis...).

bridge would experience extensive or complete damage. The highest damage probabilities are associated with a very severe earthquake (PGA = 0.40g). In this case, 56% of structures will be affected by extensive or complete damages.

Table 1 and map 2 present the 22 structures located along the critical roads which have a higher than 60% probability (selected threshold) of being extensively or completely damaged in case of a very severe earthquake (PGA = 0.40g). Therefore, this set of vulnerable structures should have prior attention from the public authorities (reinforcement of structures, definition of alternate routes...).

Tableau 1 – Ponts et passages surélevés situés le long des axes enjeux ayant plus de 60% de probabilité d'être gravement ou complètement endommagés en cas de séisme très sévère (PGA = 0,40g)
Table 1 – Bridges and overpasses located along strategic roads with a probability of more than 60% of being extensively or completely damaged by a very severe earthquake (PGA= 0.40g) .

Clef Key	Localisation (nom de rues) Location (street names)	Probabilité d'endommagement grave ou complet en cas de séisme très sévère Probability of an extensive or complete damage in case of a very severe earthquake
68	Puente peatonal San Roque	85,2%
48	Autopista Rumiñahui (Rio San Pedro) - Los Chillos	79,4%
41	Interoceánica (Rio Chiche)	78,6%
16	Maldonado y Nueva Oriental (Plywood)	77,8%
15	10 de Agosto y Patria (Puente El Guambra)	76,3%
70	Justo antes del peaje de la Autopista Rumiñahui	76,3%
21	Occidental (El Tejar)	75,7%
12	Inicio de La Prensa y America (La Y)	74,7%
45	Interoceánica (Rio Machangara)	73,8%
42	Interoceánica y Nueva Oriental (Cumbaya)	72,6%
3	Patria y 12 de Octubre	71,6%
40	Panamericana Norte (Rio Guayllabamba)	71,6%
47	Interoceánica (Rio San Pedro) antes del Club El Nacional	71,6%
49	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	71,6%
22	Occidental y 24 de Mayo (San Roque)	69,9%
78	Panamericana Norte junto a la tenencia política	67,2%
46	Circunvalación Cumbaya (Entrada San Juan Bautista)	63,4%
30	Autopista Rumiñahui (antes del intercambiador con Nueva Oriental)	62,1%
31	Autopista Rumiñahui y Nueva Oriental	62,1%
39	Panamericana Norte al llegar a Calderón (junto al cementerio)	62,1%
13	10 de Agosto y República (Recta)	60,4%
14	10 de Agosto y Eloy Alfaro	60,2%



Carte 2 – Ponts et passages surélevés situés le long des axes enjeux ayant plus de 60% de probabilité d'être gravement ou complètement endommagés en cas de séisme très sévère (PGA = 0.40g).
 Map 2 – Bridges and overpasses located along critical roads with a probability of more than 60% to be extensively or completely damaged in case of a very severe earthquake (PGA = 0.40g).



PERTURBATIONS POSSIBLES DE LA MOBILITE ASSOCIEES A LA FERMETURE D'AXES ENJEUX SUITE A L'ENDOMMAGEMENT OU LA DESTRUCTION DES OUVRAGES LES PLUS VULNERABLES

Le cas le plus pessimiste a été retenu en guise d'illustration des effets les plus graves que pourrait expérimenter le district de Quito. L'analyse est donc ciblée sur les perturbations possibles de la mobilité (voir carte 3) liées aux dommages subis par les ponts les plus vulnérables face à un séisme très sévère (PGA = 0,40g) situés le long des axes enjeux. Ceci dit, notons que la probabilité d'occurrence d'un séisme très sévère est relativement faible puisqu'elle correspond à une période de retour de 475 ans¹⁸.

Ce scénario ne prétend aucunement fournir avec certitude et précision l'ensemble des perturbations que pourrait connaître l'agglomération de Quito. Ce n'est qu'une vision générale, nécessairement incomplète, et la méthode utilisée ainsi que son adaptation au contexte équatorien comportent des limites (voir supra). Les scénarios développés ici n'ont d'autres objectifs que de fournir aux gestionnaires urbains une base de réflexion sur les risques encourus compte tenu des problèmes de communication possibles liés à la perte d'opérationnalité des axes enjeux, dans l'optique d'orienter les mesures de prévention des risques et de préparation aux situations de crises.

L'échelle retenue est volontairement celle de l'agglomération, l'analyse portant sur des macro-perturbations, telles que les ruptures d'accessibilité ou encore les risques d'isolement encourus par certains secteurs. D'autre part, elle correspond à l'échelle d'identification des axes enjeux.

Rappelons également que bien d'autres perturbations de la mobilité, dont les causes sont autres que l'effondrement d'ouvrages d'art, peuvent être engendrées par un séisme. Elles peuvent être dues à des chutes de matériaux provenant des constructions situées le long des voies, des chutes d'arbres, de pylônes sur la chaussée, de l'effondrement des passages piétons aériens ou encore de la destruction d'une route due à la réactivation d'une faille... Les répercussions de ces phénomènes, relevant d'une analyse complémentaire, ne sont pas considérées ici.

Les problèmes d'accès au district et à la ville

Le secteur d'étude couvrant le District Métropolitain de Quito, les ouvrages en dehors de cette zone n'ont pas été pris en compte. Cependant, il n'est pas exclu que l'endommagement subi par une infrastructure, localisée dans un canton limitrophe, puisse avoir des répercussions

POTENTIAL MOBILITY DISRUPTIONS FOLLOWING CLOSURE OF CRITICAL ROADS DUE TO DAMAGING OR DESTRUCTION OF THE MOST VULNERABLE BRIDGES AND OVERPASSES

The most pessimistic case has been retained by way of illustrating the worst effects that could be experienced by the district of Quito. Therefore, the analysis targeted possible disruptions of transportation (See Map 3), resulting from damages suffered by the most vulnerable bridges and overpasses located along critical roads, in case of a very severe earthquake (PGA = 0.40g). This said, we should note that the probability of occurrence of a very severe earthquake is relatively low as it corresponds to a return period of 475 years¹⁸.

This scenario does not in any way claim to provide with certainty and precision all difficulties that could be experienced by the district of Quito. It is only a general view, necessarily incomplete, and the used method as well as its adaptation to the Ecuador context has limits (see supra). The only objective of the scenario developed here is to provide urban managers with a starting point on incurred risks taking into account possible communication problems related to the loss of the serviceability of the critical transportation facilities and lifelines, with the intention to establish mitigation measures and to prepare for crisis situations.

The retained scale is deliberately that of the agglomeration one, insofar as the analysis concerns macro-disruptions, such as accessibility rupture or also risks of isolation in some districts. On the other hand, it corresponds to the scale used to pinpoint the critical roads.

We should also remember that many other disruptions of transportation, of which causes differ from collapse of the structures, might well be generated by an earthquake. They can result from material falling from buildings located along the roads, trees or pylons falling on the road surface, collapse of footbridges or also destruction of a road due to a fault reactivation... Repercussions of these phenomena, belonging to a complementary analysis, are not considered here.

Problems of access to the district and the city

As the study sector is restricted to the Metropolitan District of Quito, structures outside this area have not been taken into account. However, it is not excluded that damage suffered by an infrastructure, which is located in a bordering canton, could have significant

¹⁸ YEPEZ F., 2001.



significatives notamment en ce qui concerne l'accessibilité du district. Par exemple, l'échangeur (Z) situé à l'intersection de la Panaméricaine Sud et de la Voie de Contournement Métropolitaine, à l'extérieur du district, au sud, n'a pas fait l'objet de mesures (Carte 1). Or, il est possible qu'il puisse être sérieusement endommagé par un séisme très sévère, du fait de son ancienneté (décennie 1970). Ceci dit, en tant qu'échangeur, il est doté de diverses bretelles et présente donc plusieurs alternatives de franchissement même si la section suspendue était amenée à s'écrouler. Ce cas de figure contribuerait malgré tout à ralentir le trafic de façon significative.

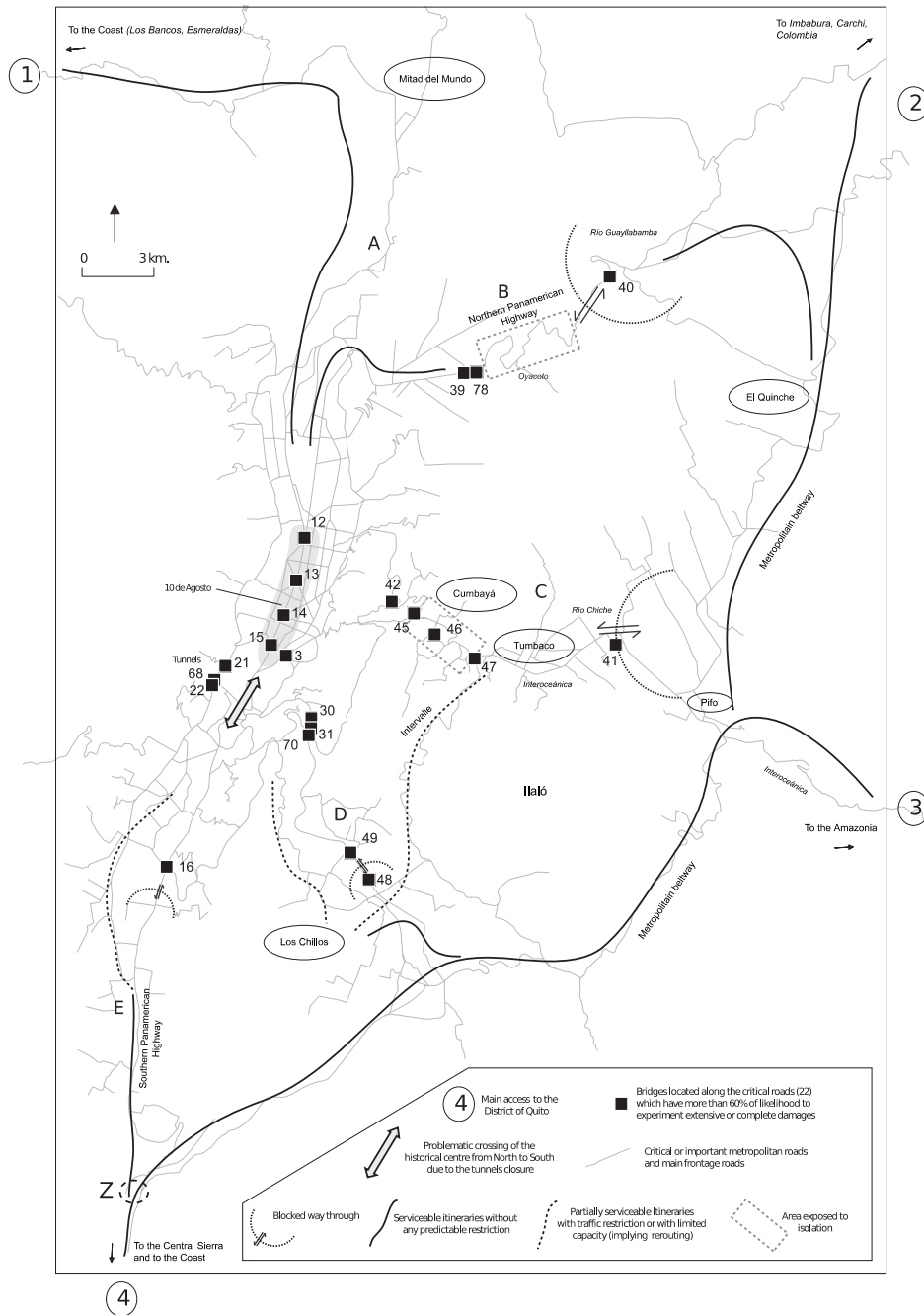
Le DMQ possède 4 accès principaux (1, 2, 3, 4). En cas de séisme très sévère, les itinéraires resteraient fonctionnels sans grande restriction apparente tout au moins sur les premiers kilomètres de la périphérie (avec un doute pour l'accès sud au niveau de l'échangeur Z). En revanche, sur les 5 axes (A, B, C, D, E) qui relient la ville aux banlieues, 4 courent le risque d'être partiellement ou complètement fermés. Le seul axe qui demeurerait totalement opérationnel serait l'accès nord par *Los Bancos* et *La Mitad del Mundo* (A), dépourvu de ponts. En temps normal ce dernier n'est pas de très grande importance pour la capitale mais pourrait servir en période de crise pour le ravitaillement en produits côtiers (riz, huile, denrées maraîchères, fruits de mer, avoine...). Il pourrait également servir pour l'évacuation de la ville ou pour le transfert d'activités (organismes de décision, écoles, entreprises ...), pouvant s'implanter provisoirement dans le secteur de la *Mitad del Mundo*, peu dense et proche de la ville.

La destruction du pont franchissant la rivière Guayllabamba sur la Panaméricaine Nord (40) causerait la rupture de l'accès nord-oriental. La première alternative de déviation envisageable, par *El Quinche*, *Pifo* et *Tumbaco*, serait également hors service à cause de l'effondrement du pont de la rivière *Chiche* (41). Les communications entre Quito et les aires géographiques septentrionales (*Imbabura*, *Carchi*, Colombie) et orientales (Amazonie) ne seraient possibles qu'en contournant le mont *Ilaló* par l'est. Cela permettrait de déboucher sur la vallée de *Los Chillos*, exutoire, somme toute, limité dans la mesure où l'autoroute *Rumiñahui* (D), axe centre-périphérie de première importance transité chaque jour par plus de 30 000 véhicules, serait fermée par la destruction des ouvrages-clefs 31 et 48. Seule l'ancienne route à *Conocoto*, raide, sinueuse et à capacité réduite, permettrait encore le lien entre *Los Chillos* et Quito. Toutefois, cet axe serait très vite saturé à cause de la surcharge considérable de trafic engendrée par la fermeture de l'autoroute *Rumiñahui* et par le report des flux provenant du nord-est et de l'Amazonie.

repercussions notably in terms of accessibility of the district. For example, the interchange (Z) located at the junction of the South Pan-American motorway and the Metropolitan Beltway, outside the district, in the south, has not been a subject of measures (Map 1). However, it is possible that it could be considerably affected by a very severe earthquake because it is an old structure (1970s). But, as an interchange, it has many slip roads and presents, therefore, many crossing alternatives, should the aerial section collapse. Nevertheless, this would significantly slow down the traffic.

MDQ has 4 main access routes (1, 2, 3, 4). In case of a very severe earthquake, itineraries would remain serviceable without big apparent restriction at least on the first kilometres of the outskirts (with a doubt for the south access at the interchange Z). On the other hand, on the 5 roads (A, B, C, D, E) that link the city with its suburbs, 4 of them have the risk of being partially or completely closed. The only road that would remain totally operative is the north access by Los Bancos and La Mitad del Mundo (A), which has no bridges. In normal times, the latter is not of real importance for the city but it could be useful in a crisis period for the supply of coastal products (rice, oil, sea food, market food-stuffs, oats...). It could also serve for evacuation of the city or to activities transfer (decision bodies, schools, enterprises...), that could be provisionally implanted in the district of Mitad del Mundo, less dense and close to the city.

The destruction of the bridge crossing the Guayllabamba River on the North Pan-American motorway would cause the rupture of the North-East access. The first possible traffic diversion, by El Quinche, Pifo and Tumbaco, would be out of service as well due to the collapse of the bridge of the Chiche River (41). Communications between Quito and the northern (Imbabura, Carchi, Colombia) and eastern (Amazonia) geographical areas will be possible only by by-passing Mont Ilaló from the East. This would allow to reach the Los Chillos valley, outlet all in all limited insofar as the Rumiñahui Motorway (D), central-periphery road of importance loaded everyday by over 30,000 vehicles, would be closed by the destruction of the critical structures 31 and 48. Only the old road to Conocoto, steep, sinuous and with a reduced capacity, would still provide a link between Los Chillos and Quito. However, this road would be saturated quickly due to the significant overload of traffic generated by the closure of the Rumiñahui Motorway and by the rerouting of the flow coming from the north-east and the Amazonia.



Carte 3 – Scénario des perturbations possibles de la mobilité provoquées par la fermeture des axes enjeux compte tenu de l'effondrement des ponts en cas de séisme très sévère (PGA = 0,40g) dans le district de Quito.
Map 3 – Scenario of possible disruptions of mobility derived from the closure of the critical roads resulting from the collapse of bridges and overpasses in case of a very severe earthquake (PGA = 0.40g) in the Quito district.



Les connexions entre Quito et les provinces du nord-est et de l'est pourraient donc être très réduites. Il est fortement probable que le ravitaillement de Quito en produits alimentaires provenant de ces provinces du nord-est (pomme de terre, aliment de base) et d'Amazonie (lait, fruits), soit partiellement bloqué. Sans doute, observerait-on également une profonde perturbation de la commercialisation très lucrative des fleurs, majoritairement cultivées dans les secteurs orientaux du DMQ et dans le canton voisin de *Cayambe* au nord, et exportées par voie aérienne depuis l'aéroport *Mariscal Sucre* situé en plein cœur de Quito. Les aéroports de remplacement possibles seraient ceux de *Latacunga* au sud et d'*Ibarra* au nord. La question reste de savoir s'ils seraient accessibles.

La destruction du pont 16, ouvrage-clef situé sur la Panaméricaine Sud, aux portes de la ville, affecterait l'axe de plus grande importance en temps normal pour le ravitaillement de la ville (70% de la variété des produits de consommation courante, tels que les aliments et vêtements, arrive par cette voie) et pour le transport inter-provincial de personnes (plus de 40 000 personnes y transitent chaque jour en bus). Nonobstant, il existe une alternative routière qui permettrait d'éviter cette intersection névralgique détruite. Cette dernière passe par le secteur de *Guamaní* dans le prolongement sud de l'Avenue *Mariscal Sucre*, mais étant en terre battue, elle se transforme en véritable bournier lors des fréquents orages.

Les problèmes de communication à l'intérieur des vallées orientales

En ce qui concerne les mouvements centre-périphérie, de multiples problèmes seraient à prévoir, outre les difficultés de connexion entre *Los Chillos* et Quito. La rupture de certains ouvrages majeurs pourrait être à l'origine d'une réduction d'accessibilité. Ce serait sans doute le cas de la paroisse d'*Oyacoto*, heureusement peu peuplée, le long de la Panaméricaine Nord. Pour cette dernière, la sortie vers le nord-est serait totalement impossible avec la rupture du pont 40 franchissant le *río Guayllabamba* et la sortie vers Quito serait fortement restreinte avec l'effondrement de deux passages sur-élevés (39 et 78).

La paroisse de *Tumbaco*, avec une population de 39 000 personnes, connaîtrait également une diminution notable d'accessibilité avec la fermeture des ponts 41 à l'est et 47 à l'ouest, tous deux enjambant des cours d'eau fortement incisés. Les habitants n'auraient d'autre possibilité que de rejoindre la *Vallée de Los Chillos*, plus au sud, en empruntant la route *Intervalle*, sinueuse et à capacité modérée. Environ 1 300 véhicules y transitent chaque jour en temps normal. On peut donc pressentir de forts ralentissements voire de sérieux embouteillages sur cet itinéraire.

Connections between Quito and the provinces of the north-east and east could, therefore, be greatly reduced. It is highly probable that the supply of food products to Quito from these provinces of the north-east (potatoes, basic food) and Amazonia (milk, fruits), would partially be blocked. No doubt, one would also see a deep disruption of the very lucrative commercialisation of flowers, grown mostly in the eastern outskirts of the MDQ and the close canton of Cayambe in the north, and exported by airway from the Mariscal Sucre airport located in the heart of Quito. The possible replacement airports would be Latacunga in the south or Ibarra in the north. The remaining question is would they be accessible.

The destruction of the bridge 16, a critical structure on the South Pan-American motorway, at the gateway of the city, would affect the most important road in normal times for the city supplies (70% of the variety of current consumption products, such as food and clothes, arrive this way) and for the inter-province transportation of people (over 40,000 people cross this road by bus everyday). Notwithstanding, there is an alternative road, which would allow avoidance of this destroyed critical intersection. It passes by the Guamaní area at the southern end of the Mariscal Sucre Avenue, but as it is on a trodden ground, it becomes a real mire during frequent storms.

Communication problems inside the eastern valleys

In terms of communication between the centre and the periphery, multiple problems would be predictable, in addition to connection difficulties between Los Chillos and Quito. The rupture of some major road structures would be a source of the reduction in accessibility. No doubt, this would be the case for the zone of Oyacoto, fortunately sparsely populated, along the North Pan-American motorway. For the latter, the exit would be impossible with the collapse of bridge 40 crossing río Guayllabamba and the exit to Quito would be highly limited with the collapse of both overpasses 39 and 78.

The zone of Tumbaco, with a population of 39,000, would also experience a notable reduction in accessibility with the closure of bridges 41 in the east and 47 in the west, both crossing highly incised streams. Inhabitants would be left with one possibility, which is to join the Los Chillos Valley, further south, by taking the Intervalle road, sinuous and with a moderate capacity. About 1,300 vehicles use this road everyday in normal times. One can, therefore, expect to see much slowing down or even serious jams of traffic on this route.



Il n'en serait pas de même avec la paroisse de *Cumbayá* qui risquerait pour sa part un isolement total. La zone est située entre deux grandes rivières dont le cours est profondément incisé (*ríos Machángara* et *San Pedro*). Or les deux ponts permettant leur franchissement (45 et 47) seraient vraisemblablement détruits. Cette situation serait d'autant plus préoccupante que *Cumbayá* rassemble d'après le dernier recensement de 2001, quelque 21 000 habitants. Qui plus est, elle est traversée par la route *Interoceánica*, support des mouvements pendulaires entre Quito et la vallée de *Tumbaco-Quinche*. Les quelque 20 000 voyageurs effectuant quotidiennement le trajet en transport en commun¹⁹ ne pourraient plus accéder à Quito²⁰.

Enfin, les flux de longues distances, de personnes ou de marchandises, en provenance des provinces du Sud ou du Nord, n'ayant pas comme destination Quito, pourraient être maintenus sans véritable restriction apparente en utilisant la Voie de Contournement Métropolitaine.

Les difficultés de circulation intra urbaine

L'axe probablement le plus affecté, c'est-à-dire celui qui comptabiliserait le plus de dégâts majeurs dans les ouvrages qui le jalonnent, serait l'Avenue *10 de Agosto*, artère pénétrante stratégique par laquelle circulent quotidiennement plus de 65 000 véhicules dans les tronçons les plus chargés (frange grisée sur la carte 3). Cette avenue correspond de surcroît, à l'axe du trolleybus, mode de transport essentiel utilisé par plus de 210 000 passagers chaque jour, soit 17 % du total des usagers du transport en commun.

D'une manière générale, les connexions urbaines nord/sud, dont on connaît l'importance compte tenu de la configuration longitudinale de la ville, en particulier pour l'accès des citadins à l'espace central, poserait également problème à cause de la fermeture de l'Avenue *Mariscal Sucre*, voie la plus empruntée de la ville²¹, suite à la chute de deux ponts dans le secteur des tunnels. Cette fermeture impliquerait le report des flux sur l'Avenue *Pichincha* (via *La Marín*), seul autre itinéraire possible permettant de traverser le centre historique. Néanmoins, cet itinéraire est déjà en temps habituel complètement saturé, en particulier pendant les heures de pointe.

C'est dans la partie Nord de la ville, qui s'étale depuis le centre historique jusqu'à l'aéroport, que se trouve l'essentiel des équipements routiers. La concentration d'ouvrages routiers semble aller de pair avec la concentration de fonctions urbaines. Or, si beaucoup d'infra-

It would not be the same case for the Cumbayá zone, which would risk total isolation. The area is located between two big deeply incised rivers (ríos Machángara and San Pedro). Both bridges (45 and 47) that cross them would likely be destroyed.

This situation would be of more concern insofar as the Cumbayá zone has, according to the census of 2001, some 21,000 inhabitants. In addition, it is crossed by the Interoceánica road, which supports pendular trips between Quito and the Tumbaco-Quinche valley. Some 20,000 commuters, who daily use this road on public transport¹⁹, would no longer be able to access Quito²⁰.

Finally, the long-haul flows of people or goods, from southern and northern provinces, of which the destination is not Quito, could be maintained without a real apparent restriction by using the Metropolitan Beltway.

Difficulties of intra-urban traffic

The road most likely to be affected, due to the high number of major damage among bridges and overpasses, would be the Avenue 10 de Agosto, the urban backbone avenue on which circulate daily over 65,000 vehicles in the heavy loaded sections (grey fringe on map 3). This avenue corresponds moreover, to the axis of trolleybus, an essential mode of transport used everyday by over 210,000 passengers, making up 17% of the total of public transport users.

Generally, north/south urban connections, of which the importance is known with regard to the longitudinal configuration of the city, in particular for the access to the central area by the city-dwellers, would also be a problem because of the closure of the Avenue Mariscal Sucre, the most traffic loaded road of the city²¹, following the collapse of two bridges near the tunnels. This closure would involve the rerouting of the flow to Avenue Pichincha (via La Marín), the only other possible road that allows crossing of the historical centre. Nevertheless, this road is already completely saturated in normal times, in particular during the rush hours.

Most of the traffic facilities are located in the north part of the city, which extends from the historical centre to the airport. This concentration seems to be in parallel with the concentration of the urban functions. Yet, if many traffic facilities inside central areas are dete-

¹⁹ Les trajets en transport en commun représentent entre 70 et 80% du total des déplacements quotidiens motorisés dans le district.

²⁰ On observe les mêmes volumes dans le sens inverse, de Quito vers la vallée. / One notices the same volumes in the opposite direction, i.e. from Quito to the valley.

²¹ 70 000 véhicules par jour / 70,000 vehicles per day.



structures permettant de distribuer les flux à l'intérieur des espaces centraux sont détériorées, c'est l'accessibilité entière de ces centres qui risque d'être remise en question.

CONCLUSION

Les scénarios présentés sont inévitablement sujets à caution. Ils permettent malgré tout de pressentir les graves perturbations de la mobilité dans le DMQ en cas de séisme très sévère, compte tenu de la perte d'opérationnalité des axes enjeux attribuable à l'effondrement des ponts les plus vulnérables. Dans une perspective d'optimisation de la planification urbaine préventive et d'aide à la décision pour affronter les crises, ce genre d'études est très utile pour les pouvoirs publics dans la mesure où il constitue un outil de réflexion et d'orientation ciblée sur un nombre relativement restreint d'infrastructures à renforcer en premier lieu. D'autre part, cette méthode focalisée sur les enjeux permet de ne pas procéder à une analyse de vulnérabilité de l'ensemble des ouvrages de la ville, difficilement réalisable compte tenu des moyens et du temps nécessaires. Une perspective d'amélioration de cette étude serait d'intégrer les autres incidences des séismes telles que les dégâts associés aux failles ou à la chute de matériaux sur la chaussée, ce qui permettrait de déboucher sur des scénarios encore plus plausibles.

riorated, it is the whole accessibility of these central areas that would be in question.

CONCLUSION

The scenarios presented are inevitably subject to caution. They allow nevertheless to imagine the problematic disruptions of transportation in MDQ in case of a very severe earthquake, taking into account the loss of the serviceability of critical roads caused by the collapse of the most vulnerable bridges and overpasses. This kind of study targeted at a relatively limited number of infrastructures is very useful for the public authorities because it allows the optimisation of preventive urban planning and decision making to face crises.

Moreover, this method focused on critical elements to be reinforced in the first place does not require analysis of vulnerability of all structures of the city, which is difficult to carry out because of necessary means and time. Improving this study would be achieved through the integration of other seismic effects such as damage associated with faults or to the material fall on the road surface, which would provide ever more plausible scenarios.

Références bibliographiques

- ALARCÓN F., VALVERDE J., FERNÁNDEZ J., YÉPEZ F. (2001) – Modelación de la respuesta dinámica de los perfiles representativos de suelo de la zonificación de Quito". – XIV Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural, Cuenca, Juin, 12 p.
- ATC (1991) – Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States. – Applied Technology Council - 25, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Redwood City, CA, 439 p.
- ATIAGA G., DEMORAES F. (2002) – 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, Presentación de la metodología, resultados y mapas. – Rapport d'expertise, IRD/MDMQ, 150 p.
- Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha (2000) – Código Ecuatoriano de la Construcción, novena edición. – *Revista SIGMA*, Edición especial, 25 p.
- CHATELAIN J.L. et al. (1994) – Les scénarios sismiques comme outils d'aide à la décision pour la réduction des risques : projet pilote à Quito, Equateur. – in *Revue de Géographie Alpine*, n° 4, p. 131-150.
- CHAVEZ VELAZCO G. (2004) – Adaptation à une ville moyenne d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité au risque sismique. Le cas de la ville d'Ensenada (Basse Californie Mexique). – 200 p + annexes.
- D'ERCOLE R., METZGER P. (2002) – Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito. – Colección Quito Metropolitano, MDMQ-IRD, Quito, Equateur, 226 p.
- D'ERCOLE R., METZGER P. (2004) – Vulnerabilidades del Distrito Metropolitano de Quito. – Colección Quito Metropolitano, MDMQ-IRD, Quito, Equateur, 512 p.



DEMORAES F. (2004) – Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito.. –Thèse de Doctorat de Géographie, préparée au Laboratoire EDYTEM (Université de Savoie) en partenariat avec l'UR 029 « Environnement Urbain » (IRD) et la Mairie de Quito, juillet 2004 - Chambéry, 587 p.

Escuela Politécnica Nacional - GeoHazards International – MDMQ – ORSTOM – OYO Corporation (1995) – Proyecto para manejo del riesgo sísmico de Quito. – Síntesis, 45 p.

LUTOFF C. (2000) – Le système urbain niçois face à un séisme. Analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels. – Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Savoie, 361 p.

YEPEZ F. (2001) – Últimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación. – Memorias del seminario “Gestión de riesgos y prevención de desastres”, FLACSO, COOPI, p. 16-28.

Site Internet consulté

<http://www.fema.gov/hazus/download.htm> (chapitre 7), Direct Physical Damage to Transportation Systems.



1.3 – Vulnérabilité des réseaux routiers et des systèmes de transport : un éclairage pour évaluer les vulnérabilités territoriales et les risques encourus à l'échelle d'une ville

Réf. 3 - DEMORAES F., D'ERCOLE R. (2009) - *Risques et accessibilité des lieux dans le District Métropolitain de Quito (Équateur)* - Dossier spécial « Cartographie des risques sous la coordination de : Emmanuel Bonnet, Élise Beck et Élisabeth Chesneau » - *Revue Mappemonde*, N° 95 (3-2009), 20p.

Réf. 4 - NÚÑEZ J., DEMORAES F., (2009). - *El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial: el caso de La Paz (Bolivia)*. - Numéro thématique «Vulnerabilidades urbanas en los países andinos (Bolivia, Ecuador, Perú) » - *Bulletin de l'IFEA*, 38 (3), (dir. R. D'ERCOLE, S. HARDY, J. ROBERT, P. METZGER), pp. 827-848.





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 km². 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 km².

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.

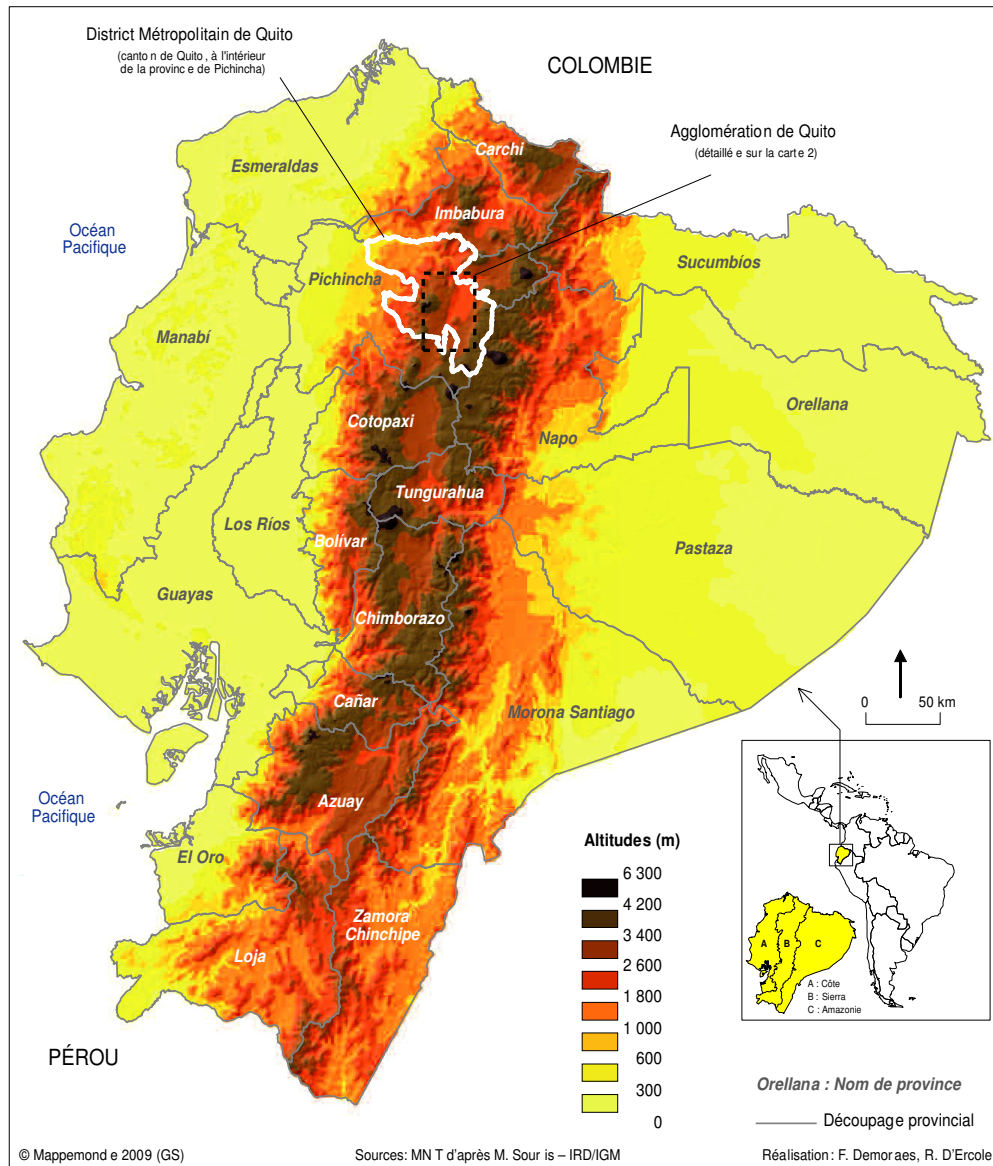
Non moins fréquents, les aléas d'origine naturelle contribuent également à entraver le déroulement habituel des activités et les communications dans le DMQ. Certains aléas surviennent de manière relativement localisée (inondations, coulées boueuses, glissements de terrain, affaissements des sols) et 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

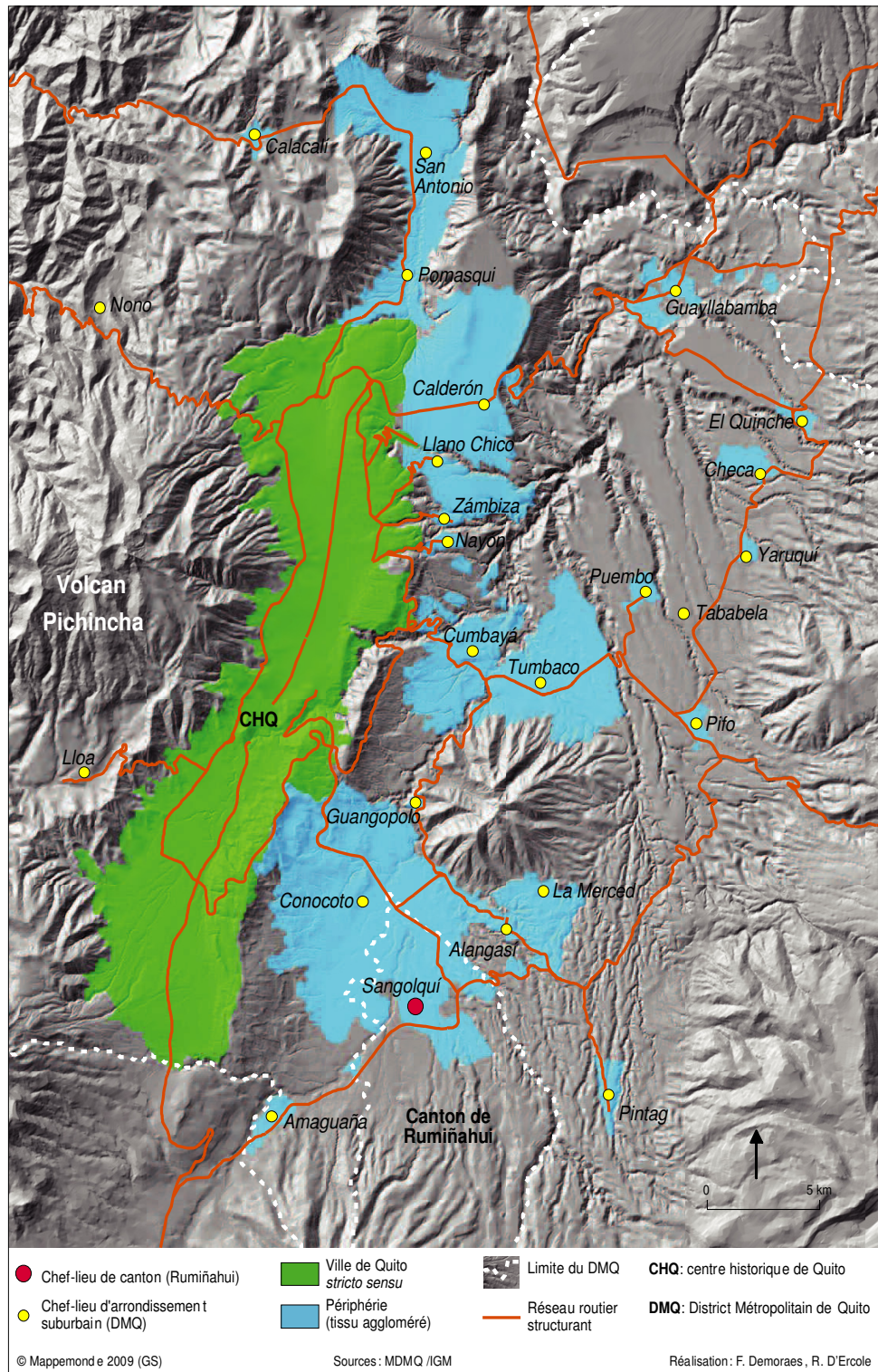


perturbations notoires de la mobilité. De leur côté, les volcans *Cotopaxi* et *Cayambe*, (situés respectivement à 50 km au sud et à 60 km au nord-est du DMQ), tous deux recouverts d'une calotte glaciaire, représentent des menaces préoccupantes car leur entrée en éruption pourrait engendrer des lahars (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 adéquate 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

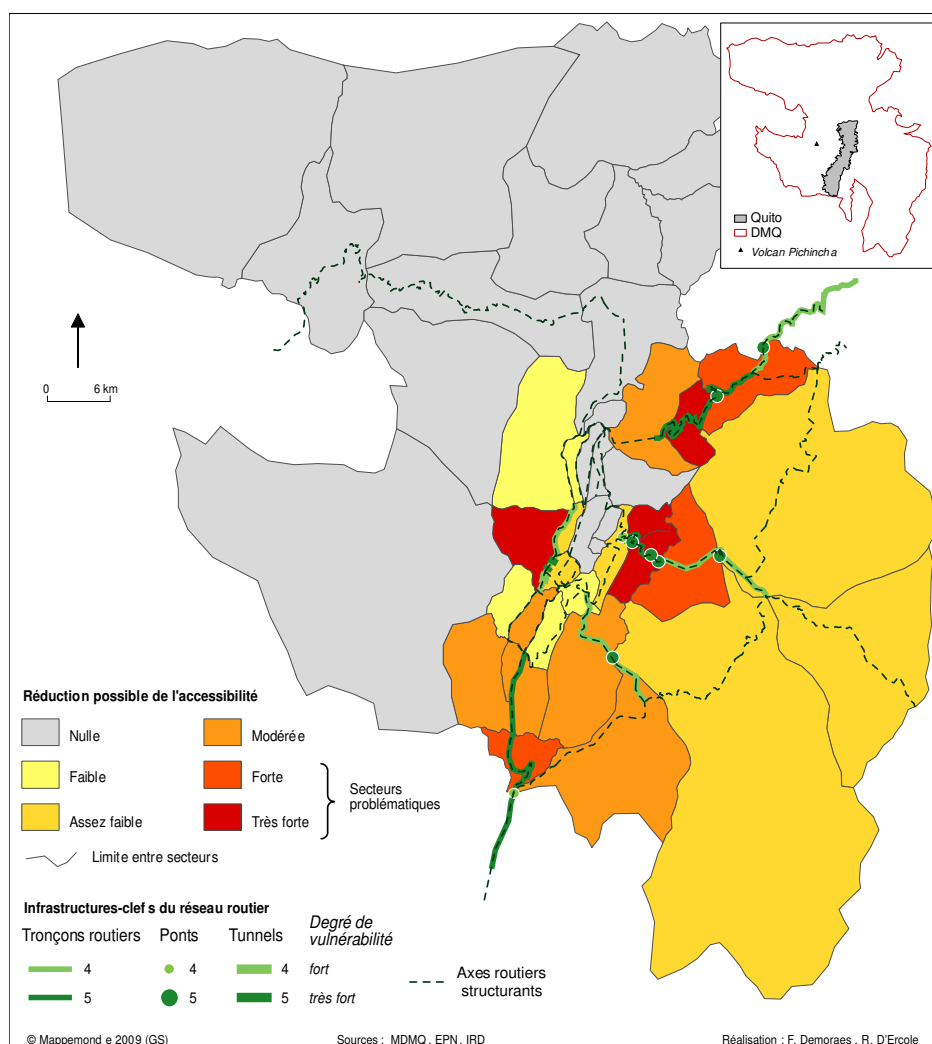
Nous avons d'abord repris le découpage administratif existant à savoir les arrondissements (17), puis essayé de mesurer les altérations possibles de leur accessibilité. Ceci dit, ce découpage avant tout basé sur des caractéristiques historiques, architecturales et socio-économiques s'est révélé inadapté 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 :

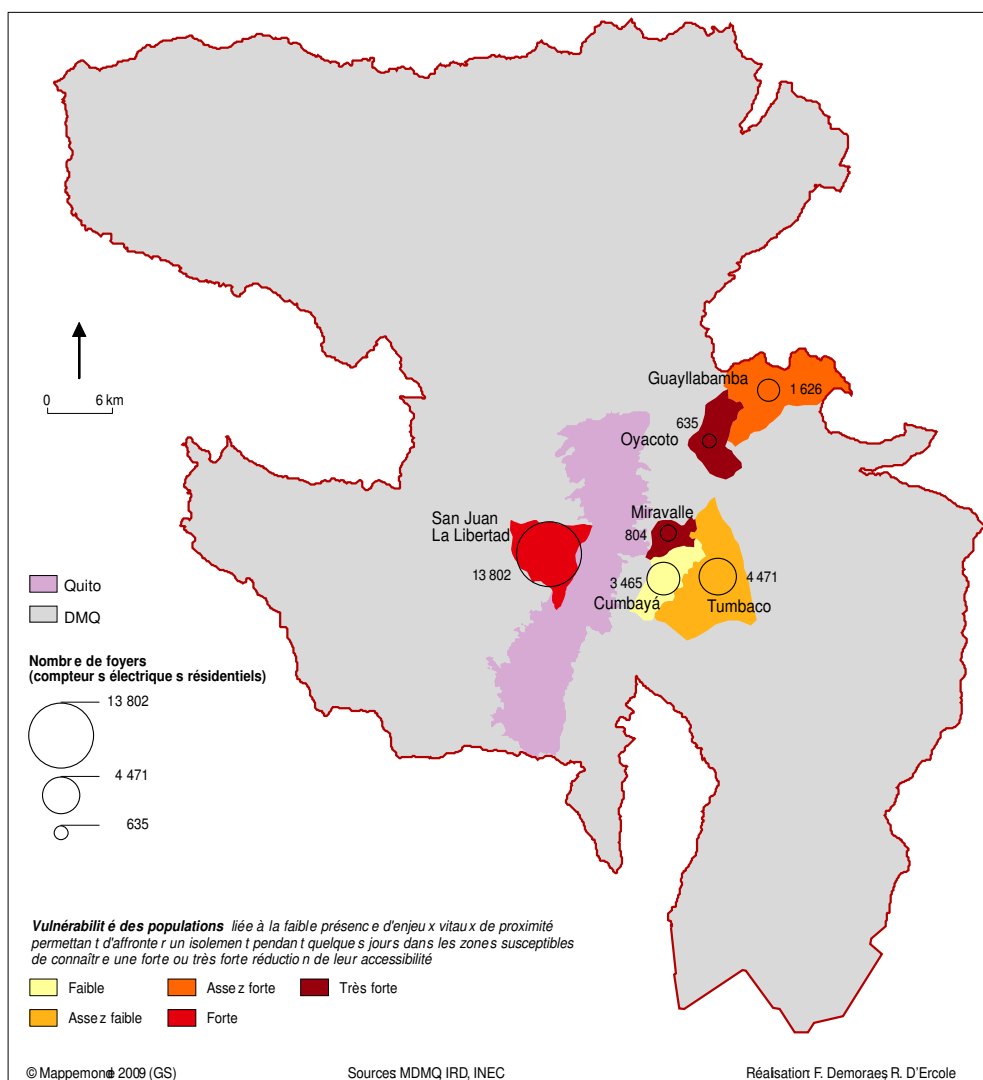
1. disponibilité en eau
 - capacité des réservoirs d'eau (en m³)
 - existence d'eau de puits (litre/seconde)
2. disponibilité en nourriture
 - nombre de points de vente d'aliments
 - nombre de lieux de stockage d'aliments
3. présence de capacités médicales
 - nombre de centres médicaux
 - nombre de lits 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 m³ dans les six zones. Oyacoto et Guayllabamba avec moins de 100 m³ 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

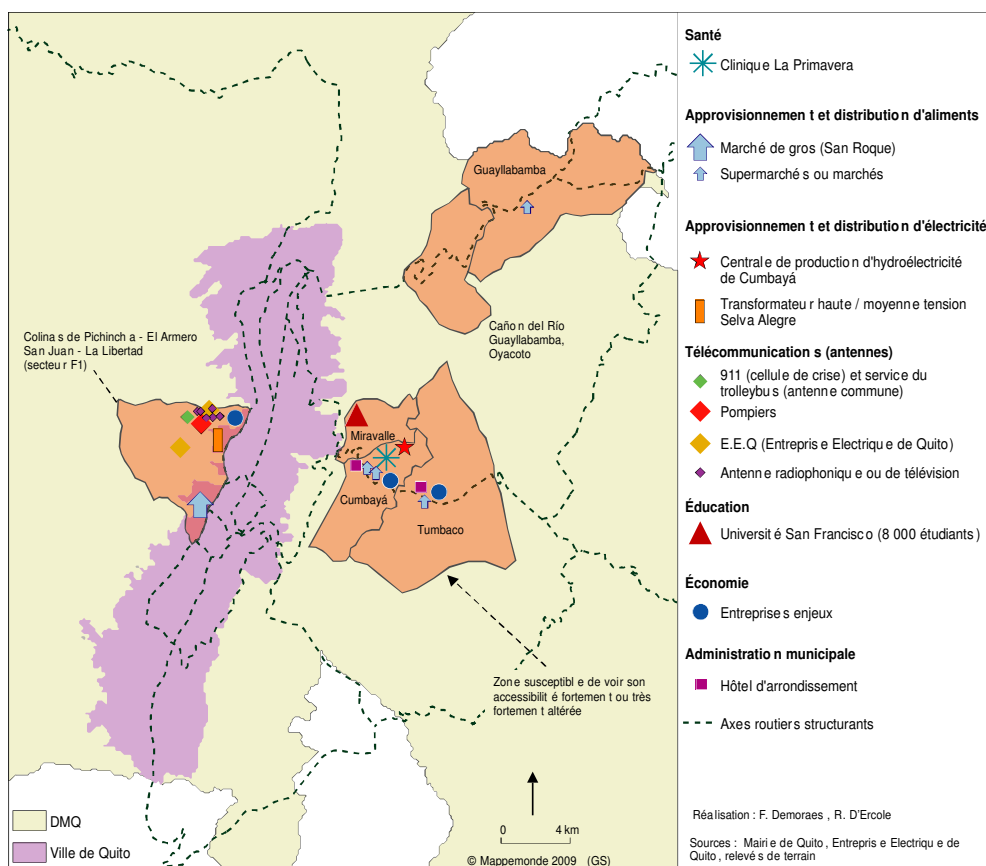
Dans cette partie, nous avons considéré la répartition spatiale des installations urbaines essentielles pour le fonctionnement et pour la gestion de crise à l'échelle du DMQ, ces dernières ayant été identifiées par les autres membres de l'équipe de recherche. En particulier, nous avons cherché à savoir 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 enjeu. 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 enjeu 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.

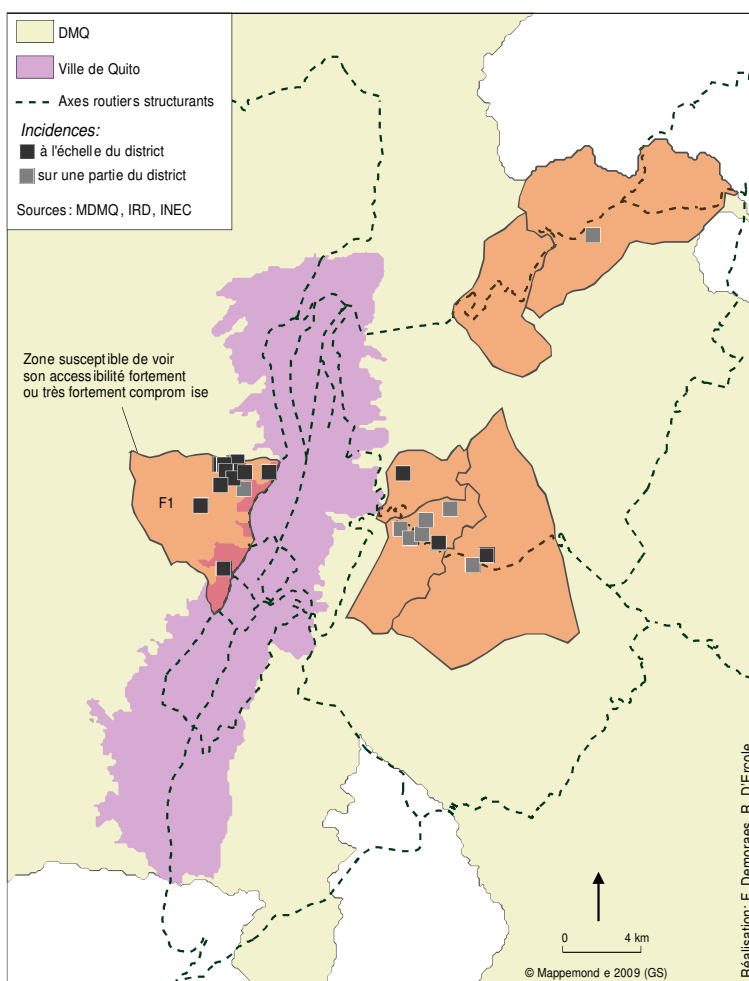
Dans notre exemple, nous avons retenu simplement deux échelles de répercussions pressenties (échelle de risque) pour chaque installation urbaine retenue comme enjeux (fig. 6). Ces répercussions ont été définies suivant la place occupée par chaque installation urbaine, à partir de son champ d'action, 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.

M@mpeponde 95 (2009.3) <http://mappemonde.mgm.fr/num23/articles/art09302.html>



Bibliographie

- APPERT M., CHAPELON L. (2001). *The urban traffic system vulnerability: definition and measures*. Communication au 12^e 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 multiniveau*. 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
- DEMORAES F. (2004). *Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito (Équateur)*. : 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
- 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
- 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
- IIDA 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*. : 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

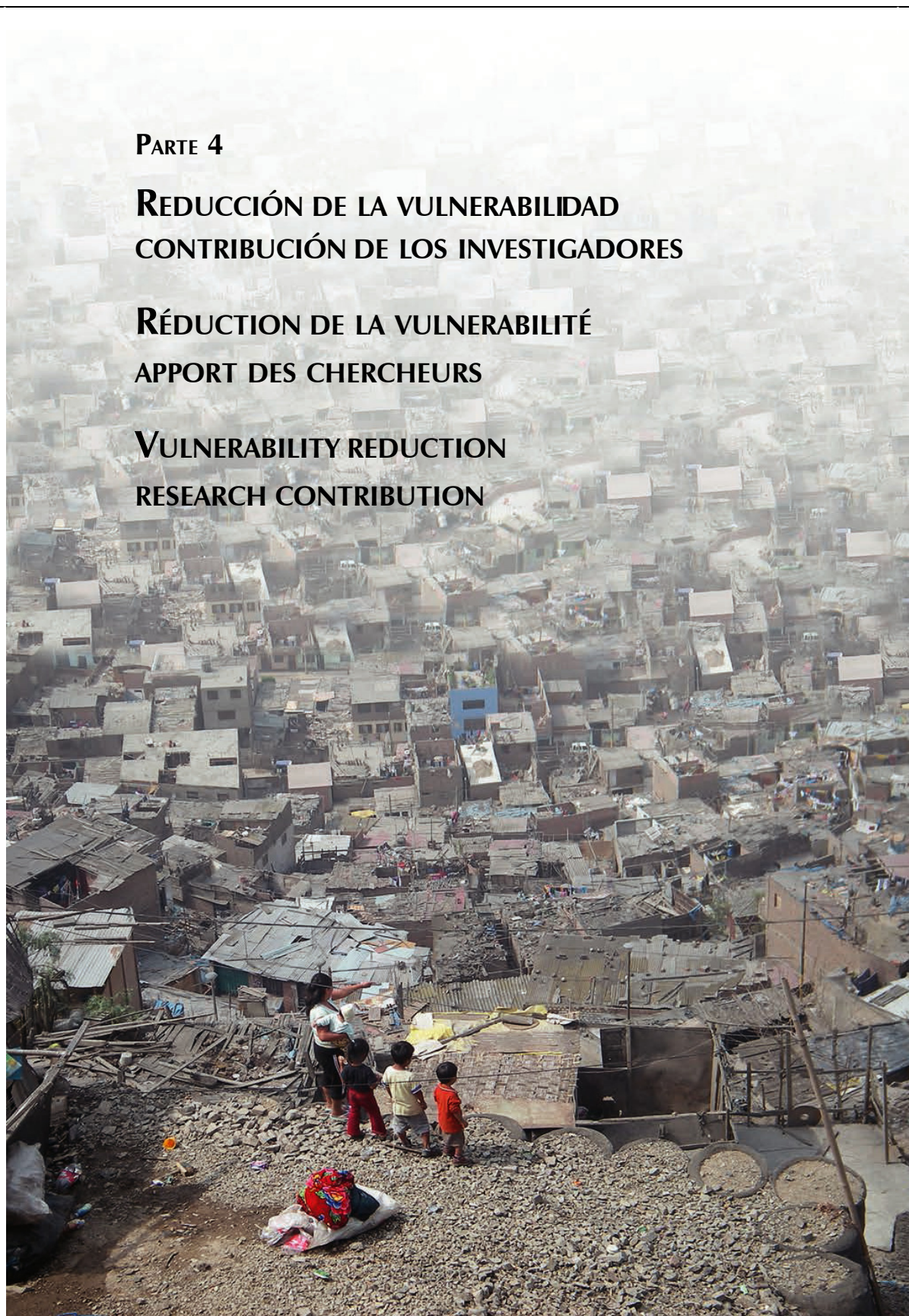
Robert D'Ercole, Institut de Recherche pour le Développement, UR 029 « Environnement Urbain » - Casilla 18-1209, Lima 18, Pérou. Courriel : robert.dercole@ird.fr

PARTE 4

**REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD
CONTRIBUCIÓN DE LOS INVESTIGADORES**

**RÉDUCTION DE LA VULNERABILITÉ
APPORT DES CHERCHEURS**

**VULNERABILITY REDUCTION
RESEARCH CONTRIBUTION**







IFEA

Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines / 2009, 38 (3): 827-848

El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial: el caso de La Paz (Bolivia)

Javier Nuñez-Villalba*
Florent Demoraes**

Resumen

Este artículo presenta los principales resultados de una investigación sobre el colapso de las vías de la metrópoli paceña causado por dos eventos: uno natural y otro social. El primero fue generado por una fuerte tormenta de lluvia y granizo ocurrida el 19 de febrero de 2002 y el segundo por una revuelta social llamada «Guerra del Gas» que aconteció en octubre del 2003. Ambos eventos originaron perturbaciones entre las más graves que enfrentó la Metrópoli en tiempos recientes. Se intenta localizar cuáles fueron los lugares más afectados en cada caso y se intenta entender por qué los impactos de estos eventos fueron tan graves y extensos. Se presenta en este artículo la metodología implementada y se demuestra que el analizar la vulnerabilidad de una red vial representa un enfoque pertinente para entender la vulnerabilidad de un territorio.

Palabras clave : metrópoli paceña, La Paz, El Alto, Bolivia, red vial, elementos esenciales, vulnerabilidad, riesgos, granizada, revueltas sociales, colapso vial

* UR 029 Institut de Recherche pour le Développement (IRD) Programa Pacivur, Av. Hernando Siles 5290 esq. calle 7, CP 9214 Obrajes, La Paz. Becario del IFEA (UMIFRE 17, CNRS-MAEE) en 2007. E-mail: jnunezvillalba@gmail.com

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



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

L'évaluation de la vulnérabilité d'un réseau routier comme outil de compréhension et de réduction de la vulnérabilité territoriale : le cas de La Paz (Bolivie)

Résumé

Cet article présente les principaux résultats d'une recherche sur la perte d'intégrité du réseau viaire de l'agglomération de La Paz liée à deux événements : l'un d'origine naturelle, l'autre d'origine sociale. Le premier découle d'un épisode pluvieux et grêleux intense survenu le 19 février 2002 et le deuxième d'une révolte sociale connue sous le nom de « Guerre du gaz » qui s'est déroulée en octobre 2003. Ces deux événements ont entraîné des perturbations parmi les plus graves qu'a connues l'agglomération de La Paz au cours de la dernière décennie. Ce texte tente de localiser les lieux les plus affectés dans chaque cas et de comprendre pourquoi les impacts de ces deux événements ont été si graves et si étendus. La méthodologie mise au point est présentée et il est montré que l'analyse de la vulnérabilité d'un réseau routier représente une approche pertinente pour appréhender la vulnérabilité d'un territoire.

Mots clés : agglomération de La Paz, La Paz, El Alto, Bolivie, réseau routier, enjeux, vulnérabilité, risques, orage grêleux, révoltes sociales, paralysie routière

The assessment of road network vulnerability as a tool to understand and mitigate territorial vulnerability: the example of La Paz (Bolivia)

Abstract

This paper presents the main results of an investigation of road disruptions generated within the Metropolis of La Paz by two events: a natural one and a social-related one. The first one was produced by a strong hailstorm on the 19th of February 2002, and the second one, called «The Gas War», resulted from riots and road blockades in October 2003. Both events led to the most severe disturbances that the metropolis had to face in recent times. This article aims at pinpointing the places that were the most affected in each case and at understanding why the impacts of these two events were so critical and so widespread. The methodology implemented to answer these questions is examined. We also demonstrate the relevancy of analysing road network vulnerabilities in order to assess the vulnerability of a territory as a whole.

Keywords: Metropolis of La Paz, La Paz, El Alto, Bolivia, road network, critical road infrastructures, vulnerability, risks, hailstorm, social revolts, road disruptions

INTRODUCCIÓN

La metrópoli paceña, conformada por las ciudades de La Paz y El Alto, sede del gobierno de Bolivia con cerca de 1,5 millones de habitantes¹, sufrió en la última década dos eventos inusuales, uno natural y otro social. El primero fue causado

¹ Según datos del último Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística para el año 2001 la población urbana de La Paz y El Alto fue de 1 436 935 habitantes.



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

por una fuerte tormenta de lluvia y granizo ocurrida el 19 de febrero de 2002 y el segundo por una revuelta social llamada «Guerra del Gas» que aconteció el 19 de octubre del 2003. Ambos eventos fueron asociados a perturbaciones y daños que cubrieron una extensión espacial poco habitual alcanzando a casi toda el área metropolitana y causando millonarias pérdidas económicas y decenas de víctimas. Es sorprendente en la medida en que generalmente las inundaciones, deslizamientos, derrumbes y manifestaciones sociales que afectan el área metropolitana, suelen tener impactos más localizados, principalmente en las periferias de la ciudad de La Paz, y ocasionalmente en la ciudad de El Alto.

Frente a esta situación excepcional, surgen varias preguntas como: ¿Cuáles fueron las características de ambos eventos?, ¿Qué les diferencia de eventos más comunes?, ¿Por qué tuvieron impactos tan graves y extensos?, ¿Cuáles fueron los sectores más afectados? y ¿Por qué?, ¿Cuáles son las vulnerabilidades territoriales que se evidencian cuando se reduce la integridad de la red vial en el área metropolitana?

Para responder a estos cuestionamientos, se describe en la primera parte ambos eventos y sus impactos espaciales. En la segunda parte, se contempla la configuración organizacional de la metrópoli y se estudia la estructura de la red vial y del transporte colectivo, principal modo de desplazamiento de los ciudadanos. Esta etapa permite determinar los grandes patrones de movilidad cotidiana en el área metropolitana y los tramos viales esenciales sobre los cuales se basan, tramos cuyo cierre causa lógicamente graves disturbios. En la tercera parte, para identificar los tramos que pueden resultar fuera de servicio, se analiza y cartografía su vulnerabilidad. En la cuarta parte, a través de un escenario, se compara los problemas de accesibilidad y de circulación vehicular que resultarían del cierre de los tramos esenciales identificados como más vulnerables con los problemas observados durante los dos eventos analizados.

1. DESCRIPCIÓN DE LOS DOS EVENTOS: CAUSAS E IMPACTOS ESPACIALES

1. 1. La tormenta de lluvia y granizo del 19 de febrero de 2002

A las 14:20 horas del día 19 de febrero de 2002, hora de mayor concentración peatonal y vehicular en el centro de la ciudad de La Paz, se produjo una tormenta de lluvia y granizo que duró aproximadamente 50 minutos². El volumen total precipitado fue medido en 39,4 litros por metro cuadrado (GMLP & PNUD, 2002). Convirtió a las calles del Centro y del Sur de la ciudad (fig. 1) en ríos de fuerte caudal cuya fuerza fue acentuada por las altas pendientes de las calles en su mayoría estrechas. Esta tormenta fue particularmente dañina por la súbita

² La intensidad más fuerte de la granizada duró aproximadamente 50 minutos, a pesar de que cayó granizo por una hora y cincuenta minutos.



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

acumulación de agua y el taponamiento de sumideros con hielo que hizo que los canales de aguas pluviales, tanto naturales como artificiales se vieran sobradamente excedidos. Las aguas cargadas con sedimentos y escombros fluyeron también en las calles y avenidas paralelas a estos canales y arrasaron todo a su paso. El

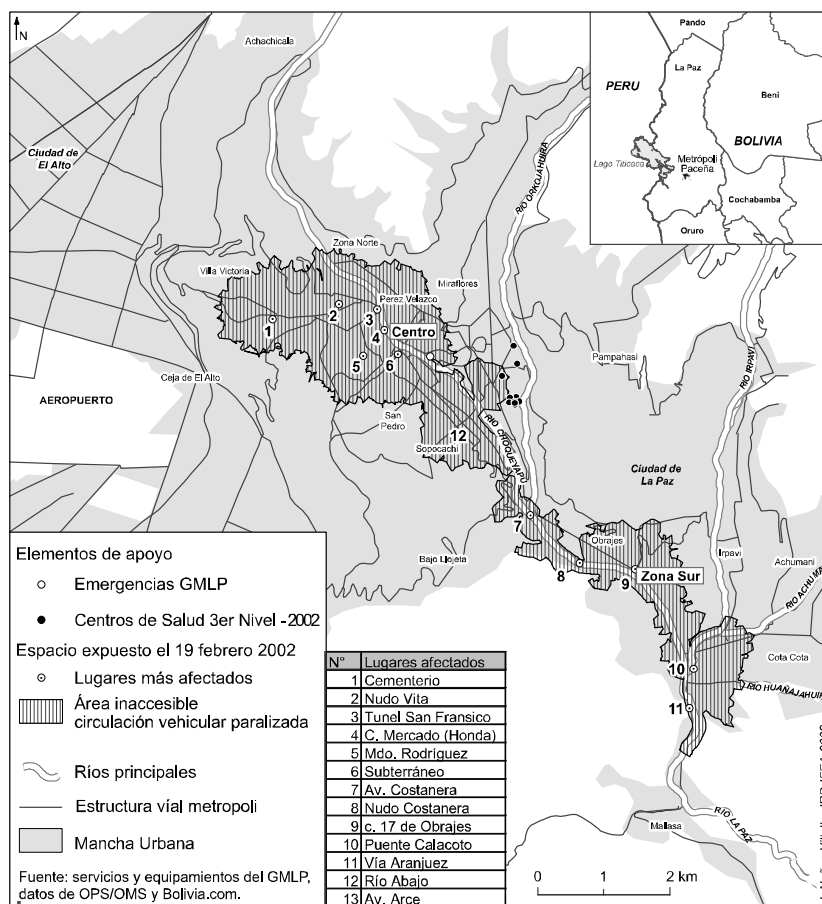


Figura 1 – Lugares afectados durante la tormenta de lluvia y granizo del 19 de febrero de 2002³, ciudad de La Paz

³ Se delimitaron las zonas que experimentaron una paralización total de circulación vehicular en base a los lugares más afectados. Esta información se obtuvo a partir de recorridos de campo, reportes y notas de prensa. Las fuentes principales fueron la pagina web: <http://www.bolivia.com/especiales2002/emergencialpz/notas/> y el CD multimedia de prevención y mitigación de desastres publicado por la OPS/OMS (2002).



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

principal recolector de aguas de la ciudad, el río Choqueyapu, fue ampliamente sobrepasado, y se produjeron desbordes y grandes inundaciones. Problemas similares se produjeron en los principales ríos de la zona sur: Irpavi, Achumani, Jilusaya y Huañajahuira (GMLP & PNUD, 2002).

Así, zonas neurálgicas de la ciudad, como el Centro y la zona Sur, poco habituadas a estos fenómenos, fueron directamente afectadas. Cabe resaltar que durante esta crisis la atención de emergencias en estas zonas resultó totalmente imposible por dos razones. Primero la circulación vehicular dentro de estas zonas se volvió rápidamente imposible y, segundo, sus vías de acceso se quedaron también rápidamente bloqueadas. Las comunicaciones entre el centro de la ciudad de La Paz y el Sur, y entre el centro y la ciudad de El Alto se suspendieron durante 6 horas interrumpiéndose servicios como la atención de centros de salud, centros educativos, actividades económicas de empresas públicas y privadas, transporte, etc. (OPS/OMS, 2002).

En total, este evento ocasionó 68 muertes, la desaparición de 14 personas y daños económicos de más de 10 millones de dólares, por lo que se convirtió en la peor catástrofe en esta ciudad hasta esa fecha (Ayala, 2005: 15). Esta tormenta de lluvia y granizo también inundó varias zonas de la ciudad de El Alto, pero sin consecuencias fatales.

1. 2. La revuelta social de octubre 2003 o «Guerra del Gas»

Los movimientos sociales de octubre de 2003 en protesta contra la política del Gobierno Nacional en el sector de los hidrocarburos con relación a la exportación del gas a otros países y contra un nuevo impuesto a los salarios, bloquearon por más de una semana, en seis lugares en El Alto, las principales vías de acceso a la metrópoli paceña (fig. 2). Este aislamiento provocó pánico, motines, desbordes colectivos y disturbios, y un desabastecimiento de insumos básicos, como alimentos, combustibles y medicamentos a toda la metrópoli (La Prensa 2005; Mamani, 2004). Las repercusiones de este evento no solo se sintieron a escala metropolitana sino también a escala nacional, por ser La Paz la sede del Gobierno Central. Este evento evidenció que el cierre de las vías principales de la ciudad de El Alto, si bien tiene impactos locales, tiene también un efecto en cadena sobre toda la metrópoli y en particular sobre la ciudad de La Paz.

Ambos eventos, por sus características, son claramente diferentes. Sin embargo, ambos fueron excepcionales por su extensión y severidad e implicaron cada vez una pérdida de integridad de la red vial metropolitana. Es interesante observar que no fueron los mismos sectores que reaccionaron y que en el segundo caso, el bloqueo de tan solo seis intersecciones causó el colapso del sistema urbano en su conjunto. A continuación, intentamos entender por qué.



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

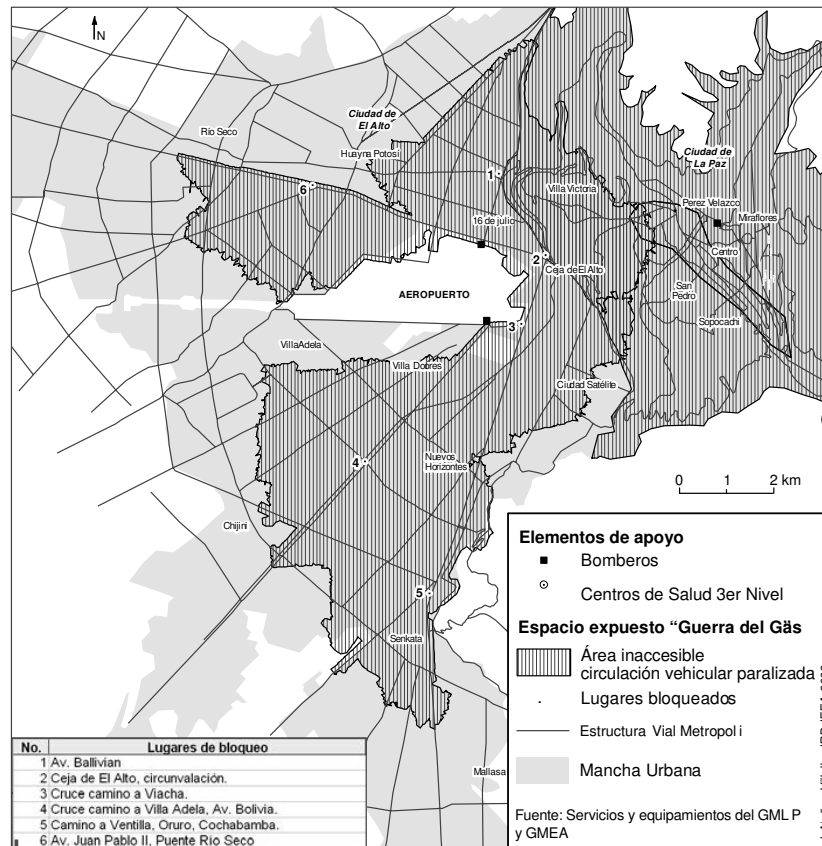


Figura 2 – Puntos de bloqueo en la «Guerra del Gas» de octubre 2003

2. INTERPRETACIÓN DE LOS IMPACTOS: EL NECESARIO ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE LA METRÓPOLI Y DE SU ESTRUCTURA VIAL

La hipótesis que vamos a verificar consiste en considerar que las consecuencias tuvieron esa magnitud y esa extensión debido a que los eventos impactaron directamente la red vial y en especial tramos estratégicos para el área metropolitana. ¿Cómo comprobar esta hipótesis? ¿Cómo identificar tramos clave en una red vial urbana? Para responder estos interrogantes, se adaptó una metodología que se funda sobre una diferenciación y jerarquización de vías. Esa metodología fue inicialmente experimentada sobre la aglomeración de Quito en Ecuador (Demoraes, 2005) en el marco del programa «Sistema de información y riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito» (D’Ercole & Metzger, 2004) (Cf.



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

el recuadro de Florent Demoraes, páginas siguientes). Primero, se debe revisar la lógica organizacional de la metrópoli, es decir ver cuáles son los grandes conjuntos geográficos dentro de la aglomeración urbana, cuáles son sus características y cuáles son las relaciones que mantienen entre sí. Estas últimas permiten explicar los grandes patrones de la movilidad cotidiana. Luego se debe revisar sobre qué ejes viales se realizan los viajes cotidianos entre estos conjuntos y analizar sus características y estructuras. Esta metodología permite así entender cuáles son las repercusiones espaciales en caso de fallo de un tramo vial esencial.

En el caso de la metrópoli paceña, las ciudades de La Paz y El Alto se caracterizan por perfiles socio demográficos muy diferentes y complementarios. De manera esquemática, la ciudad de La Paz concentra la mayor parte de los empleos y la ciudad de El Alto, más industrial, la mayor parte de la mano de obra. Por otro lado, El Alto cuenta con el aeropuerto. Por esas razones ambas ciudades mantienen fuertes relaciones que se evidencian a través de los movimientos pendulares. Transitan así entre ambas ciudades más de 32 000 vehículos en un día típico de la semana⁴, y más de 200 000 pasajeros por día (GMEA & REINGENIERIA, 2004: 11-12). Cabe resaltar que, dada la configuración del sitio (fig. 3), existen pocas alternativas viales entre ambas ciudades lo que vuelve estratégicas a estas pocas vías. Estos altos flujos son generalmente realizados por transporte colectivo, modo que desempeña un papel clave. En la ciudad de El Alto, el 90 % de los viajes motorizados se realizan en transporte colectivo (GMEA & REINGENIERIA, 2004) y en La Paz el 70 % (Tonichi & Systra, 2004). Cabe destacar también que el acceso terrestre a la ciudad de La Paz desde el resto del país solo se hace atravesando El Alto. La ciudad de La Paz se encuentra en una situación de enclave geográfica, y las vías de acceso a El Alto, si bien son vitales para El Alto, también lo son para la ciudad de LaPaz.

En el mapa siguiente (fig. 3) se resaltaron los tramos principales de la red vial a escala metropolitana. Se consideró la función de cada tramo y se definieron como vías principales los ejes que conectan (1) la aglomeración con el resto del país, (2) El Alto con La Paz, (3) las diferentes centralidades de la aglomeración (centro histórico, zona Sur, La Ceja de El Alto, etc.) y (4) los diferentes barrios. En su mayoría son vías anchas y asfaltadas. Para cada tramo se asignó un valor en función de su importancia.

Por otra parte, dada la importancia del transporte colectivo para los ciudadanos, se identificaron las rutas clave por las cuales transitan los diferentes medios de transporte colectivo. Estos son microbuses⁵, minibuses⁶, carry⁷ y trufis⁸. Para ello, se

⁴ Los volúmenes vehiculares fueron calculados en un tiempo de 16 horas por las vías más importantes de conexión entre La Paz y El Alto, la Avenida Autopista y la Avenida Naciones Unidas, el año 1999.

⁵ Son vehículos de tipo autobús de antiguos modelos de la década de los años 1950, 1960, 1970 y 1980 que soportan aproximadamente 21 pasajeros sentados y 15 personas paradas.

⁶ Vehículos de puertas corredizas tipo combis u ómnibus adaptados para el transporte público para 14 pasajeros.

⁷ Vehículos como combis u ómnibus, pero más pequeños, adaptados para el transporte público. Funcionan tipo taxis colectivos para 8 pasajeros, con rutas fijas.

⁸ Automóviles de cuatro puertas tipo taxis colectivos para 5 pasajeros con rutas fijas.

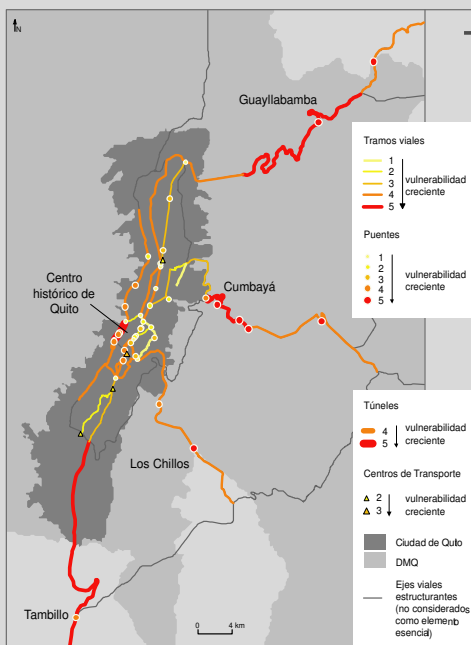


El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y de reducción de la vulnerabilidad territorial del Distrito Metropolitano de Quito

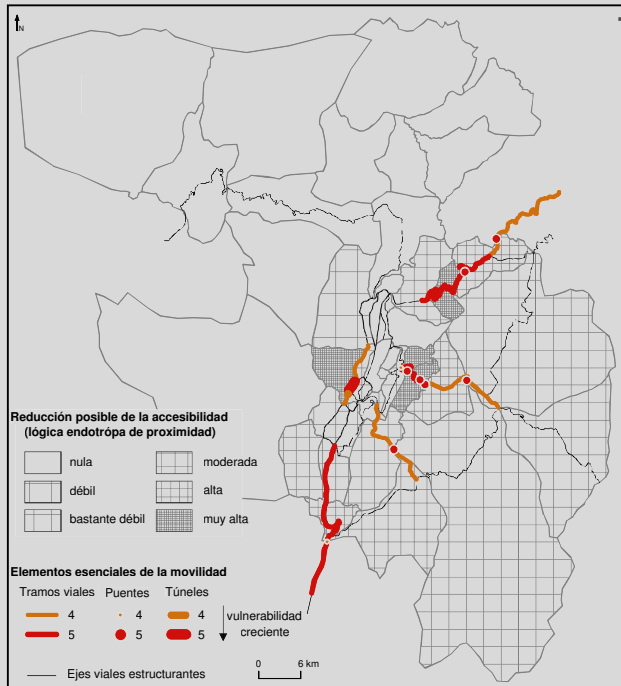
Florent Demoraes

Aportes de la investigación y enfoques para la prevención

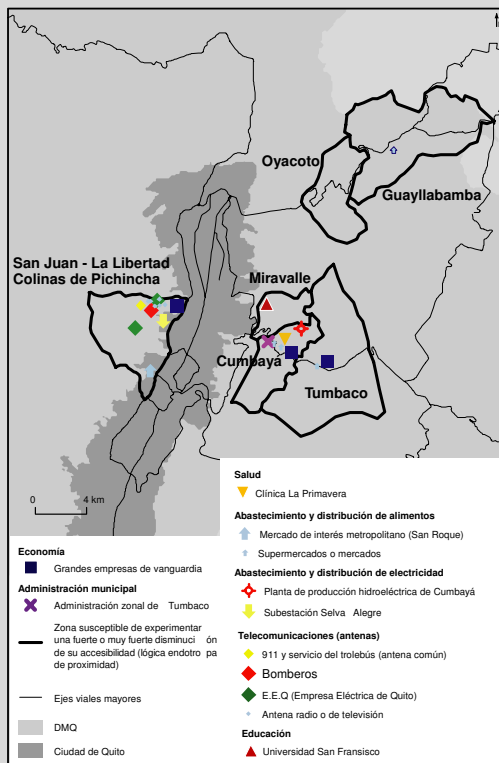
En el marco del programa «Sistema de información y riesgos en el DMQ» (IRD-DMTV), se llevó a cabo una investigación para evaluar la vulnerabilidad de la red vial en el Distrito Metropolitano de Quito (Demoraes, 2005). El objetivo era identificar los tramos viales, entre los más estratégicos a escala del DMQ, que son más susceptibles de experimentar una reducción de su operatividad, la cual causaría una grave perturbación de la circulación y también una reducción de la accesibilidad de varios lugares. Luego esa reducción generaría una serie de disfuncionamientos en el territorio metropolitano que se intentó evaluar a través de varios escenarios. La primera etapa consistió en identificar los elementos esenciales de las redes viales y de transporte a escala del DMQ. Para ello se elaboró una metodología fundamentada en criterios cuantitativos, cualitativos y espaciales. En la segunda etapa, se evaluó la vulnerabilidad de estos elementos esenciales considerando seis factores (vulnerabilidad intrínseca, dependencia, exposición a amenaza, alternativas, capacidad de control, preparación a crisis). En la tercera etapa, se analizaron las posibilidades que tienen los diferentes sectores del DMQ de ver su accesibilidad reducida dado los cierres de vías. En la cuarta parte se evaluaron los riesgos asociados a las reducciones de accesibilidad. Esta investigación permitió esbozar unas propuestas para reducir la vulnerabilidad del territorio metropolitano en una perspectiva de planificación preventiva (desconcentración espacial de elementos esenciales para el funcionamiento del DMQ, implementación de un sistema de anticipación de perturbación de tráfico, inversión enfocada para mejorar la accesibilidad de los pocos sectores que se encuentran en una situación desfavorable, etc.).



Mapa A: Vulnerabilidad global de los elementos esenciales de la red vial del DMQ (Síntesis de los seis factores de vulnerabilidad)



Mapa B – Reducción posible de la accesibilidad de las zonas en caso de fallo de los elementos esenciales más vulnerables de la red vial



Mapa C – Localización de las instalaciones esenciales para el funcionamiento del DMQ en las zonas susceptibles de experimentar una fuerte o muy fuerte reducción de su accesibilidad



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

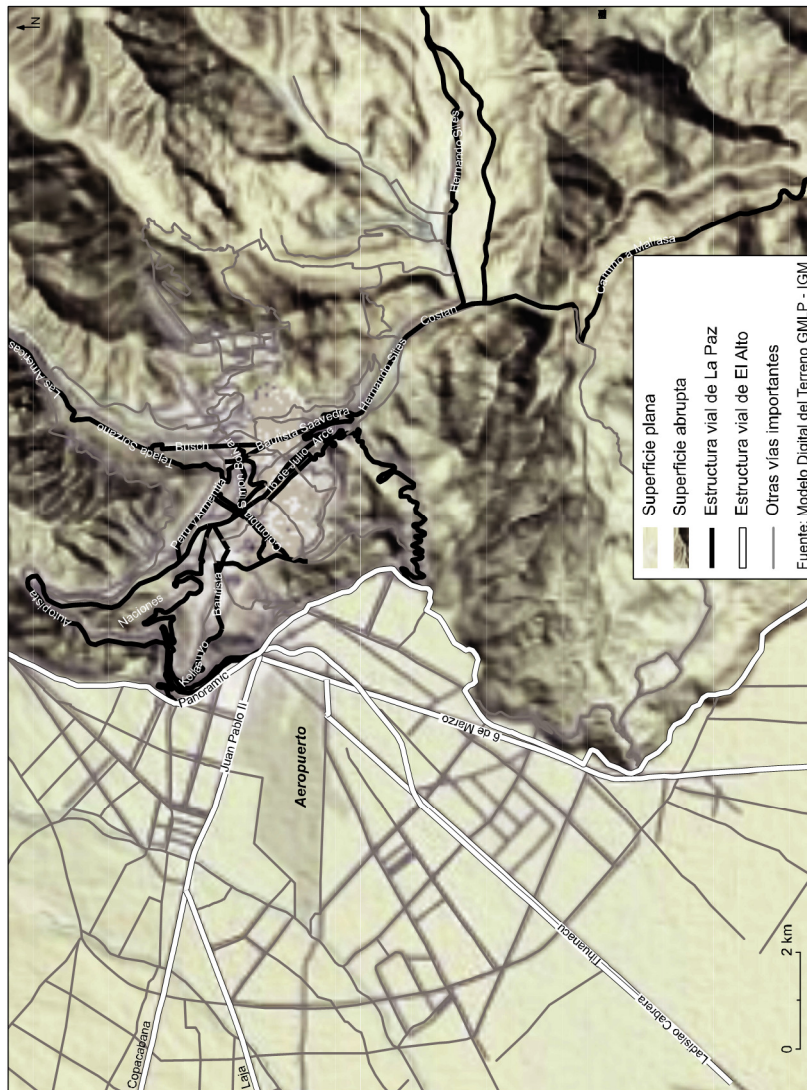


Figura 3 – Red vial principal de la metrópoli paceña (importante para las conexiones internas y el acceso a la metrópoli) y topografía



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

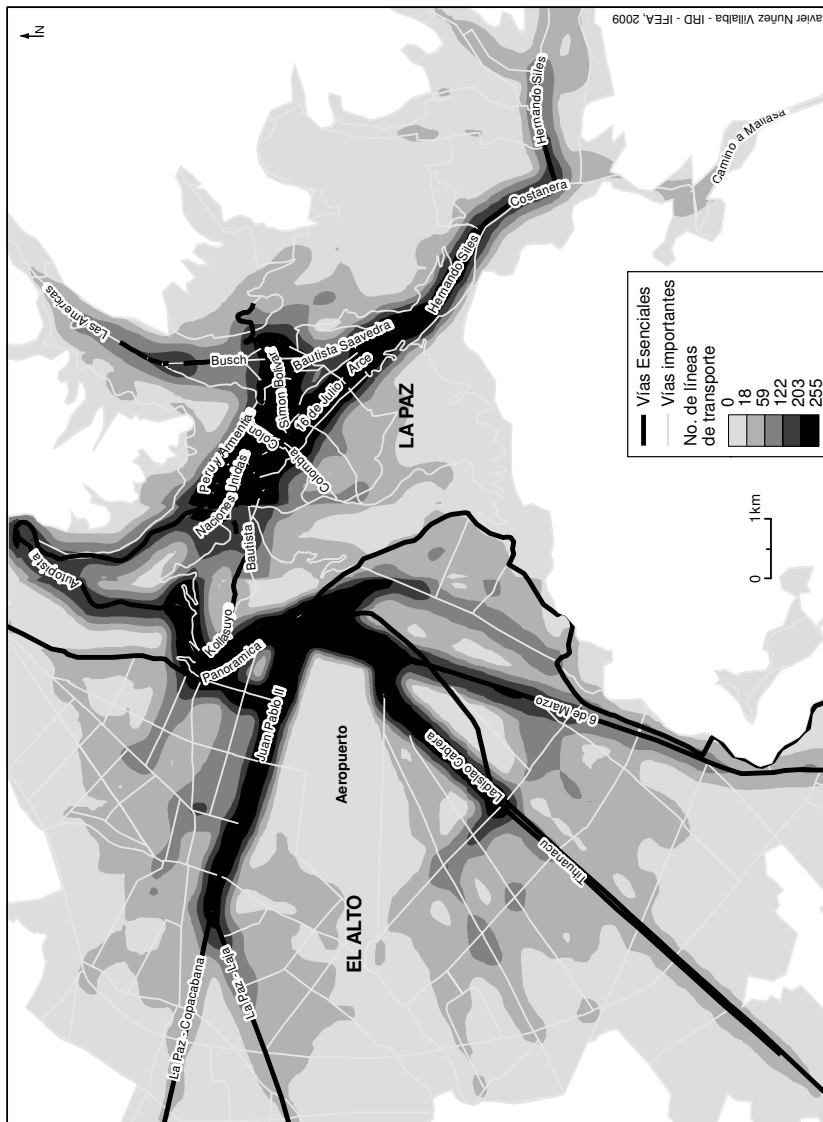


Figura 4 – Red vial esencial de la metrópoli paceña (conexiones más importantes y grandes corredores de transporte colectivo).



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

realizaron tratamientos en un sistema de información geográfica (SIG). Se calculó primero el número de rutas por tramo vial, valor que luego fue interpolado para resaltar los ejes de mayor concentración de transporte colectivo.

Finalmente, se sintetizaron los dos análisis. Se clasificaron y se sumaron los valores de cada tramo asignados en base a su función en la red y su frecuentación por el transporte colectivo. De la suerte se pudieron identificar para la ciudad de El Alto 8 vías esenciales y para la ciudad de La Paz 28 vías (fig. 4). La identificación de estas vías esenciales a escala metropolitana no fue fácil, debido a las diferencias existentes respecto a la administración municipal de La Paz y El Alto. Se tuvo que trabajar en cada ciudad por separado para luego unir los datos de ambas ciudades.

Conociendo las vías que desempeñan un papel de primera importancia para el funcionamiento de la metrópoli, vías cuyo fallo implicaría lógicamente graves disturbios, vamos a continuación a analizar su propensión a resultar fuera de servicio. Para ello se analiza su vulnerabilidad en base a una metodología que considera tanto las fragilidades de las vías como su resiliencia. También vamos a ver si son aquellas vías las que fueron cerradas en los dos eventos analizados en este texto y reconstituir a posteriori los impactos que se dieron.

3. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS VÍAS ESENCIALES

Para conocer la propensión que tienen las vías esenciales de resultar inoperantes, se analizó su vulnerabilidad a través de una metodología (Demoraes, 2005) que considera seis factores listados a continuación:

- La vulnerabilidad intrínseca: corresponde a las debilidades internas, a las propias fragilidades, a las debilidades estructurales del elemento estudiado.
- La dependencia: considera las relaciones de dependencia del elemento frente a otros sistemas, relaciones que son necesarias para su funcionamiento.
- La exposición a los peligros y la susceptibilidad de daño: abarca los diferentes tipos de amenazas de origen natural y antrópico a las cuales están expuestos los elementos. Permite también evaluar si estos últimos son susceptibles de experimentar disfuncionamientos o daños.
- La capacidad de control: se refiere a la posibilidad de controlar el elemento. En otros términos se analiza si es fácil o no intervenir a nivel del elemento, directamente o a distancia, en caso de problema.
- Las alternativas: consideran las posibilidades de reemplazo, de sustitución de un elemento asegurando una función, en caso de fallo.
- La preparación a las crisis: corresponde a las medidas preventivas, a las diversas formas de preparación, a la existencia de planes previstos por los gestores para afrontar las crisis.

De modo general, se asocian los tres primeros factores a una serie de debilidades características de los tramos viales esenciales que tienden a aumentar su riesgo de fallo, mientras que se asocian los tres últimos factores (factores de compensación o



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

de resiliencia) al conjunto de acciones o situaciones que tienden a contrarrestar las debilidades de los tramos esenciales y consecuentemente a reducir su riesgo de fallo. Para ello, se requirió considerar un amplio abanico de datos basado en diferentes fuentes. La fuente principal de información fueron los Planes de Desarrollo y de Ordenamiento Urbano de los municipios de La Paz y El Alto (GMLP, 2007; GMEA, 2006). También se consultaron reportes y la prensa, se realizaron recorridos de campo, se programaron entrevistas a gestores, y se utilizaron las potencialidades del SIG en complemento. Con esa herramienta se evaluó por ejemplo la pendiente de los ejes viales, se midió su exposición a amenazas, se localizaron los sumideros y se delimitaron las áreas de restricción vehicular. Adicionalmente se utilizó el SIG para medir las fortalezas de los ejes viales (proximidad a elemento de apoyo, etc.). Se consideraron los criterios más visibles de vulnerabilidad de la red vial, los más característicos, los más perturbadores, aquellos comúnmente identificados por los gestores, ciudadanos e investigadores en la metrópoli paceña (cuadro 1). Sin

Cuadro 1 – Matriz sinóptica de las variables analizadas para evaluar los seis factores de vulnerabilidad

FORMAS DE VULNERABILIDAD					
Fragilidad del sistema					
1. Intrínseca (variables analizadas)	Amplitud	2. Dependencia (variables analizadas)	Amplitud	3. Exposición a amenazas, susceptibilidad de daño (variables analizadas)	Amplitud
Estado de la rodadura***	0 – 2	Alumbrado público***	0 - 2	Inestabilidad de los suelos (deslizamiento, derrumbe, hundimiento)**	0 - 4
Pendiente máxima**	0 – 2	Red de semáforos***	0 - 2	Inundaciones**	0 - 4
Sinuosidad***	0 – 2	Mantenimiento de vías***	0 - 2	Mazamoras**	0 - 4
Propenso a la congestión vehicular diaria***	0 – 4	Sumideros o colectores viales de agua**	0 - 2	Sifonamientos**	0 - 4
Accidentalidad**	0 – 2	Alcantarillado lluvia I*	0 - 2	Distribución de gas*	0 - 2
Propenso a perturbaciones ocasionales (manifestaciones, saturación en feriados)***	0 – 2			Amenazas naturales (inundaciones, sifonamientos y deslizamientos)*	0 - 4
Operatividad*	0 – 4			Aeropuerto*	0 – 2
Factores de compensación o resiliencia					
4. Capacidad de control (variables analizadas)	Amplitud	5. Alternativas (variables analizadas)	Amplitud	6. Preparación a las crisis (variables analizadas)	Amplitud
Telecontrol de semaforización**	0 – 2	Restricción vehicular**	0 - 2	Plan de limpieza de sumideros en época de lluvias**	0 - 4
Accesibilidad**	0 – 2	Rutas alternativas**	0 - 2	Zona de intervención rápida de los bomberos***	0 - 2
Accesibilidad*	0 – 4	Rutas alternativas*	0 - 4	Zona de intervención rápida de policías***	0 - 2
				Proximidad del COE**	0 - 2
				Red de Salud para la atención de emergencias***	0 - 2

* Variables analizadas para la ciudad de El Alto; ** Variables analizadas para la ciudad de La Paz; *** Variables analizadas para ambas ciudades



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

embargo, no se pudo siempre analizar la vulnerabilidad de las vías esenciales en base a las mismas variables en La Paz y El Alto. Por ejemplo, para evaluar la vulnerabilidad intrínseca de los ejes viales esenciales en la ciudad de La Paz se tomaron en cuenta sus altas pendientes, variable no considerada para El Alto, por ser una ciudad casi plana. Hay otros ejemplos: la capacidad de control, las alternativas y los planes de contingencia. Estos factores son pertinentes para la ciudad de La Paz a diferencia del Municipio de El Alto, donde existen pocos datos al respecto. La falta de datos en la ciudad de El Alto sobre variables que puedan ayudar a medir los factores de compensación o resiliencia de la red vial, permite hacer una observación previa respecto a la baja capacidad de respuesta en esta ciudad.

Los datos anteriores fueron convertidos para cada tramo en niveles de vulnerabilidad asociados a valores. Mientras mayor es la vulnerabilidad, mayor es el valor asignado al tramo vial esencial. Cuando no se detecta vulnerabilidad, se da el valor cero. No obstante, cabe resaltar el hecho de que algunos factores considerados implican una simple reducción de la fluidez del tránsito, mientras otros pueden llegar al bloqueo total de la circulación. Por ello dos amplitudes fueron contempladas:

- de 0 a 2 para los factores moderadamente perturbadores,
- de 0 a 4 para los factores altamente perturbadores.

A continuación presentamos los resultados y los mapas asociados. Intentamos ver si los ejes que identificamos como al mismo tiempo esenciales y altamente vulnerables fueron aquellos que experimentaron problemas en los dos eventos analizados en este texto.

3. 1. Evaluación y cartografía de la fragilidad de las vías esenciales (vulnerabilidad intrínseca, dependencia y exposición a amenazas)

Una vez asignados los valores a las vías, se los sumaron y se los clasificaron en ambas ciudades (cuadro 2). Se definieron tres grados de fragilidad (baja, media, alta).

Cuadro 2 – Grado de fragilidad de las vías esenciales (vulnerabilidad intrínseca, dependencia y exposición a amenazas)

Fragilidad del sistema – La Paz	
Grado de Vulnerabilidad	Suma de valores asignados para cada criterio
1. Baja	6 – 10
2. Media	11 – 13
3. Alta	14 – 20

Fragilidad del sistema – El Alto	
Grado de Vulnerabilidad	Suma de valores asignados para cada criterio
1. Baja	10 – 11
2. Media	12 – 14
3. Alta	15 – 19



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

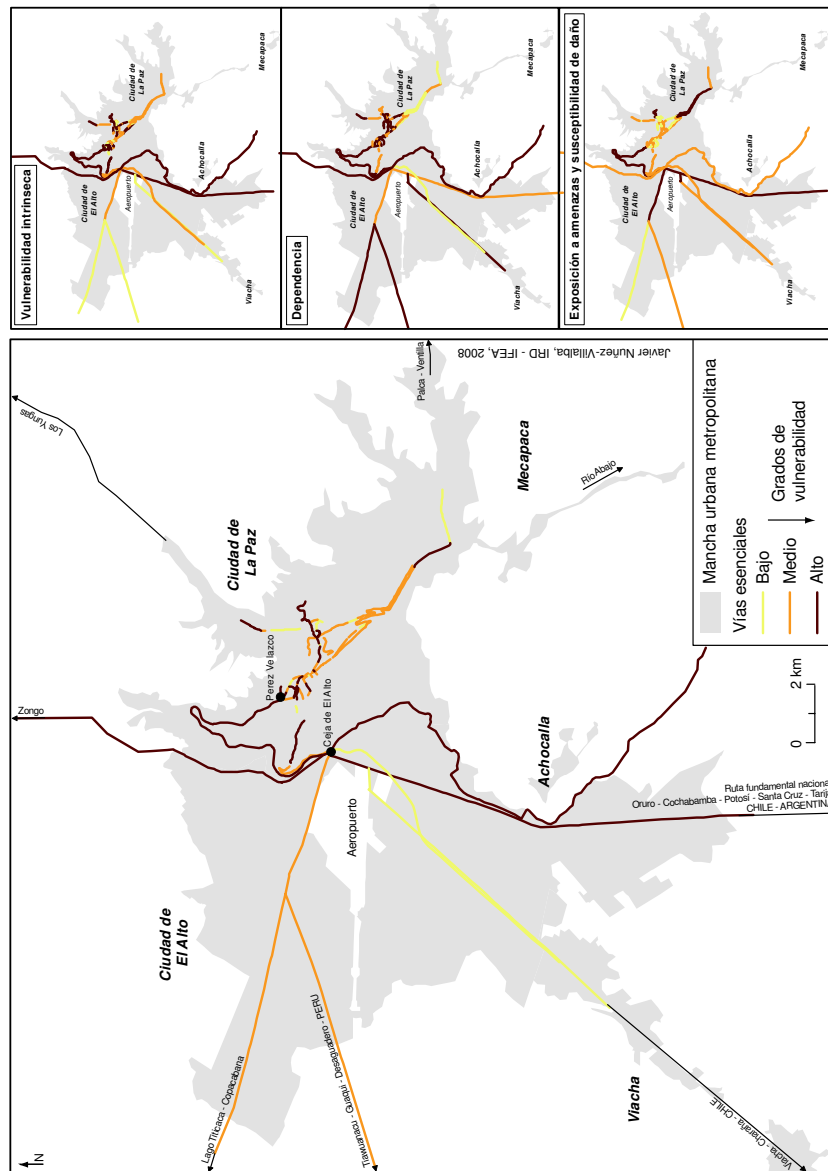


Figura 5 – Fragilidad acumulada de las vías esenciales en el área metropolitana paceña (y detalle de la vulnerabilidad intrínseca, dependencia y exposición a amenazas)



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

Los resultados de este análisis, en cada una de las dos ciudades, permiten tener una idea clara de los factores que vuelven frágil al sistema vial, y por ende al funcionamiento de la metrópoli paceña. Por ejemplo, la vía esencial que llega desde el Sur, que pasa por El Alto, siguiendo la Av. 6 de Marzo y la Autopista, es considerada según los datos obtenidos como la vía más problemática con un alto grado de fragilidad (fig. 5). Es justamente a partir del cierre de esta vía que se suscitaron en octubre de 2003 varios disturbios de gran extensión en la denominada «Guerra del Gas» (Mamani, 2004). Provocó una reducción notoria de la accesibilidad de la aglomeración y perturbaciones substanciales en la circulación en gran parte de la metrópoli (ver 1. 2.). En otros términos, se observa que la metrópoli paceña se encuentra bastante vulnerable debido a la alta fragilidad de una de sus vías de acceso.

Este método que da una idea de los cierres viales probables muestra todo su interés ya que varios ejes que perdieron su operatividad en el pasado corresponden a los ejes identificados como más frágiles.

A continuación, nos enfocamos sobre los factores de compensación (o resiliencia) que permiten minimizar la fragilidad de las vías y las perturbaciones de tráfico previsibles.

3. 2. Evaluación y cartografía de la vulnerabilidad de las vías esenciales por falta de resiliencia (capacidad de control, alternativas, preparación a las crisis)

Según el mismo método que para medir la fragilidad de las vías, se definieron grados que reflejan su vulnerabilidad por falta de factores de compensación (cuadro 3). Se definieron tres grados de vulnerabilidad (baja, media, alta).

Los resultados, a escala metropolitana (fig. 6), muestran que las vías en el centro de la ciudad de La Paz se encuentran en una situación relativa favorable debido a la

Cuadro 3 – Grado de vulnerabilidad por falta de resiliencia (capacidad de control, alternativas, preparación a las crisis)

Factores de compensación o resiliencia – La Paz	
Grado de Vulnerabilidad	Suma de valores asignados par a cada criterio
1. Baja	6 – 9
2. Media	10 – 12
3. Alta	13 – 17

Factores de compensación o resiliencia – El Alto	
Grado de Vulnerabilidad	Suma de valores asignados par a cada criterio
1. Baja	0 – 3
2. Media	4
3. Alta	5 – 8



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

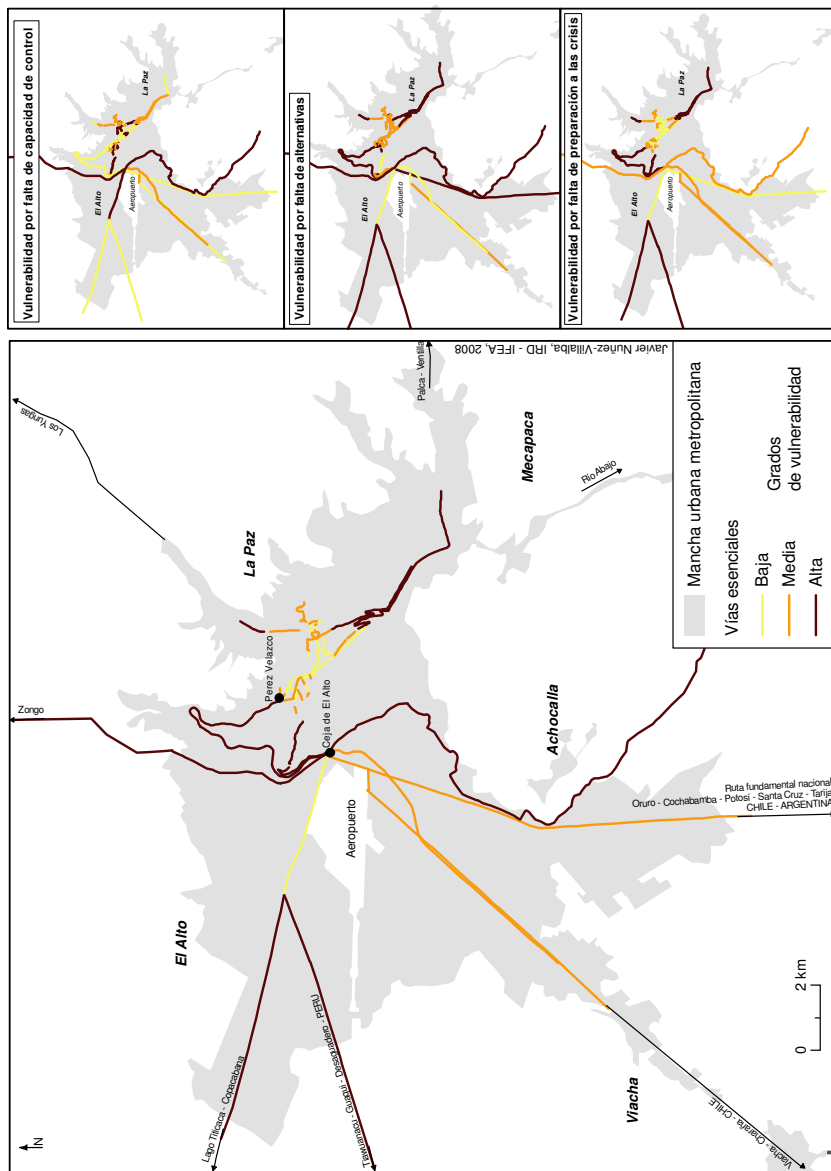


Figura 6 – Vulnerabilidad acumulada de las vías esenciales por falta de resiliencia en el área metropolitana paceña (y detalle de la capacidad de control, alternativas, preparación a las crisis).



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

proximidad de elementos de apoyo (bomberos, reten policial, hospitales de tercer nivel, reten de emergencias del municipio). Sin embargo, esa proximidad no fue suficiente para afrontar de manera eficaz la emergencia asociada a la tormenta de lluvia y graniza en febrero de 2002 ya que los sectores centrales experimentaron una paralización casi completa de circulación vehicular (véase 1. 1.).

Por otro lado, las dos vías de acceso a la metrópoli que llegan del oeste (ruta al lago Titicaca y ruta a Tiwanacu) tienen grados de vulnerabilidad alta, al no contar con dispositivos de compensación. De la misma forma la vía que llega del norte (ruta hacia los Yungas) tiene un alto grado de vulnerabilidad. Ello es particularmente preocupante ya que estos accesos cuentan también con un grado medio de fragilidad (véase 3. 1.). La metrópoli paceña se encuentra así bastante vulnerable debido a la falta de resiliencia de tres de sus vías de acceso.

Si se observa la situación de los ejes que conectan ambas ciudades (fig. 6), uno se da cuenta que tienen grados altos de vulnerabilidad. Significa que no existen muchas acciones previstas para rehabilitarlas en caso de cierre. Ello sería problemático en casos de emergencia en:

- **la ciudad de El Alto.** En efecto, el acceso a la ciudad de La Paz en donde se encuentra la mayor cantidad de elementos de apoyo como los bomberos, la policía y los hospitales especializados con mayor capacidad de camas disponibles (fig. 2), sería casi imposible. Esa situación ya se observó en el pasado. Por ejemplo, en octubre de 2003, algunos heridos de la ciudad de El Alto no tuvieron acceso a los hospitales de la ciudad de La Paz. Tuvieron que ser evacuados hacia centros de salud en la localidad de Patacamaya a 100 km, o a la ciudad de Oruro, 310 km al sur, al no existir centros especializados más cercanos (Ramos, 2003).
- **la ciudad de La Paz.** En caso de que fuera necesario una evacuación masiva de varios sectores de la ciudad de La Paz (en caso de sismo por ejemplo), el traslado hacia El Alto, en donde existen reservas de terreno, de un gran número de personas damnificadas, sería muy difícil.

Finalmente, la concentración de los elementos que permiten afrontar una crisis en la ciudad de La Paz y la mala conexión vial entre ambas ciudades revelan varias formas severas de vulnerabilidad del territorio metropolitano que ya causaron problemas como se observó en los dos eventos analizados en este texto.

4. HACIA UNA VALIDACIÓN DEL MÉTODO: CONFRONTACIÓN DE LO PROBABLE CON LO OCURRIDO EN UNA ÓPTICA PROSPECTIVA

En el párrafo anterior, evidenciamos que todas las vías que fueron bloqueadas en los dos eventos descritos coinciden con ejes viales esenciales cuya vulnerabilidades alta⁹.

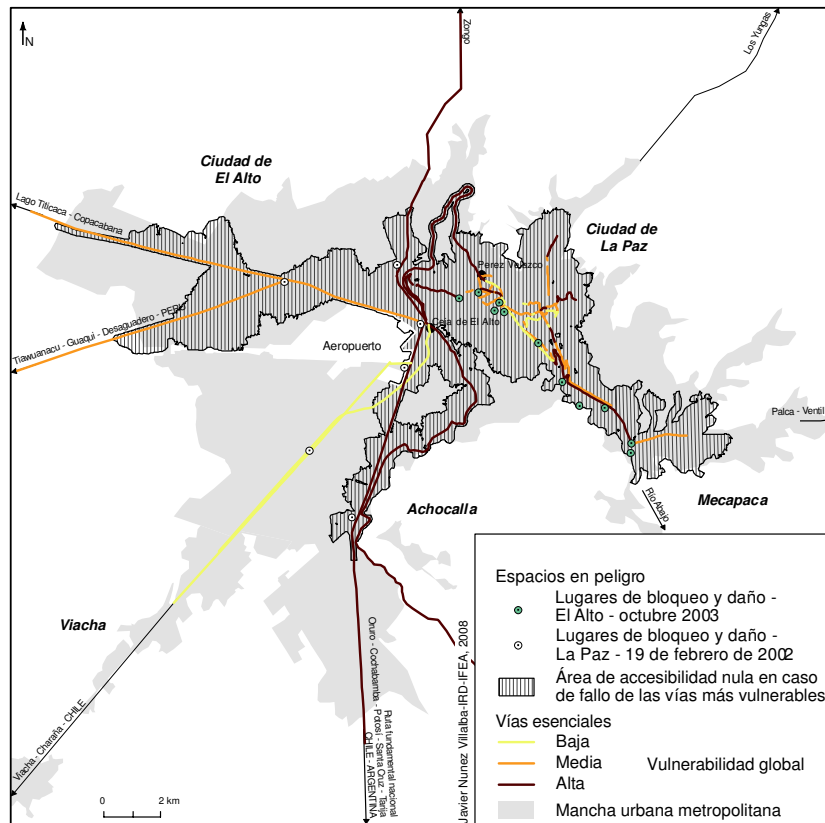
⁹ En el caso de la «Guerra del Gas», las intersecciones bloqueadas no fueron obviamente escogidas al azar. Los líderes de los movimientos sociales tienen un buen conocimiento del funcionamiento de la aglomeración metropolitana. Bloquearon un número limitado de puntos sabiendo que iba a tener consecuencias graves y extensas.



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

Ello permite validar en un cierto sentido el método implementado. Significa también que se puede utilizar estos resultados para interpretar a posteriori los impactos de los eventos anteriores y para evaluar los impactos espaciales que se darían en caso de cierre de otros ejes altamente vulnerables. Conociendo los impactos previsibles y los lugares potencialmente afectados, es posible proponer pistas de reflexión para armar políticas de prevención y reducir así la vulnerabilidad del área metropolitana.

Se calculó primero la vulnerabilidad global de las vías esenciales, es decir, se sumaron los grados de fragilidad con los grados de vulnerabilidad por falta de resiliencia con el fin de medir de manera más exacta la propensión que tienen las vías de experimentar fallos (fig. 7). Luego, a través de un escenario que consistió en considerar el cierre de los tramos cuya vulnerabilidad global es media o alta, se intentó evaluar los impactos espaciales asociados. Se determinaron así las





Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

zonas que podrían conocer una reducción drástica de su accesibilidad y/o una paralización local del tráfico.

Haciendo la superposición entre estas últimas zonas y aquellas que experimentaron problemas durante la tormenta de lluvia y durante la «Guerra del Gas» (figs. 1 y 2), es posible observar una relativa buena yuxtaposición de ambas a escala metropolitana (fig. 7). De esta forma, es posible comprobar cómo la vulnerabilidad de la red vial, y en particular la vulnerabilidad de las vías esenciales, se transmite a espacios extensos en la metrópoli paceña, espacios que cuentan con funciones urbanas clave para el desenvolvimiento de las actividades en tiempo normal y que cuentan también con la mayoría de elementos de apoyo para afrontar una emergencia.

CONCLUSION

El análisis de la vulnerabilidad de una red vial y en especial la vulnerabilidad de sus vías esenciales es un enfoque pertinente para entender a una escala superior la vulnerabilidad territorial de una metrópoli. Por un lado, permite resaltar problemas de conexiones entre sectores, problemas de acceso, problemas de circulación vehicular que se pueden dar en caso de cierre de los ejes esenciales más vulnerables. Algunos espacios del área metropolitana están más afectados por estos problemas, los cuales reflejan una cierta forma de vulnerabilidad de estos espacios. Confrontando estos espacios vulnerables con la distribución de la población, actividades y elementos de apoyo para afrontar una emergencia, se puede evidenciar riesgos asociados a escala metropolitana. Se hizo patente que la concentración de los elementos que permiten afrontar una crisis en la ciudad de La Paz, la mala conexión vial entre ambas ciudades y la situación de enclave geográfica de la ciudad de La Paz, representan factores que vuelven al territorio metropolitano altamente vulnerable. Esta situación ya causó problemas graves y extensos como se observó en los dos eventos analizados en este texto.

Por otro lado, los escenarios que se pueden esbozar (cuarta parte), si bien permiten desentrañar a posteriori los mecanismos que explican las causas de los impactos de eventos anteriores —sean ellos de origen natural o derivados de movimientos sociales— y en especial su magnitud y extensión, permiten también identificar otros espacios que hasta ahora no han experimentado nunca problemas pero que podrían reaccionar debido al cierre de otras vías esenciales vulnerables.

Estos primeros resultados permiten ya alimentar la reflexión para orientar las políticas y las acciones de reducción de vulnerabilidad a escala metropolitana (lo que implicaría primero superar las rivalidades entre ambas ciudades!). Se podría equilibrar la repartición espacial de los elementos de apoyo y mejorar las conexiones entre ambas ciudades construyendo por ejemplo un sistema de transporte en común como un teleférico, o integrar un sistema de transporte masivo de alta capacidad entre las ciudades de La Paz y El Alto. Sin embargo, si bien el enfoque metropolitano es imprescindible, se necesita llevar a cabo estudios complementarios a una escala más local. Se requiere, por ejemplo, un análisis más



Reducción de vulnerabilidad: conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial en La Paz, Bolivia

detenido de la estructura de la red vial que permita conocer de manera más precisa la accesibilidad de los elementos de apoyo con el fin de mejorarla (cambiando por ejemplo el sentido de circulación en las vías más próximas, aumentando la capacidad de parqueo, localizando mejor los equipamientos urbanos, creando rutas exclusivas para las emergencias). Permitiría también determinar rutas alternativas para el desplazamiento de brigadas de salvamento, rutas a lo largo de las cuales se podría concentrar los agentes de la policía para asegurar la fluidez del tráfico.

Por último, sería interesante seguir la investigación analizando la transmisión de la vulnerabilidad de la red vial hacia otra red vital, tema poco estudiado hasta ahora pero que abre perspectivas para reducir la vulnerabilidad del territorio metropolitano. Por ejemplo, en 2008 el bloqueo de una vía que imposibilitó la reparación de una red de abastecimiento de agua hizo que 272 000 habitantes y equipamientos urbanos importantes de la ciudad de La Paz se quedaran sin agua por más de 19 días¹⁰.

Referencias citadas

- AYALA, R., 2005 – Política de Gestión de Riesgos del GMLP, 88 pp.; La Paz: ed. UdP y Gd Riesgos. Gobierno Municipal de La Paz.
- D'ERCOLE, R. & METZGER, P., 2004 – Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito 496 pp.; Quito, Ecuador: MDMQ-IRD. Colección Quito Metropolitano.
- DEMORAES, F., 2005 – Movilidad, Elementos Esenciales y Riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito, 227 pp.; Quito, Ecuador: IRD, Municipio del Distrito de QUITO, IFEA.
- GMEA & REINGENIERIA, 2004 – Diagnóstico de Tráfico, Transporte y Vialidad de la ciudad de El Alto, 127 pp.; EL Alto: Gobierno Municipal de El Alto, REINGENIERIA TOTAL SRL.
- GMEA, 2006 – Plan de Desarrollo Municipal 2006-2010, 172 pp.; El Alto: Gobierno Municipal de El Alto. El Alto Productivo.
- GMLP, 2007 – Plan de Desarrollo Municipal-PDM-JAYMA, 2007-2011, Diagnostico de la Ciudad, 462 pp.; La Paz: Dirección de Planificación y Control, Gobierno Municipal de La Paz.
- GMLP & PNUD, 2002 – De la Emergencia a la Reconstrucción; La Paz, Bolivia: Gobierno Municipal de La Paz. Folleto Informe.
- LA PRENSA, 2005 – La Paz, la ciudad del eterno cerco 1.
- MAMANI, P., 2004 – El rugir de la multitud: Levantamiento de la ciudad aymara de El Alto y caída del gobierno de Sánchez de Lozada. In: La Guerra del Gas en Bolivia (Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales y Observatorio Social de América Latina, ed.): número 12; La Paz: CLACSO-OSAL.
<http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/osal/osal12/d1mamani.pdf>

¹⁰ Ver el artículo de S. Hardy en este volumen pp. 545-560.



Javier Nuñez-Villalba, Florent Demoraes

OPS/OMS, 2002 – Prevención y mitigación de desastres; la Paz: OPS-Bolivia. CD Multimedia.

RAMOS, E., 2003 – Bolivia: 71 muertos en la «guerra del gas» hasta el martes 14. Bolpress: 1.

TONICHI & SYSTRA, 2004 – Modernización del Transporte Público del Área Metropolitana de La Paz; La Paz: GMLP: BID/GMLP.



1.4 – La dimension institutionnelle des vulnérabilités

Réf. 5 - SERRANO T., DEMORAES F. (2007) - *Discrepancias institucionales y vulnerabilidad asociada en el valle de Los Chillos frente al peligro de lahares del volcán Cotopaxi* - Congreso latinoamericano de ciencias sociales en conmemoración de los 50 años de la FLACSO, Simposio III "Gestión del riesgo y sus relaciones con los procesos y la gestión ambiental en los países andinos" - 29-31 octubre 2007, in *Inter/secciones urbanas: origen y contexto en América Latina*, Coordinador: Jaime Erazo, Quito, pp. 365-380.





Jaime Erazo Espinosa, coordinador

Inter/secciones urbanas: origen y contexto en América Latina



50 AÑOS
FLACSO

FLACSO ECUA
MINISTERIO DE CULT





Discrepancias institucionales y vulnerabilidad asociada en el valle de Los Chillos frente al peligro de lahares del volcán Cotopaxi

Tania SERRANO¹ / Florent DEMORAES²

Resumen

El artículo presenta algunos de los resultados del proyecto “Vulnerabilidad institucional y de la población del valle de Los Chillos (DMQ-Rumiñahui)” llevado a cabo en el marco del programa PACIVUR (IRD) y del grupo PAUD. Se intenta mostrar cómo las perspectivas, prioridades y políticas diferentes de dos municipios que administran un territorio expuesto a una misma amenaza (los lahares) tienen implicaciones sobre el uso y ocupación del suelo que a su vez pueden provocar o incrementar la vulnerabilidad del valle de Los Chillos. Se muestra igualmente las dificultades a las cuales las autoridades se ven confrontadas cuando se trata de conciliar el crecimiento urbano y la reducción de riesgos. El estudio resalta la pertinencia de adoptar una gestión del riesgo a una escala geográfica supramunicipal.

Palabras clave

Crecimiento urbano, riesgo volcánico, lahar, planificación urbana, vulnerabilidad institucional, SIG, valle de Los Chillos, Ecuador.

Crecimiento urbano, fenómeno global y particular en países en desarrollo

Las ciudades concentran tradicionalmente los empleos, los equipamientos, los servicios y las esperanzas de vida de la mayoría de la población de un país. Los últimos 250 años han sido marcados por un proceso demográfico caracterizado por un éxodo rural masivo en todo el mundo. Es así que actualmente el 50 % de la población mundial

¹ Investigadora. Equipo PAUD (IRD-MDMQ), Quito. tania_serrano@gmx.net

² Docente Investigador, Laboratoire ESO-Rennes - UMR 6590 CNRS. Université Rennes 2, Francia. florent.demoraes@univ-rennes2.fr



Tania SERRANO / Florent DEMORAES

vive en zonas urbanas, mientras esta proporción no superaba el 30 % en 1950. A partir de esta fecha es sobretodo en los países en desarrollo donde la tendencia a la urbanización ha sido mayor; solamente 7 de las 20 ciudades más grandes del mundo se localizaban en los países en desarrollo en 1950 y actualmente son 17 (Domeisen y Palm, 1996 in Chester et al., 2001: 89). De igual manera el incremento de ciudades de más de un millón de habitantes es más fuerte en los países en desarrollo (Naciones Unidas in Chester et al., 2001: 93). Si bien América Latina concentra únicamente el 15 % de la población urbana mundial, la tasa de urbanización de esta región es la más elevada (75 %) lo que la sitúa por sobre la tasa media de Europa y es dos veces más alta que en África y en Asia (Atlas du Monde Diplomatique, 2000).

Implicaciones del crecimiento urbano en términos de riesgo

Este crecimiento urbano acelerado a nivel mundial tiene claras repercusiones en el incremento de los riesgos de origen natural. Por un lado la urbanización se traduce en la ocupación de zonas expuestas a fenómenos peligrosos como sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, etc. Se estima que aproximadamente el 40 % de la población en los países en desarrollo se encuentra expuesto directa o indirectamente a este tipo de fenómenos (RGA, 1994 in Demoraes, 2004: 19). Por otro lado, la gran concentración de la población y de la infraestructura en las ciudades incrementa el riesgo de daños y pérdidas. En los países en desarrollo donde esta concentración se observa en una o dos ciudades principales, el riesgo para todo el país de sufrir disfuncionamientos es mucho mayor en caso de ocurrencia de un fenómeno peligroso en una de estas ciudades. Es así que estos eventos pueden tener graves repercusiones en el desarrollo de un país o de una región³ (Chester et al, 2001: 98). Finalmente la percepción del riesgo suele ser menor en las ciudades debido a un contacto cada vez menor con la naturaleza a causa de la existencia de un ambiente construido (D'Ercole, 1991; Gaillard et Léone, 2000; Chester et al., 2001)⁴.

Ciudades y volcanes

Uno de los fenómenos que podrían ser particularmente dañinos para muchas ciudades son las erupciones volcánicas ya que un gran número de ellas están situadas en el cinturón de fuego donde se localizan los volcanes más activos del mundo. Se estima que alrededor de 500 millones de personas estarían expuestas al riesgo volcánico en el mundo entero (Tilling et Lipman, 1993 in Chester et al. 2001 : 94). La elevada tasa de crecimiento de la población en las ciudades de países en desarrollo es preocupante en vista de que su exposición a la amenaza volcánica es cada vez mayor y al hecho de que, generalmente, una ciudad expuesta a un volcán suele estar expuesta a otros volcanes (Small y Naumann, 2001: 106).

³ Para dar un ejemplo, el sismo de Managua de 1972 provocó la muerte de 5000 personas y pérdidas económicas equivalentes al 40 % del PIB.

⁴ El estudio de Robert D'Ercole sobre la percepción del riesgo volcánico del Cotopaxi mostró, por ejemplo, que los habitantes de zonas rurales tenían mejor percepción de los peligros que los recientes habitantes de las zonas urbanas del Valle de Los Chillos.



Tania SERRANO / Florent DEMORAES

El crecimiento urbano en Ecuador, en Quito y la descentralización de la gestión de riesgos

La tendencia mundial de urbanización se observa también en Ecuador, país fuertemente expuesto a fenómenos adversos como inundaciones, movimientos en masa, erupciones volcánicas, sismos, tsunamis, sequías, etc. La tasa de urbanización en el país pasó de un 29 % en 1950 a un 61 % en 2001 (INEC, 2001). Con una población que se duplica cada 20 años, el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), sede de la capital del Ecuador, concentra 1,8 millón de habitantes repartidos en 46 000 ha cuando en 1956 la ciudad no sobrepasaba los 350 000 habitantes los cuales ocupaban solamente 3 340 ha (Godard y Vega, 1992: 1).

Inicialmente localizada a 2800 m de altura en un estrecho valle de tres a cinco kilómetros de ancho entre las faldas del volcán Guagua Pichincha al oeste y una falla tectónica al este, la capital se expandió a partir de los años 80 hacia los valles más bajos localizados al este. Estos valles que gozan de condiciones ambientales más favorables (menor altitud, temperatura más elevada, amplios espacios planos, menor contaminación, áreas verdes, etc.), están urbanizados en un 40 % aproximadamente. Constituyen nuevas centralidades urbanas y se posicionan como los lugares desarrollo urbano futuro con la implantación de zonas industriales y el nuevo aeropuerto de Quito.

En los últimos decenios el fuerte crecimiento urbano de la capital se ha acompañado de varios desastres o por lo menos de eventos que han afectado seriamente la ciudad en el plano humano, material y económico. Se trata en particular del sismo de 1987, la caída de ceniza ocasionada por la erupción de los volcanes Guagua Pichincha y Reventador en 1999 y 2002, respectivamente; numerosas inundaciones, flujos de lodo, movimientos en masa, etc.

Una de las respuestas dadas al crecimiento urbano y el incremento del riesgo asociado es la responsabilización de los municipios ecuatorianos en el ámbito de los riesgos. En el marco de una política de descentralización y desconcentración, el Distrito Metropolitano de Quito ha adquirido progresivamente varias competencias en cuanto a los riesgos y a partir de 1998 maneja directamente la cuestión del riesgo en su jurisdicción.

Sin embargo, una eventual erupción del volcán Cotopaxi, localizado a 60 km al sur de Quito, plantea el problema de la gestión del riesgo únicamente en los límites del DMQ. En efecto, otros cantones que mantienen estrechas relaciones con el DMQ también están expuestos como es el caso del cantón Rumiñahui. Es necesario por tanto tomar en consideración lo que pasa fuera de los límites del DMQ y reflexionar a una escala supramunicipal, en este caso, a la escala del Valle de Los Chillos.



Tania SERRANO / Florent DEMORAES

El valle de Los Chillos: una zona de fuerte crecimiento urbano expuesta a los lahares en caso de erupción del volcán Cotopaxi

El valle de Los Chillos se localiza al sur este del centro histórico de Quito y a 45 km al norte del volcán Cotopaxi (5 897 m) y está amenazado por el advenimiento de *lahares*⁵ en caso de erupción. Los lahares descenderían al valle siguiendo el curso de los ríos Pita, Santa Clara y luego río San Pedro y afectarían a las zonas urbanas localizadas al borde de estos ríos. En la última erupción del Cotopaxi que data de 1877, los lahares provocaron un millar de víctimas a una época en la que las zonas circundantes al volcán eran muy poco pobladas (D'Ercole, 1996: 482). En efecto, este valle cuenta actualmente con cerca de 200 000 personas⁶ mientras que en 1974 apenas sobrepasaba los 40 000 habitantes (D'Ercole, 1992: 6).

Una particularidad del valle de Los Chillos es su división administrativa. Dos municipios (DMQ y Rumiñahui) que funcionan de manera distinta gestionan este territorio. La coexistencia de estas dos entidades es la causa de varias diferencias en la gestión de riesgos sobretodo en la planificación del uso y ocupación del suelo y en la preparación de la población para afrontar una situación de crisis. Este trabajo muestra de manera más particular las diferencias institucionales relacionadas con la estimación de la amenaza de lahares, el desarrollo urbano y sus consecuencias en términos de riesgo.

La amenaza lahar: zonificación evolutiva y sujeta a controversias

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) publicó en 2004 el último mapa de peligros volcánicos del Cotopaxi que muestra las zonas afectadas por el paso de los lahares de la última erupción de 1877. El mapa se basa en un trabajo de campo y reemplaza aquel de 1989 elaborado por la misma institución. Este último representa una zona de menor riesgo correspondiente a lahares producto de una erupción de intensidad superior a aquella de 1877. Un evento de esta magnitud es actualmente considerado como poco probable (Samaniego et al., 1994 in IG-EPN & IRD, 2005: 91) y adicionalmente el retroceso de los glaciares ha confirmado esta elección. En efecto, el casquete glaciar ha perdido aproximadamente el 30 % de su superficie entre 1976 y 1997⁷ lo que significa que los lahares esperados para una intensidad de erupción dada, serán de menor amplitud.

Una erupción de una intensidad igual a la de 1877 corresponde a uno de 4 escenarios elaborados para el Cotopaxi, concretamente al escenario 3. En el escenario 1 se formarían pequeños lahares sin consecuencias para el valle de Los Chillos. En el

⁵ La palabra lahar es de origen indonesio y designa un flujo de lodo que contiene rocas, bloques angulares, principalmente de origen volcánico (Van Bemmelen in D'Ercole, 1989 : 30). Los lahares resultan de la expulsión de un lago de cráter, de un desplazamiento de ceniza gracias a la lluvia o de un derretimiento de un glaciar. En el caso del Cotopaxi este flujo se formaría por el derretimiento del casquete glaciar producto de la caída de material incandescente.

⁶ Proyecciones realizadas por la Dirección Metropolitana de Planificación Territorial (DMPT) a partir del censo de 2001.

⁷ Cadier et Misincho (IRD-INAMHI). Segunda campaña de mediciones del glaciar del volcán Cotopaxi. Presentado en Quito en abril 2007.



Tania SERRANO / Florent DEMORAES

escenario 2 la expulsión de piroclastos podría ser importante lo cual provocaría la formación de un lahar de menor amplitud (50 % en relación al de 1877) y el escenario 4 correspondería a una erupción muy explosiva de recurrencia milenaria (IG-EPN & IRD, 2005: 92). La cartografía actual disponible no muestra los lahares correspondientes a todos los escenarios y la representación del escenario 3, correspondiente a la erupción de 1877, ha reforzado la idea de que es el único escenario posible.

El mapa de 2004 resulta muy conveniente para el valle de Los Chillos pues la zona probablemente afectada por los lahares es casi 6 veces menor que aquella definida en 1989. En otros términos, según el mapa de 1989 un 17% del área total del valle de Los Chillos⁸ correspondía a una zona de peligro (mayor y menor peligro), mientras que es de 3 % según el mapa de 2004. Cabe recalcar sin embargo que la zona de mayor peligro por lahares definida en 1989 es muy similar a la zona de peligro de 2004⁹.

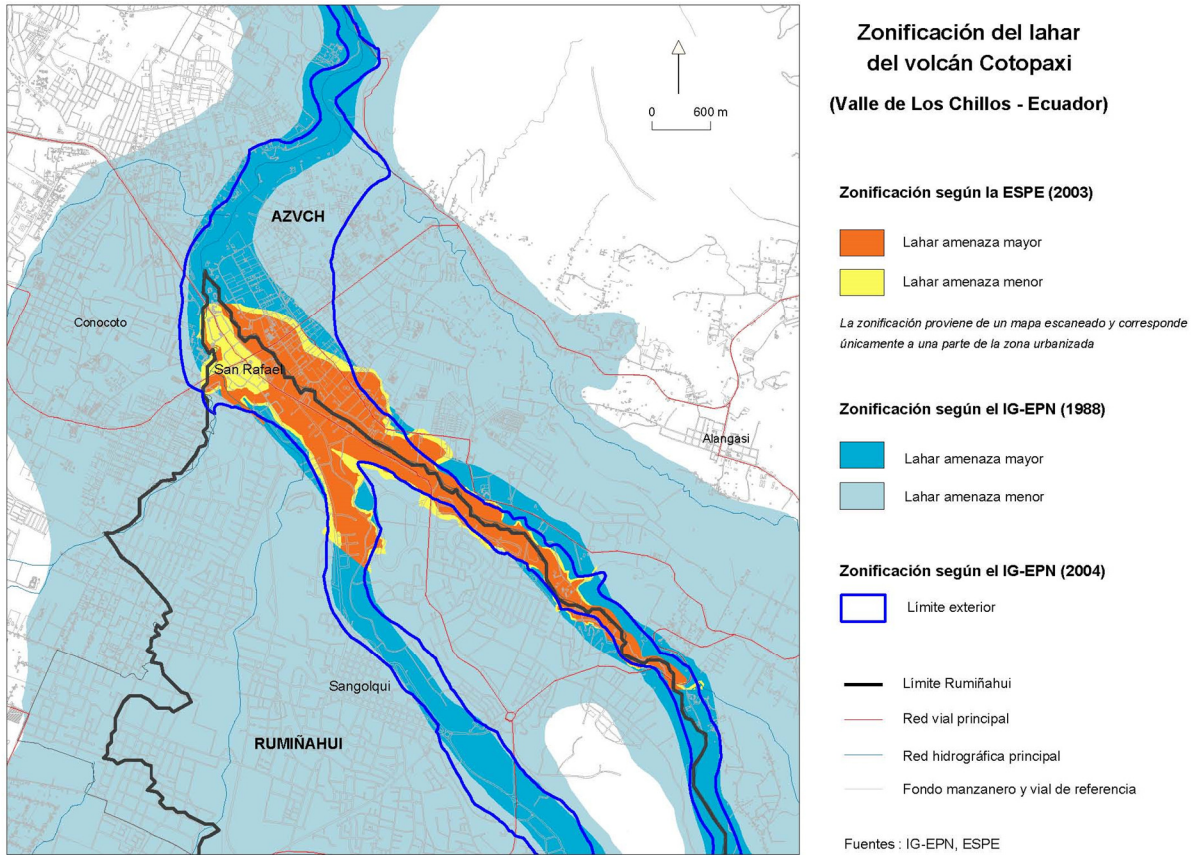
Esta evolución de la cartografía del lahar es muy favorable para el desarrollo urbano. En efecto, la no consideración de un escenario de erupción mayor permite la expansión urbana sin ningún tipo de restricción. Por otro lado, la reducción de la zona de peligro ha influenciado las actividades de preparación de la población y la percepción de las autoridades. Por ejemplo, la capacitación de la población se concentra únicamente en la zona definida en riesgo olvidando que existe una probabilidad, remota pero existente, de una afectación mayor en caso de una erupción de mayor intensidad. De igual manera ciertos albergues se localizan a menos de 100 m de la zona de peligro.

A esta dificultad de zonificación de la amenaza se suma una controversia de carácter científico. La Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) elaboró una cartografía de lahares de la zona norte del Cotopaxi al considerar que los estudios de la IG-EPN de 1989 eran poco confiables y que las escalas utilizadas no permitían determinar de manera precisa las zonas de peligro en áreas urbanas¹⁰. Este mapa incompleto (ya que por falta de presupuesto solo concierne una parte del área urbana) fue realizado en base a modelaciones matemáticas y considerando ciertas informaciones provenientes de las crónicas de erupciones anteriores. El mapa 1 muestra las diferentes zonificaciones mencionadas.

⁸ Superficie total calculada en 80 950 ha correspondiente a los límites de la Administración Zonal Valle de Los Chillos y Rumiñahui

⁹ La diferencia más importante es la representación, en 2004, de una mayor superficie en peligro (cerca de 900 has más que la zona de mayor peligro de 1989). Parte de esta área en peligro se encuentra en la parroquia Alangasí (DMQ).

¹⁰ Entrevista realizada al Ing. Aguilera ESPE. Abril 2007.



Mapa 1



La existencia de dos mapas genera ciertos inconvenientes e incertidumbres. En primer lugar, el mapa del IG-EPN es utilizado en el Municipio de Quito y el mapa de la ESPE en algunas dependencias del Municipio de Rumiñahui. Los mapas son utilizados como referencia para determinar zonas seguras y por tanto la localización de albergues. Se constató por ejemplo, que un albergue situado en Rumiñahui se encuentra al borde de la zona de peligro según el mapa de la ESPE y está en zona de peligro según el mapa del IG-EPN¹¹. Por otro lado, la adhesión de las autoridades a una institución científica genera distanciamiento entre ambos municipios. El Municipio de Quito reconoce el Decreto Ejecutivo mediante el cual se establece que el IG-EPN es la institución oficial encargada de “la identificación de las amenazas volcánicas y sísmicas y la preparación de los mapas de peligro respectivos”¹² mientras que la Dirección de Seguridad Ciudadana del Municipio de Rumiñahui reconoce a la ESPE. De esta manera, cuando la ESPE realizó la proposición de construir un muro en el sitio denominado La Caldera para evitar el desborde de los lahares sobre el río Santa Clara fue tomada como poco ética por parte de las autoridades del DMQ. En efecto, la construcción del muro tenía el objetivo de proteger una zona densamente poblada de Rumiñahui a costa de incrementar el volumen del lahar que descendería por el río Pita lo que provocaría más daños en el territorio del DMQ. Una propuesta proveniente de la ESPE y la aceptación por parte de Rumiñahui, generó tensiones con las autoridades de la Administración Zonal del Valle de los Chilos (AZVCH-DMQ).

¿En términos de riesgo, cuáles son las implicaciones de esta evolución de los mapas de peligro de lahares y cuáles son las implicaciones del reconocimiento por parte de las autoridades de dos instituciones científicas y sus mapas?

Por un lado, la preparación de la población para afrontar situación de crisis y la determinación de zonas seguras están condicionadas a los límites de los mapas producidos por los científicos. Es así que las actividades de capacitación y de información de la población así como la identificación de albergues o de vías de evacuación se realizan en base a los límites fijados sin considerar la noción de probabilidad característica del riesgo. Por otro lado, se mostró que el respaldo de las autoridades a los actores científicos puede generar ciertas tensiones entre autoridades cuando los científicos no están de acuerdo. Finalmente, la reducción de la zona de peligro de lahares influye en la urbanización de un valle que, a pesar del riesgo, no deja de ser cada vez más atractivo. El crecimiento urbano sin embargo no se da de la misma manera. Necesidades y prioridades distintas intervienen en el uso y ocupación del suelo.

¹¹ Trabajo realizado por Jérémy Robert, integrante del equipo de investigación.

¹² n° 3593 del 13 de enero de 2003



Tania SERRANO / Florent DEMORAES

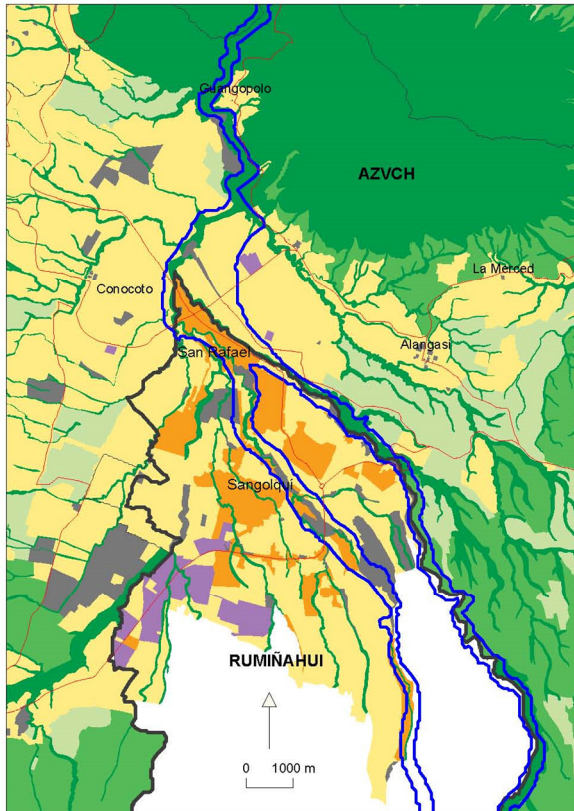
La planificación del uso y ocupación del suelo: realidades y prioridades diferentes

El suelo no se gestiona de la misma manera en el DMQ y en Rumiñahui. El modelo de desarrollo urbano en el DMQ es crear “una ciudad compacta” para evitar los gastos excesivos provocados por la extensión de las redes de servicios así como para evitar los problemas de degradación del medio ambiente. Para lograr este fin, el suelo se ha clasificado en tres categorías: suelo urbano, urbanizable y no urbanizable. Los equipamientos y servicios pueden instalarse únicamente en el caso de los dos primeros y según las etapas de incorporación previstas (MDMQ, 2001). Gracias a una buena coordinación entre las empresas y direcciones metropolitanas esta política puede ponerse en marcha. El Municipio de Rumiñahui por su parte ha definido zonas de protección ecológica a lo largo de los ríos que cruzan la zona urbana pero no ha definido zonas donde la urbanización esté prohibida por lo que se estima que continuará la expansión urbana.

En cuanto a las zonas expuestas a fenómenos peligrosos, la reglamentación no prohíbe la utilización del suelo como sucede en otros países (Francia por ejemplo) a excepción de las zonas con una pendiente mayor a 30° y a menos de 10 m del borde de una quebrada. Las zonas expuestas a lahares tienen sin embargo ciertas limitaciones en cuanto a su ocupación. Es así que en el DMQ las zonas expuestas a lahares tienen una vocación residencial exceptuando las zonas localizadas al borde de las vías que tienen un uso múltiple. Al contrario, el Municipio de Rumiñahui prevé la ocupación de las zonas expuestas con un tipo de uso múltiple (residencial, comercial y oficinas) con el fin de reducir la densidad de la población residente (ver mapa 2).

De igual manera existen contrastes en cuanto a la ocupación del uso del suelo. El mapa 3 muestra las diferencias existentes en cuanto a la superficie mínima de división del suelo. Mientras en el DMQ, las propiedades localizadas en zona de riesgo no pueden ser divididas en menos de 1 000 m², en Rumiñahui pueden subdividirse hasta en lotes de 50 m² sobretodo a lo largo del río Pita. En lo que se refiere a la altura de edificación, que permite indicar el grado de densificación, el mapa 4 muestra que solamente en los ejes viales del DMQ se permite una altura de edificación de hasta 4 pisos correspondiente a la Av. Ilaló y las avenidas estructurantes en Conocoto y en la vía a Amaguaña. Para el resto de la zona concernida por los lahares se permite 2 y hasta 3 pisos. En el caso de Rumiñahui, los inmuebles de 4 pisos se permiten también a lo largo de las vías estructurantes pero también en la zona que probablemente quedará aislada en caso de lahares.

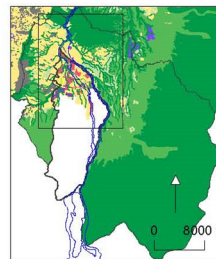
¿Cómo pueden explicarse estas diferencias?



**Planificación del uso y ocupación del suelo
(Valle de Los Chillos - Ecuador)**

Categorías

- Residencial, comercial, oficinas
- Residencial
- Agrícola-residencial
- Equipamiento
- Industrial
- Protección ecológica
- Recurso natural
- Zona sin información

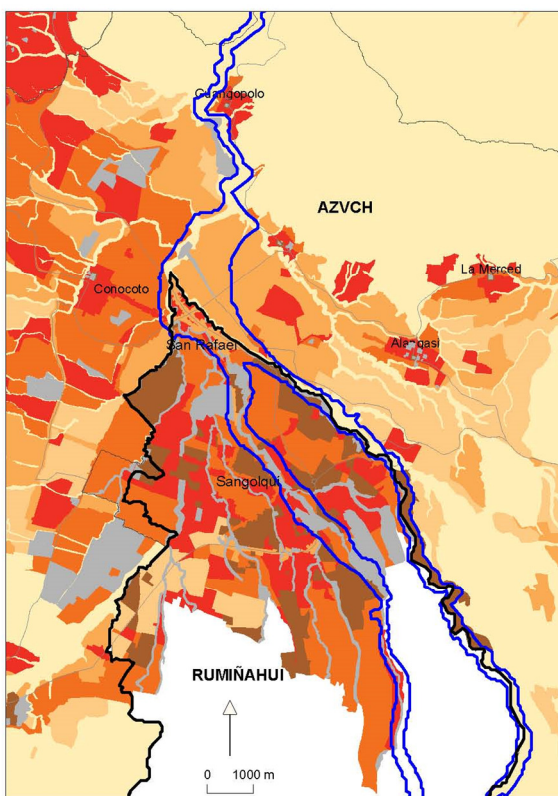


- Límite Rumiñahui
- Límite AZVCH
- Límite de los lahares
- Red vial principal

Fuentes: DMPT, Municipio de Rumiñahui

Mapa 2

373



**Superficie mínima del lote
Planificación del uso y ocupación del suelo
(Valle de Los Chillos - Ecuador)**

Superficie mínima del lote (m²)

- [0, 50 [
- [50, 350 [
- [350, 1000 [
- [1000, 2000 [
- [2000, 5000 [
- [5000, 50000]
- Zona sin datos
- Equipamiento, zonas protegidas (Rumiñahui)

- Límite Rumiñahui
- Límite AZVCH
- Límite de los lahares
- Red vial principal

Fuentes : DMPT, Municipio de Rumiñahui

Mapa 3

374



Cada municipio ecuatoriano recibe de parte del Estado un presupuesto anual calculado en base a tres criterios: su superficie, el número de habitantes y el porcentaje de población desfavorecida (calculado según el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas) (Vallejo, 1997). El 15 % del presupuesto nacional se reparte entonces entre 219 cantones por lo que cada municipio requiere generar sus propios ingresos a través, por ejemplo, del cobro de impuestos. Se necesita por tanto atraer la inversión de industrias, comercios y de la población y Rumiñahui ha logrado constituirse en una centralidad en el valle de Los Chillos. Los centros dinámicos de Sangolquí y San Rafael ofrecen todo tipo de servicios (salud, educación, servicios bancarios, etc.) y constituyen centros de concentración comercial e industrial no despreciables (ver mapa 4). Estos servicios no son utilizados solo por los habitantes de Rumiñahui sino por los moradores de las parroquias de Alangasí, La Merced, Píntag y Amaguaña pertenecientes al DMQ. Si bien Conocoto ubicado en el DMQ es también un centro urbano dinámico en el valle, tiene una influencia menor que los centros de Rumiñahui donde la afluencia de población es mayor debido a su carácter céntrico y la existencia de buenas vías de acceso.

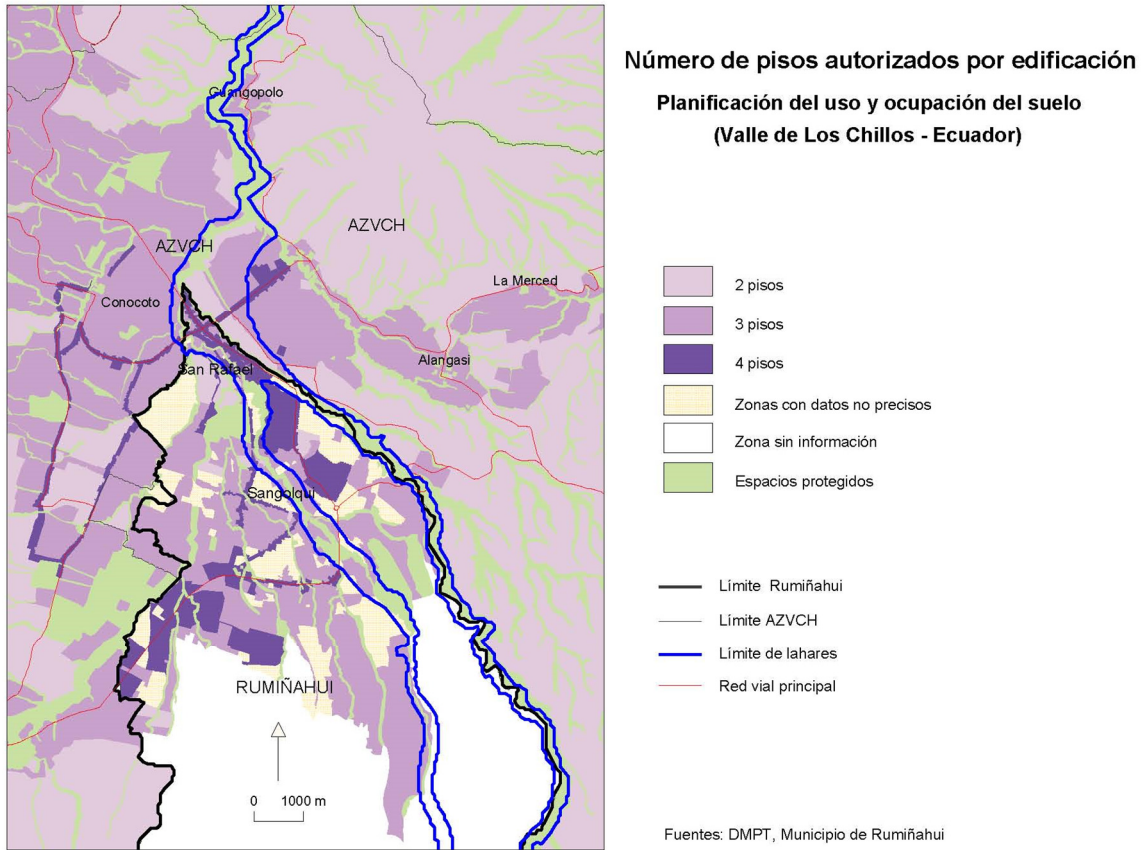
Cómo las diferencias institucionales incrementan la vulnerabilidad frente a lahares en el valle de Los Chillos y cuáles son los desafíos

Estas singularidades que se evidencian en la ocupación diferenciada del suelo comportan consecuencias en términos de riesgo. En primer lugar, se constató que la población que se encuentra en el día en las zonas de alto peligro es tres veces mayor a aquella de la población residente (o población presente en la zona en la noche). En efecto, según los datos del censo, cerca de 14 000 personas se encuentran amenazadas por los lahares mientras que durante el día la cifra se eleva a 45 000 personas¹³. A la luz de estos datos se puede afirmar que la política en Rumiñahui de desdensificación residencial a favor de una mayor densificación de comercios resulta poco pertinente puesto que incrementa la exposición de la población y de los bienes a los lahares. En otros términos no solo se invierte en las zonas de peligro sino que éstas están más densamente visitadas en el día lo que podría complicar una eventual evacuación.

Por otro lado, la construcción de grandes infraestructuras comerciales en zona de riesgo (como el caso del Centro Comercial San Luis y el River Mall) tiene dos implicaciones.

En primer lugar se trata de establecimientos que actúan como polos de atracción no solo de la población sino de otro tipo de servicios y comercios. Si bien en el DMQ la política es no incrementar la densidad de población residente en zonas expuestas a lahares, una parte de su población acude a las zonas comerciales de Rumiñahui localizadas en áreas de peligro ya que ellas concentran una gran cantidad de servicios, están más cercanas y son accesibles.

¹³ Trabajo realizado por Jérémy Robert, integrante del equipo de investigación.



Mapa 4



En segundo lugar, la urbanización y sobretodo este tipo de infraestructuras de gran envergadura tendrían una incidencia en la trayectoria y la carga de sedimentos que serían arrastrados por un lahar. El mismo Centro Comercial San Luis podría constituir un obstáculo y eventualmente podría desviar el lahar¹⁴. Esta desviación implica que zonas consideradas como fuera de peligro resulten finalmente afectadas. Por lo tanto, las políticas de uso de suelo de Rumiñahui inciden directamente en el territorio de la AZVCH puesto que lo que sucede aguas arriba tiene consecuencias aguas abajo.

A esta dificultad se suma la de la zonificación de la amenaza y la aceptación de dos instituciones científicas a pesar de que solo una sea oficial. Por un lado, la representación cartográfica de un solo escenario (correspondiente a una erupción igual a la de 1877) tiene repercusiones en las actividades de preparación de la población. La recopilación de información, las capacitaciones y los simulacros se realizan únicamente en la zona representada como expuesta a los lahares olvidando que lo que se representa es uno de cuatro escenarios. Fuera de esta zona no se trabaja en capacitación y por tanto es posible que la población que habita en estas zonas no sepa qué hacer en caso de una erupción. De igual manera, los límites del lahar se toman al pie de la letra cuando se trata de identificar albergues. Como se había mencionado, hay albergues ubicados a solo 100 m del límite. Finalmente las controversias científicas influyen en las autoridades y el respaldo que éstas les brindan provoca distanciamiento entre autoridades. Un decreto oficial existe y debería respetarse.

¹⁴ IG-EPB, comunicación oral



Tania SERRANO / Florent DEMORAES

Conclusión

Una mayor coherencia territorial es necesaria en el valle de Los Chillos para garantizar el desarrollo urbano en condiciones que reduzcan el riesgo de la población, de sus bienes y de las inversiones. El manejo del territorio debería pensarse a la escala del valle de Los Chillos y no concentrada únicamente en cada municipio como se lo realiza actualmente. Un cambio de escala permite considerar los dinámicos intercambios y flujos existentes entre ambos municipios y permite reflexionar sobre soluciones a problemas comunes. Por ejemplo, la instalación necesaria de un establecimiento de salud que atienda las necesidades del valle de Los Chillos debe ser de interés común para ambos municipios y acuerdos deberían establecerse para elegir mejor el sitio de su emplazamiento y evitar así que una infraestructura estratégica sea construida en zona de riesgo. Para ello se requiere necesariamente una mayor concertación institucional y una voluntad política para lograrlo.

Programa SIG utilizado

SavGIS (www.savgis.org)

Los mapas han sido elaborados por Tania Serrano con la colaboración de José Tupiza.

Agradecimientos

Casa Cotopaxi. Administración Zonal Valle de Los Chillos (DMQ)
Dirección Metropolitana de Planificación Territorial (DMQ)
Direcciones de Planificación y de Agua y Alcantarillado del Municipio de Rumiñahui
IG-EPN
Programa PACIVUR y DSF (IRD)
Representación del IRD en Ecuador
Embajada de Francia en Ecuador
Grupo PAUD
Université Paul Valéry, Montpellier III, Francia



Tania SERRANO / Florent DEMORAES

Bibliografía citada

Chester D., Degg M., Duncan A., Guest J. (2001) – The increasing exposure of cities to the effects of volcanic eruptions: a global survey – *Environmental hazards*, n°2, pp. 89-103.

Demoraes F. (2004) – *Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito (Équateur)* – Tesis de doctorado, Universidad de Savoie, Francia, 587 p.

D´Ercole R. (1991) – Vulnérabilité des populations face au risque volcanique. Le cas de la région du volcan Cotopaxi (Équateur) – Thèse de doctoral, Université Joseph Fourier, Grenoble, 460p.

D´Ercole R. (1992) - La población de la provincia de Pichincha frente al volcán Cotopaxi - *Atlas Infográfico de Quito*, ORSTOM & IGPH & IGM, Paris, Quito, lámina N° 6, 41 láminas bilingües (español- francés).

D´Ercole R. (1996) – Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du Volcán Cotopaxi (Équateur) - *Bulletin Institut Français d´Études Andines*, n°25 (3), pp. 479-507.

Gaillard J.C., Léone F. (2001) – Implications territoriales de l´éruption du Mont Pinatubo pour la minorité autochtone aeta. Cas des bassins-versants des rivières Pasig et Sacobia (provinces de Pampanga et Tarlac, Philippines) – Cahiers savoisiens de Géographie, n°1, pp. 53-68.

Godard H., Vega J. (1992) - La distribución de la población urbana - *Atlas Infográfico de Quito*, ORSTOM & IGPH & IGM, Paris, Quito, lámina N° 1, 41 láminas bilingües (español- francés).

IG-EPN & IRD (Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional & Institut de Recherche pour le Développement) (2005) – Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi – Los peligros volcánicos en el Ecuador, Corporación Editora Nacional, Quito, 147p.

MDMQ (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito) (2001) – *Ordenanza de Planificación que contiene el Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS)* - Quito, 48p.

Small C., Naumann T. (2001) - The global distribution of human population and recent volcanism - *Environmental hazards*, n° 3, pp. 93-109.

Vallejo R. (2007) – *Quito, de municipio a gobierno local. Innovación institucional en la conformación y gobierno del Distrito Metropolitano de Quito 1990-2005* – Tesis de maestría especialidad en Desarrollo local, versión preliminar, FLACSO, Quito, 121 p.







2 – Relations santé-environnement

Cet axe regroupe deux articles publiés dans le prolongement de mon Post-Doc. J'ai choisi de ne présenter que des références dans lesquelles l'approche spatiale est centrale et pour lesquelles le SIG a été mobilisé. Sur cette période courte dans ma carrière, j'exclus ainsi d'autres articles parus dans des revues de sciences biomédicales, même si certaines ont un *facteur d'impact* élevé, dans la mesure où ma contribution y a été plus limitée.

Le premier article (**Réf. 6**) dresse un état des lieux de la distribution spatiale des tiques susceptibles de transmettre des maladies aux humains sur l'ensemble de la Thaïlande. Sont ainsi synthétisées et localisées toutes les collectes de tiques documentées dans la littérature et qui se sont échelonnées de la fin du XIXe siècle jusqu'en 2005. Cet inventaire localisé représente un premier pas dans l'évaluation du risque d'émergence de foyers épidémiques directement liés aux virus véhiculés par ces arthropodes.

Le deuxième article (**Réf. 7**) s'attache à identifier et délimiter sur l'ensemble d'une province thaïlandaise (province de *Phrae*) les habitats de deux espèces de rongeurs (*Bandicota indica* et *Bandicota savilei*) considérées comme nuisibles pour l'agriculture et connues pour être le réservoir de certaines maladies transmissibles à l'homme, telle que la leptospirose. La méthode d'identification des biotopes de chacune des deux espèces et le choix raisonné des images satellitales adaptées à ce genre d'analyses sont présentés.

Réf. 6 - JP. CORNET, F. DEMORAES, M. SOURIS, P. KITTAYAPONG, JP. GONZALEZ (2009) - *Spatial distribution of ticks in Thailand: a discussion basis for tick-borne virus spread assessment. International Journal of Geoinformatics. Vol. 5, No 1, March 2009, pp. 57-62*

Réf. 7 - V. HERBRETEAU, F. DEMORAES, JP. HUGOT, P. KITTAYAPONG, G. SALEM, M. SOURIS, JP. GONZALEZ (2006). - *Perspectives on Applied Spatial Analysis to Animal Health: a Case of Rodents in Thailand - Annals New York Academy of Sciences, Volume 1081, pp. 17-29.*





JP. CORNET, F. DEMORAES, et al. (2009) - Journal of Geoinformatics. Vol. 5, No 1, pp. 57-63

SPATIAL DISTRIBUTION OF TICKS IN THAILAND: A DISCUSSION BASIS FOR TICK-BORNE VIRUS SPREAD ASSESSMENT

Cornet Jean-Paul^{1,2}, Demoraes Florent³, Souris Marc^{1,2,4}, Kittayapong Pattamaporn² and Gonzalez Jean- Paul^{1,2,5}

¹ Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Research Unit 178 (Fundamentals & Domains of Disease Emergence), 44 boulevard de Dunkerque, CS 90009, 13 572 Marseille Cedex 02, France, Phone: +(33) 4 91 99 92 00, Fax: +(33) 4 91 99 92 22, E-mail : jean-paul.cornet@ird.fr

² Centre for Vectors and Vector-borne Diseases (CVVD), SC2 Building, Room SC2, 2nd Floor Salaya Campus, 999 Phuttamonthon 4 Road, Salaya, Nakhon Pathom, 73 170, Thailand, Phone: +(66) 2 441 9816 20 ext. 1180, Fax: +(66) 2 441 0227, E-mail: grpkt@mahidol.ac.th, Website : <http://www.cvvd.sc.mahidol.ac.th>

³ UMR ESO 6590, Laboratoire RESO, Université de Rennes 2, Campus de Villejean, Place du Recteur Henri Le Moal, CS 24307, 35 043 Rennes cedex, France, Phone: +(33) 2 99 14 18 50, Fax : +(33) 2 99 14 18 95, E-mail: florent.demoraes@univ-rennes2.fr, Website: http://www.uhb.fr/sc_sociales/Reso/spip.php?rubrique32&idm=246

⁴ Asian Institute of Technology (AIT), Space Technologies Application and Research Program, P.O. Box 4, Klong Luang, Pathumthani 10 210, Thailand, Phone: +(66) 2 524 5577, Fax: +(66) 2 524 5597, E-mail : marc.souris@ird.fr, Website : <http://www.rsgis.ait.ac.th/~souris/index.html>

⁵ Centre International de Recherches Médicales de Franceville (CIRMF) BP 2105, Libreville, Gabon, Phone: +(241) 67 71 06, Fax: +(241) 67 72 95, E-mail: jean-paul.gonzalez@ird.fr, Website : <http://www.cirmf.org>

ABSTRACT:

A wide variety of viral infectious diseases are transmitted to humans by ticks and in certain cases, these diseases can lead to a severe encephalitis or haemorrhagic fever. Within the framework of a research programme on emerging viral diseases carried out by the French Institute of Research for the Development (Institut de Recherche pour le Développement, IRD) in partnership with the Centre for Vectors and Vector-borne Diseases, Mahidol University (Thailand), the spatial distribution of ticks in Thailand was investigated. An exhaustive review of studies of acarology conducted over the 20th century on Thailand was completed. We derived from this review the geographic coordinates of sites where ticks were collected in the past. In complement, we realised field works to collect ticks on unexplored sites. The location of these sites was obtained with a GPS (Global Positioning System). Hence, we were able to build up a location-based inventory of ticks covering almost the whole Thailand. These data were then processed in a GIS to assess in every region the presence of tick species and to map the distribution of species known as potential vectors of viruses which are likely to be pathogenic to humans. All the GIS processings were undertaken using SavGIS®, a GIS freeware developed by IRD. This research represents a starting point for assessing tick-borne virus spread and the related risk of zoonosis¹ in Thailand.

KEY WORDS: Ticks, arbovirus, spatial distribution, GIS, SavGIS®, Thailand

ACKNOWLEDGEMENTS

Natsuang Ruengsri, lab technician, Centre for Vectors and Vector-borne Diseases (CVVD), Faculty of Sciences, Mahidol University, Bangkok, Thailand

Philippe Parola, lecturer and researcher, Unité des Rickettsies, CNRS, UMR 6020, Faculté de Médecine, 13 185 Marseille, France

1. INTRODUCTION AND PURPOSE

1.1 Prior ticks surveys in Thailand

The first known inventory of ticks in Thailand was carried out at the end of the 19th century (Neuman, 1899). During the second part of the 20th century, an almost exhaustive faunistic and ecologic study was conducted by several teams and 53 species were identified in Thailand (Tanskul et al., 1983; Aeschlimann, 1965; Hoogstraal, 1956, 1965, 1968, 1973, 1984; Petney et al., 1995, 1996; Wassef et al. 1983, 1984, 1986).

1.2 Current ticks survey within the research programme “Fundamentals & Domains of Disease Emergence”

Our observations started in May 1998 focusing on the spatial distribution of ticks of “medical interest”, which are the ticks likely to transmit viruses to humans. Ticks on domestic and wild animals were collected in different areas in Thailand. Until now, 55 species of ticks have been identified. This investigation was carried out within the framework of research programme on emerging diseases in South-East Asia held by the French Institute of Research for the Development (IRD) in partnership mostly with the Centre for Vectors and Vector-borne Diseases at Mahidol University, Bangkok (Thailand).

¹ A zoonosis is any infectious disease that is able to be transmitted (in some instances, by a vector) from other animals, both wild and domestic, to humans.



JP. CORNET, F. DEMORAES, et al. (2009) - Journal of Geoinformatics. Vol. 5, No 1, pp. 57-63

1.3 Objective: toward a first assessment of tick-borne virus potential spread in Thailand

The main purpose of our research was to get an overall insight into the spatial distribution of tick species in Thailand. This knowledge is essential to assess in the future tick-borne virus potential spread, as tick-borne viruses are specifically restricted to tick species. The information about the presence of tick species in a given area and a given time and the information about their related human pathogenic viruses are crucial as they allow public health stakeholders to define strategies in order to prevent virus emergence and diffusion.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Ticks collection

Tick specimens were collected (1) on alive or dead domestic or wild animals, (2) using a sledge (Cornet et al., 1984), or (3) by picking them manually on herbaceous plants. Depending on the collection site, ticks were taken to lab in two different ways: (1) transported alive and afterwards identified on a cold top, or (2) placed first into cryotubes stored in liquid nitrogen before reaching the lab. For specimens identification, taxonomic keys developed by Aeschlimann (1965), Hoogstraal (1956, 1965, 1968, 1973, 1984), Petney et al. (1995, 1996), Tanskul (1989), Toumanoff (1944) and, Wassef et al. (1983, 1984, 1986) were used.

2.2 Integration of field data into the location-based dataset

Geographic coordinates of the collection sites were obtained during field work with a Global Positioning System device (GPS). For the ticks collected before 1998, the geographic coordinates of the closest locality to the collection area were used. These coordinates were afterwards integrated into the location-based dataset handled in partnership with the CVVD. This location-based dataset works under SavGIS®, a Geographical Information System (GIS) freeware developed by the IRD (<http://www.savgis.org/en/>). Several queries (such as spatial joins and aggregations) were used to calculate in every region the presence of tick species and to elaborate the hereafter maps.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Location of ticks collection sites in Thailand

From the year 1899 to 2005 ticks were collected in 56 provinces out of the 76 ones of Thailand (See figure 1). Newly reported species were censused in 30 provinces. The Nakhom Ratchasima province, located at the North-East of Bangkok, yielded up to 28 species.

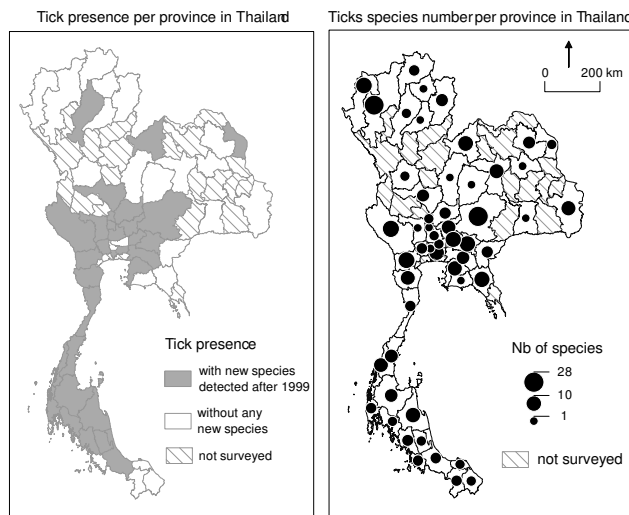


Figure 1: Spatial distribution of tick collection sites in Thailand (1899 - 2005)



3.2 Spatial distribution of ticks and tick-borne viruses potential spread in Thailand

Table 1 presents an overview of the human pathogenic viruses isolated from ticks in Central Asia and Siberia (Palearctic Biogeographic Region) and, in South-East Asia (Oriental Biogeographic Region). Figures 2 and 3 portray the spatial distribution of ticks in Thailand. Every tick genus and species, likely to bear one or more viruses, is underlined.

Amblyomidae is the most common tick species in Thailand. They are present from cool temperate zones to the equatorial latitudes.

- The genus *Haemaphysalis* is the most ancient and cosmopolite which seems to come from the Far-East. The sub-genus *Ornithophysalis* parasitizes birds and more particularly migrating birds, participating hence to viruses diffusion (See table 1).
- *Amblyomma* is typically associated with tropical latitudes. It can occasionally parasitize humans.
- *Rhipicephalus* is the most abundant and cosmopolite tick parasitizing domestic dogs.
- *Boophilus* is spread only in warm zones from Ancient World (Morel, 1969). In South-East Asia, only one species exists, *Bo.microplus* (Canestrini, 1888) which parasitizes mostly domestic or wild ungulates. However, *Bo.microplus* was also found on humans in Thailand and represents thus a potential vector for zoonosis due more specifically to Seletar and Wad Medani viruses.
- *Dermacentor* parasitizes mammals and humans. It is able to bear three arboviruses highly pathogenic to humans: the virus of the Kyasanur Forest Disease (KFD), the virus of the Omsk Haemorrhagic Fever (OHF), and the virus of the Russian Spring Summer Encephalitis (RSSE), all three of them responsible for encephalitis and/or haemorrhagic syndromes.
- *Aponomma* parasitizes mainly reptiles and has never been reported feeding on human.

While most of the tick-borne viruses were isolated in Europe, Africa, Far-East and in the Indian peninsula, they are likely to be evidenced in South-East Asia as well because some ticks which are potential viruses vectors have been identified in several South-East Asian countries, among them Thailand (see table 1). For instance, the virus Langat (Tick-Borne-Encephalitis) was first isolated in 1956 in Malaysia and, reported twenty years later in Thailand on *Ixodes granulatus* specimens.

Furthermore, migrating birds and bats are important hosts for viruses such as Chikungunya, Sindis, KFD and West Nile virus. As they occasionally develop viremic² phases, they can easily infect ticks when the latter bite. This situation may contribute at the same time to the spread of ticks and to the diffusion of tick-borne viruses.

Apart from tick-borne viruses, other pathogenic agents like the borreliosis (Lyme disease), rickettsiosis (tick typhus), ehrlichiosis or *Francisella tularensis* infection (Tularemia) should be also cautiously considered. Indeed, some of them have been isolated from ticks in Thailand (Hirunkanokpun et al., 2003; Parola et al., 2003).

Moreover, most of the tropical wide spread ticks are undoubtedly present in Thailand as the diversity of biogeographic conditions in Thailand fits with a lot of tick species habitat. However, due to the massive deforestation which occurred in Thailand during the 20th century (Cropper ML et al. 1997), ticks distribution has changed to a certain extent. Ticks which were once collected in woody areas may not be present any longer.

4. CONCLUSION

The main purpose of this paper was to get an overall insight into the spatial distribution of different tick species in Thailand. The study represents thus a starting point for new researches on viruses which are potentially associated with the spatial distribution of vector tick species. Further investigations should aimed at (1) completing the tick species inventory of yet unexplored provinces, (2) attempting virus isolation from the known tick species of medical interest found in the explored areas and, (4) undertaking subsequent serological surveys in order to detect virus circulation among human populations (and or animal population) potentially exposed to the infected vectors.

² Presence of virus in the blood stream.



JP. CORNET, F. DEMORAES, et al. (2009) - Journal of Geoinformatics. Vol. 5, No 1, pp. 57-63

Family	Genus	Virus	Common vertebrate hosts	Vector
Togaviridae	Alphavirus	Chikungunya	birds, bats	Argas sp.*(2)
Flaviviridae	Flavivirus	Karshi	rodents	Alectorobius tholozani, capensis* ; <i>Hy.asiaticum</i> ; <i>Dermacentor marginatus</i> ; <i>Al.tartakovskiy</i>
		Kyasanur F.D.	rodents, birds, bats, primates	8 species of <i>Haemaphysalis</i> of which <i>Ha.spinigera</i> , <i>Ha.turturis</i> , Ha.wellingtoni* ,
		Langat	rodents	Ix.granulatus* ; <i>Ix.persulcatus</i> ; Ha.papuana*
		Omsk Haemorrhagic Fever (OHF)	rodents	<i>De.marginatus</i> ; <i>De.reticulatus</i> (=pictus), De.sp* ; <i>Ix.persulcatus</i>
		Ticks' Encephalitis	rodents, birds	<i>Ix.persulcatus</i> ; <i>Ix.ricinus</i> , Ix. sp* ; <i>De.marginatus</i> ; <i>De.reticulatus</i> (=pictus); <i>Ha.japonica douglasi</i>
		TBE=RSSE		<i>Ha.concinna</i> .
		West Nile	rodents, migrating birds, bats (1 isolation)	<i>Ar.hermani</i> ; <i>Hy.m.marginatum</i> (=plumbeum); <i>Hy.asiaticum</i> ; <i>Hy.detrutum</i> ; <i>Ix.ricinus</i> ; <i>De.daghestanicus</i> ; <i>De.marginatus</i> ; <i>Rh.bursa</i> ; <i>Rh.turanicus</i> ; <i>Al.maritimus</i> (=Or.capensis) <i>Al.tholozani</i> (=Or.tholozani)
Bunyaviridae	Nairovirus	CCHF	rodents, bovine, caprine, ovine	<i>Amblyomma variegatum</i> ; <i>Hy.sp.</i> ;
		Ganjam = NSD (1)	ovine, caprine	Rh.sanguineus* <i>Ha.intermedia</i> ; Ha.wellingtoni*
Bunyaviridae		Bhanja	rodents, bovine, caprine, ovine, insectivorous	Ha.sp.* ; <i>Ha.intermedia</i> ; <i>Ha.punctata</i> ; <i>Hy.detrutum</i> ; <i>Hy.m.marginatum</i> (=Hy.p.plumbeum)
		Kaisodi	birds	<i>Ha.spinigera</i> , Ha.wellingtoni* ; <i>Ha.turturis</i>
		Lanjan	rodents	Ha.nadchatrami* ; Ix.granulatus*
Orthomyxoviridae		Thogoto	bovine, caprine, ovine	Rh.sp* ; <i>Hy.anatolicum anatolicum</i>

Table 1: Human pathogenic viruses isolated from ticks in Central Asia and Siberia (Palearctic Biogeographic Region), and in South-East Asia (Oriental Biogeographic Region).
(1) The Ganjam virus was found to be identical to the Nairobi Sheep Disease virus (NSD) (Davies et al., 1978);
(2) Bold-typed species were reported in Thailand.



JP. CORNET, F. DEMORAES, et al. (2009) - Journal of Geoinformatics. Vol. 5, No 1, pp. 57-63

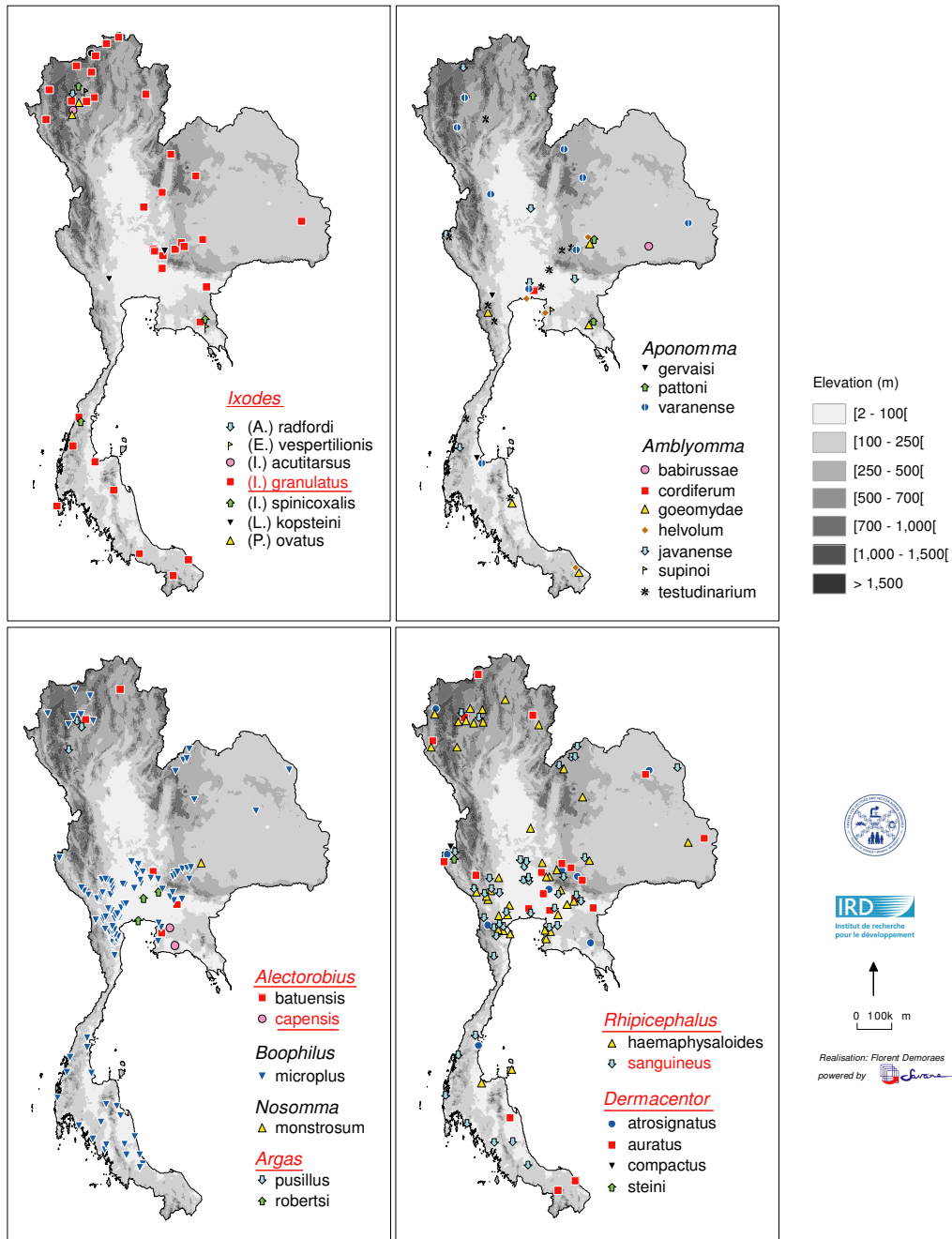


Figure 2: Spatial distribution of ticks in Thailand (a).



JP. CORNET, F. DEMORAES, et al. (2009) - Journal of Geoinformatics. Vol. 5, No 1, pp. 57-63

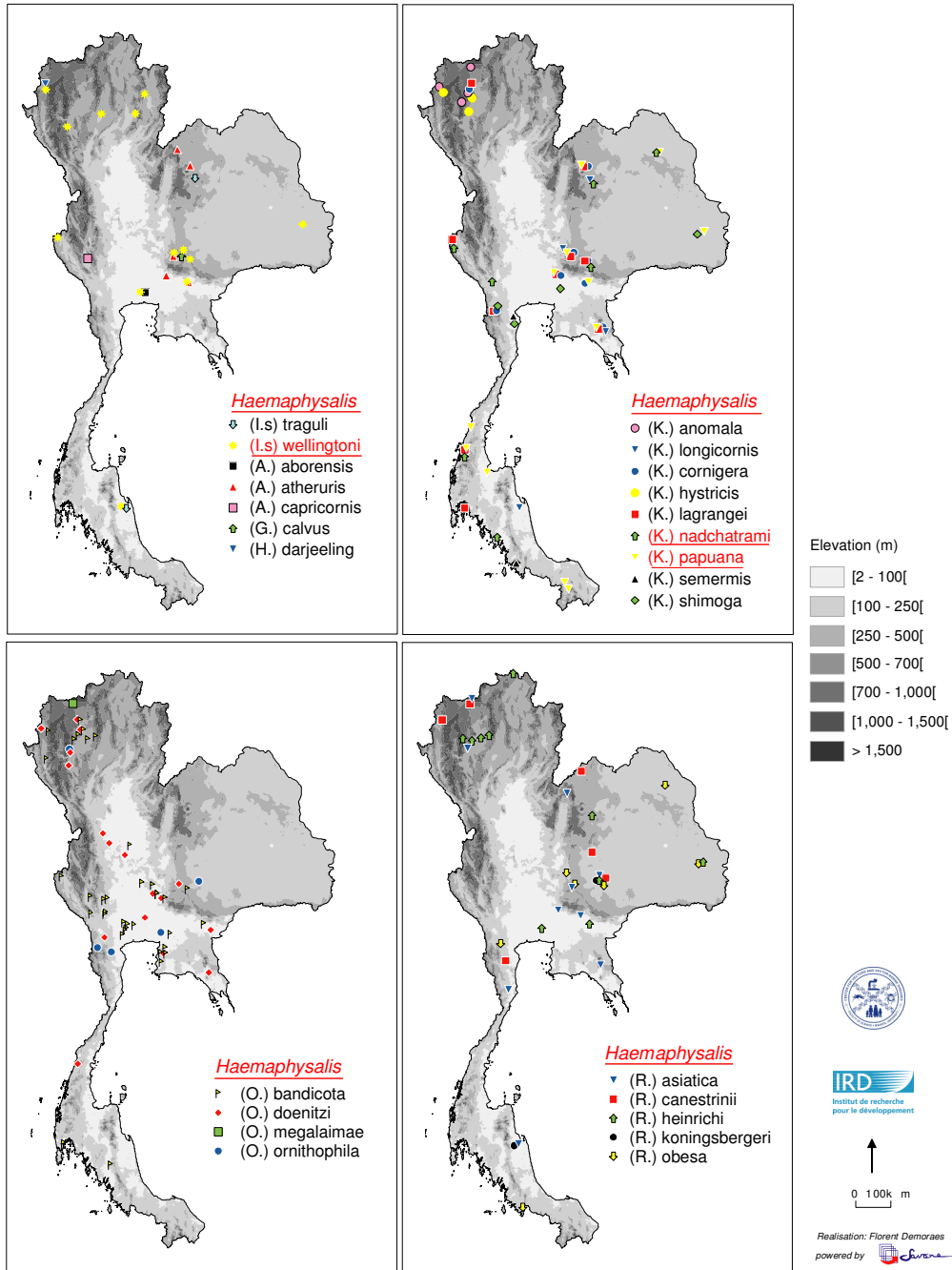


Figure 3: Spatial distribution of ticks in Thailand (b).



JP. CORNET, F. DEMORAES, et al. (2009) - *Journal of Geoinformatics*. Vol. 5, No 1, pp. 57-63

5. REFERENCES

- Cornet, J.P., Degalier, N., Hervé, J.P., 1984, Description of sledge for sampling (Acarina : Ixodina). *Acarologia*, **25**(1), 17-19
- Cornet, J.P., Gonzalez, J.P., 2001, Nouvelles observations sur la bio-écologie des tiques en Thaïlande : données récentes sur les espèces présentes dans la Plaine Centrale. *Acarologia* **41**(3), 287-294.
- Cornet, J.P., Chauvancy, G., Neveu, P., Yoksan, S., Gonzalez, J.P., 2002, Ectoparasitisme par *Amblyomidae* chez *Echinosorex gymnurus*, en Thaïlande. *Acarologia* **42**(3), 227-228.
- Cornet, J.P., Parola, P., Wongsrichanalai, C., Gonzalez, J.P., in press, Hôtes nouveaux de *Dermacentor (Indocentor) steini* Schulze 1933 et de *Dermacentor (Indocentor) compactus* Neumann 1901 (Acari : Ixodidae) en Thaïlande et au Vietnam. *Acarologia*.
- Cropper, M.L., Griffiths, C.W., Mani, M., 1997, Roads, Population Pressures, and Deforestation in Thailand, 1976-89. *World Bank Policy Research Working Paper* Washington, DC, No. 1726.
- Davies, F.G., Casals, J., Jesset, D.M., Ochieng, P., 1978, The serological relationships of Nairobi sheep disease virus. *Journal of Comparative Pathology*, **88**, 519-523.
- Hirunkanokpun, S.P., Kittayapong, S.P., Cornet, J., Gonzalez, J.P., 2003, Molecular evidence for novel tick-associated spotted fever group rickettsiae from Thailand. *Journal of Medical Entomology*, **40**, 230-237.
- Hoogstraal, H., 1956, African Ixodoidea, in *Ticks of the Sudan* (Cairo).
- Hoogstraal, H., Kohls, G.M., 1965, Southeast Asian *Haemaphysalis* ticks (Ixodoidea, Ixodidae). *H. bandicota* sp.n. from bandicoot rats in Taiwan, Thailand, and Burma.
- Hoogstraal, H., Kaiser, M.N., Kohls, G.M., 1968, The subgenus *Persicargas* (Ixodoidea, Argasidae, Argas). *Argas (P.) robertsi*, New Species, A Parasite of Australian Fowl, and Keys to Australian Argasid Species. *Annals of the Entomological Society of America*, **62**(2), 535-539.
- Hoogstraal, H., Clifford, C.M., Saito, Y., Keirans, J.E., 1973, *Ixodes (Partipaliger) ovatus* Neumann, Subgen. Nov.: Identity, Hosts, Ecology, and Distribution, *Journal of Medical Entomology*, **10**(2), 157-164.
- Hoogstraal, H., Wassef, H.Y., 1984, *Dermacentor (Indocentor) compactus* (Acari: Ixodoidea: Ixodidae): wild pigs and other hosts and distribution in Malaysia, Indonesia and Borneo, *Journal of Medical Entomology*, **21**(2), 174-178.
- Morel, P.C., 1969, Contribution à la connaissance de la distribution des tiques (Acariens, Ixodidae et Amblyomidae) en Afrique éthiopienne continentale, PhD. Thesis, Orsay
- Neumann, L.G., 1899, Révisions de la famille des Ixodidés (3ième mémoire), *Mémoire de la Société Zoologique de France*, **12**, 107-294.
- Parola, P., Cornet, J.P., Sanogo, Y.O., Miller, R.S., Thien, H.V., Gonzalez, J.P., Raoult, D., Telford III, S.R., Wongsrichanalai, C., 2003, Detection of Ehrlichia spp., Anaplasma spp., Rickettsia spp., and other eubacteria in ticks from the Thai-Myanmar border and Vietnam, *Journal of Clinical Microbiology*, **40**, 1600-1608.
- Petney, N., Keirans, J.E., 1995, Ticks of the genera *Amblyomma* and *Hyalomma* from South-east Asia, *Tropical Biomedicine*, **12**, 45-56.
- Petney, N., Keirans, J.E., 1996, Ticks of the genera *Boophilus*, *Dermacentor*, *Nosomma* and *Rhipicephalus* (Acari: Ixodidae) in South-east Asia, *Tropical Biomedicine*, **13**, 73-84.
- Souris, M., Demoraes, F., Serrano, T., Habert, E., 2007, Manuel de référence du logiciel SavGIS®, 870p (e-book : <http://www.savgis.org/manuels-de-reference.html>)
- Tanskul, P., Stark, H.E., Inlao, I., 1983, A checklist of ticks of Thailand (Acari: Metastigmata: Ixodoidea), *Journal of Medical Entomology*, **20**(3), 330-341.
- Tanskul, P., Inlao, I., 1989, Keys to the Adults Ticks of *Haemaphysalis* Koch, 1844, in Thailand with Notes on Changes in Taxonomy (Acari : Ixodoidea : Ixodidae), *Journal of Medical Entomology*, **26**(6), 573-601.
- Toumanoff, C., 1944, *Les tiques (Ixodoidea) de l'Indochine* edited by Institut Pasteur de l'Indochine, S.I.L.I., (Saigon).
- Wassef, H.Y., Hoogstraal, H., 1983, *Dermacentor (Indocentor) compactus* (Acari: Ixodoidea: Ixodidae): Identity of male and female, *Journal of Medical Entomology*, **20**(6), 648-652.
- Wassef, H.Y., Hoogstraal, H., 1984, *Dermacentor (Indocentor) auratus* (Acari: Ixodoidea: Ixodidae): Identity of male and female, *Journal of Medical Entomology*, **21**(2), 169-173
- Wassef, H.Y., Hoogstraal, H., 1984, *Dermacentor (Indocentor) atosignatus* (Acari: Ixodoidea: Ixodidae): Identity of male and female, *Journal of Medical Entomology*, **21**(5), 586-591.
- Wassef, H.Y., Hoogstraal, H., 1986, *Dermacentor (Indocentor) steini* (Acari: Ixodoidea: Ixodidae): Identity of male and female, *Journal of Medical Entomology*, **23**(5), 532-537.





Perspectives on Applied Spatial Analysis to Animal Health

A Case of Rodents in Thailand

VINCENT HERBRETEAU,^{a,b} FLORENT DEMORAES,^{a,b}
JEAN-PIERRE HUGOT,^{b,c} PATTAMAPORN KITTAYAPONG,^a
GÉRARD SALEM,^{b,d} MARC SOURIS,^{a,b} AND JEAN-PAUL GONZALEZ^b

^aCenter for Vectors and Vector-borne Diseases (CVVD), Faculty of Sciences,
Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

^bInstitut de Recherche pour le Développement (IRD), Research Unit UT178,
RCEVD/CVD, Mahidol University, Nakhon Pathom 73170, Thailand

^cMuséum National d'Histoire Naturelle de Paris, Département Systématique et
Évolution, UMR 5202 Origin, Structure and Evolution of Biodiversity, 75231
Paris Cedex 05, France

^dLaboratoire Espace, Santé, Territoire, Université Paris-X, Nanterre, 92000
Nanterre, France

ABSTRACT: Geographic information systems (GIS) and remote sensing have been increasingly used in ecology and epidemiology, providing a spatial approach for animal health issues. Recent development of earth environmental satellites—i. e., their growing number, improving sensor resolutions and capabilities—has offered new opportunities to delineate possible habitats and understand animals and associated parasites in their environment, by identifying the nature and structure of land use, hydrological network, soil hydromorphy, and human settlements. Integrated into GIS, remotely sensed and other geo-referenced data allow both spatial and temporal analyses of animal ecology and health. However, a review of their applications has showed the poor quality of data sources and processing used, revealing limitations between theory and practical implementations. As an example, the assessment of the expected distribution of Bandicoot rats, main agricultural pest and vector of zoonoses in Phrae province (North Thailand), illustrates a rational use of spatial analysis, with the choice of relevant data, scales, and processing. Vegetation indices are computed on a TERRA ASTER image and further classified using elevation data. The biotopes of *Bandicota indica* and *Bandicota savilei* are delimited, providing a major source of knowledge for rodent and human health analyses.

Address for correspondence: Vincent Herbreteau, PhD candidate in Health Geography, Master of Engineering in GIS and Remote Sensing, IRD-UT178, Center for Vectors and Vector-borne Diseases, Faculty of Sciences, Mahidol University, Thanon Rama VI, Phayathai, Bangkok 10400, Thailand. Voice: 66-24410227; fax: 66-24410227.

e-mail: Vincent.Herbreteau@ird.fr

Ann. N.Y. Acad. Sci. 1081: 17–29 (2006). © 2006 New York Academy of Sciences.

doi: 10.1196/annals.1373.002



KEYWORDS: geographic information systems; remote sensing; spatial analysis; rodents; biogeography; Bandicoot; *Bandicota indica*; *Bandicota savilei*; NDVI; SAVI; ASTER

INTRODUCTION

With an increasing access to a large variety of location-based data, including animal and animal health information, spatial analysis has emerged as a major method for describing and understanding diseases dynamics and risk of transmission.¹ The aims of spatial analysis are: (a) the epidemiological surveillance, with disease mapping of reported incidences, and further active surveillance, involving collection of animal health and animal population information; (b) the explanatory understanding of animal population and diseases dynamics, by identifying patterns in the spatio-temporal distribution of diseases and identifying risk factors or causes of the diseases (etiology), and (c) the disease prevention, by predicting outbreaks and assisting in decision making. Spatial analysis is conducted through a geographic information system (GIS), used as the central interface to integrate, manage, and process data.^{2,3} A current trend is to combine other available tools, such as remote sensing (RS), with GIS software, in order to implement efficient computer-based systems for spatial analysis.

Most of the researches in health involving space technologies have been dedicated to human health. The few applications using RS in animal health were mainly studies of Blutetongue,⁴⁻⁶ African horse sickness,⁷ bovine tuberculosis,^{8,9} Eastern equine encephalomyelitis virus,^{10,11} and assessment of mosquito abundance.¹² Rare applications on rodent-borne diseases have been published.¹³ The ecological approach of vectors has been the most direct contribution of RS to health studies, used in 96% of past researches.¹⁴ Location-based data set usually gathers environmental variables, such as climate, topography, or land use, modeled as indicators of the animal ecology. Land use is extracted by RS from aerial pictures or satellite images, of which a large choice has been made available. However, an almost exhaustive review of the use of RS in health over the last 25 years has shown the gap between the theory and arguments of RS professionals and the limited use of these techniques in health, and especially epidemiology.¹⁴ Most studies are based on the low-resolution images chosen, because they are free of charge or available at a low cost and not for their relevance regarding the objectives of the study. Considering that the choice of scales in health geography is a fundamental issue to understand diseases dynamics, being limited to the resolutions of the image is obviously a major weakness, though rarely mentioned. The second outcome of this article highlighted the limited processes performed on images; 49% of the studies used the normalized difference vegetation index (NDVI).¹⁴ In addition, in most of these cases, authors rarely processed NDVI by themselves despite the



HERBRETEAU et al.: PERSPECTIVES ON SPATIAL ANALYSIS TO ANIMAL HEALTH 19

simplicity of the calculation ; they acquired already processed NDVI from National Oceanographic and Atmospheric Administration images that have been made available through the Internet. A conclusion of this review about RS in health is that the price of data has been the limiting factor to the relevance of such studies.

After reviewing the applications of spatial analysis to health and emphasizing their limits, this article aims to provide a descriptive and relevant example making use of RS for vector-borne diseases. It consists in assessing the potential distribution of a genus of common rodents in Thailand, *Bandicota*, which is a major vector of zoonoses. Three *Bandicota* species are described from India to South East Asia: *Bandicota indica* (Bechstein, 1800), the great bandicoot, *Bandicota savilei* (Thomas, 1916), the lesser bandicoot, and *Bandicota bengalensis* (Gray and Hardwicke, 1804), the Bengal bandicoot. Only the first two occur in Thailand, in different ecosystems. *B. indica* has been designated as the main vector of leptospirosis,^{15,16} but both of them are suspected to be the vectors of other zoonoses, especially Scrub typhus and hantaviruses.

An explanatory approach of rodent distribution was used to identify potential indicators of presence, later compared with field sampling data and ecological observations (FIG. 1). *B. indica* is the largest murine rodent occurring in South East Asia, common in agricultural areas, particularly in rice fields, possibly close to houses and often wetlands.¹⁷⁻¹⁹ Villagers regularly hunt *B. indica* for meat or to protect cultivations, and have always shown great knowledge of its ecology during interviews. *B. savilei* is a medium-sized rat, living in agricultural but dry areas, which is a major point of distinction between the two

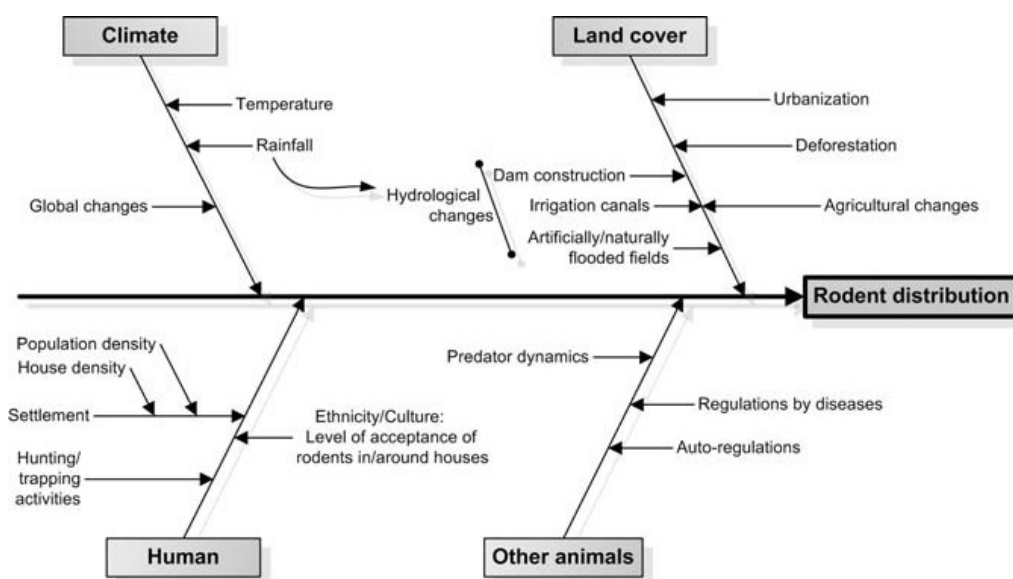


FIGURE 1. Explanatory approach of rodent distribution.



species.¹⁹ Despite rare notifications of *B. savilei* during trapping in Thailand, it has shown great adaptation to agricultural changes, with populations rapidly colonizing and damaging corn fields.

MATERIALS AND METHODS

Since 1998, rodent surveys have been conducted in Phrae province and other Thai regions, in the frame of a research on rodent-borne zoonoses (IRD/UT178 in collaboration with Mahidol University/CVVD). Trappings were set up in different ecosystems to broadly sample murine rodents' diversity, invest their morphology and taxonomy, and identify ecological indicators of their distribution. In 2004, complementary interviews were conducted in Phrae province regarding Bandicoot rats' ecology, distribution, and dynamics.

The study area, centered on Phrae province, is located in the Central–Northern part of Thailand between longitude 99.5° E and 100.2° E and between latitude 17.5° N and 18.3° N. The topography comprises forested highland areas, with a North–South alignment, separated by large flood plains. Drastic changes in land use have occurred with the agricultural development, boosted by the construction of several reservoirs to irrigate lowland areas, and a continuous deforestation in the highland area that officials could slow down but have failed to stop. Phrae City, located by the side of Mae Yom River in the large flood plain, is one of the most frequently flooded localities in Thailand.

Regarding the price of data as a recurrent limiting factor in the choice of images, we carried out our research using only free data and tools, searching for the highest quality and relevance. We integrated, managed, and processed data using SavGIS, a GIS freeware under development by IRD (<http://www.savgis.com>), offering beyond GIS capabilities, integrated tools for RS. A TERRA EOS AM-1 (Earth Observing System) ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) image from the March 7, 2003 was acquired, for free, from the United States Geological Survey website (<http://eros.usgs.gov/products/satellite.html>). With a 15-m spatial resolution and 14 bands available, ASTER images are suitable for describing the land use on a large scale (small extent). Only three bands, in the green, red, and near-infrared electromagnetic spectrum portions were acquired, to use the specificities of high reflectance of vegetation in near-infrared wavelengths. They were merged and arranged in a false color composition, for an easier distinction of vegetation density and activity (FIG. 2).

Elevation data for Thailand were obtained from the international project Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), providing a worldwide Digital Elevation Model (DEM), accessible via the Internet (<http://srtm.usgs.gov/>). Data points are located every 3-arc second (approximately 90 m) on a latitude/longitude grid. These data points were interpolated for the whole country, using SavGIS, and directly integrated into the GIS database (FIG. 3).

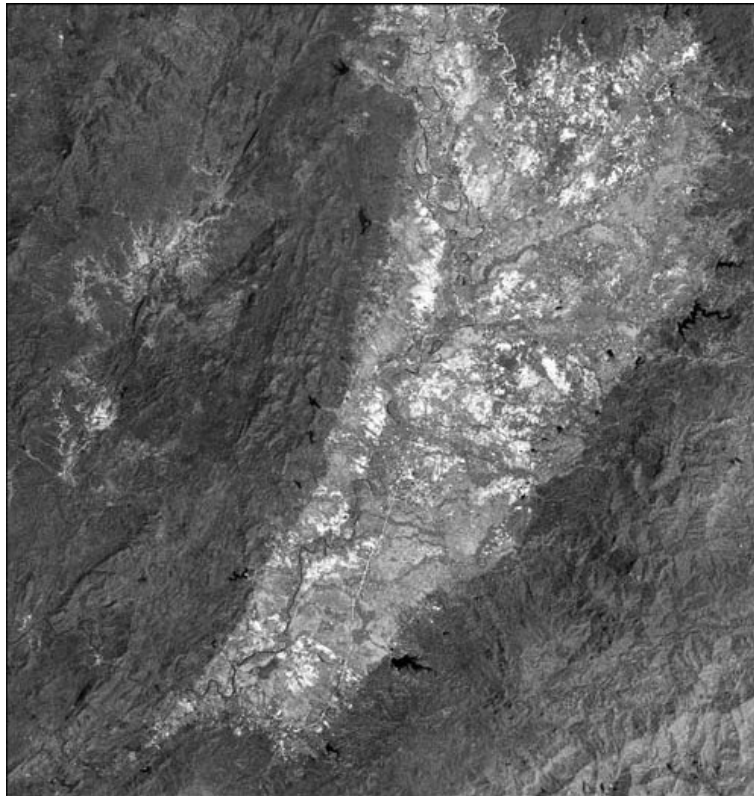
HERBRETEAU *et al.*: PERSPECTIVES ON SPATIAL ANALYSIS TO ANIMAL HEALTH 21

FIGURE 2. TERRA ASTER image. Phrae, Thailand 07/03/03 (False-color composition).

Vegetation indices (VIs) are calculations of reflectance values in different spectral portions helping to quantify the abundance and vigor of vegetation. While the NDVI is the most commonly used in health applications, there are nearly two dozen others. Most are ratios of a near-infrared and red bands, considering the properties of high reflectance for vigorous vegetation in near-infrared spectral portion.^{20,21} In the present study, we used two different VIs (NDVI and SAVI) as described below. NDVI, introduced by Rouse *et al.*,²² is a ratio-based index, ranging between -1.0 and + 1.0, with vegetation having positive values:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - R) / (\text{NIR} + R)$$

with NIR = value of pixel in near-infrared band,
 R = value of pixel in Red band.

NDVI is a differential index for active vegetation, that is, forests or fields with a dense cover. Bare fields with some spontaneous vegetation or fields with little vegetation coverage are hardly separated. To minimize the effects of soil, Huete incorporated a soil adjustment factor (L) in the NDVI formula and proposed the soil-adjusted vegetation index (SAVI)^{23,24}:

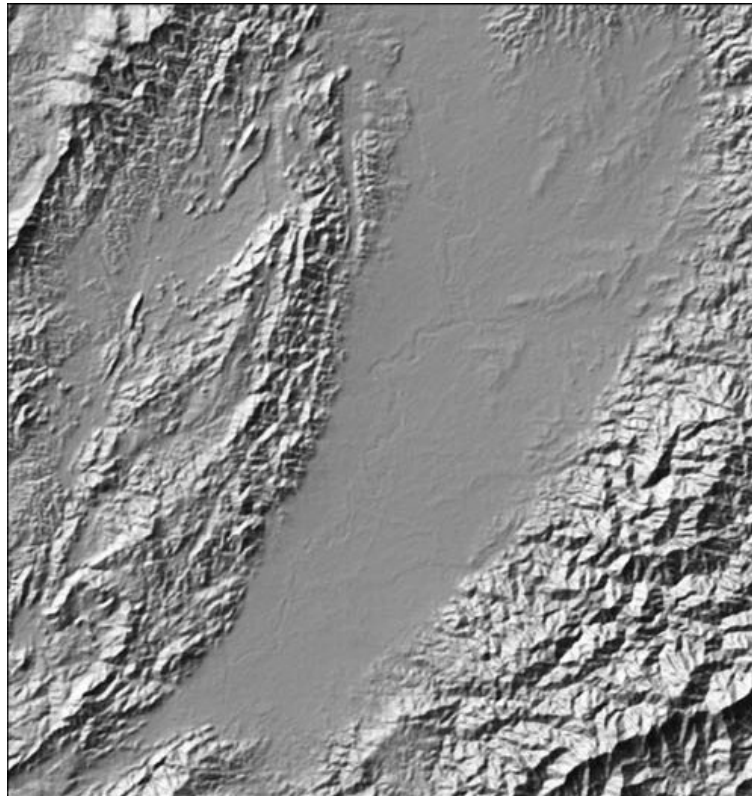


FIGURE 3. Digital elevation model (SRTM, 90 m).

$$\text{SAVI} = [(1 + L) \times (\text{NIR} - R)] / (\text{NIR} + R + L)$$

This correction factor is determined by the relative coverage of vegetation and color of soil. For this study, L was given a value of 1 for bare soils and emergent crops, 0.5 for an intermediate stage, and 0 to get the NDVI values for dense vegetation cover. Then, NDVI and SAVI are combined to separate the range of coverage, from sparse to dense, which can be found in a same area in tropical countries.

RESULTS

There were 1718 murine rodents, belonging to 30 different species, trapped between January 1998 and December 2004, in Northern, Northeastern, and Central Thailand, representative of the great biodiversity. *B. indica* constitutes 13.5% (232 specimens) of the total murine rodents trapped during this period. This ratio should not be interpreted in terms of abundance because of the multiple biases inherent in the trapping method. Of the species trapped, 55.9% were males, showing the active behavior of males going hunting while females protect the nest and litter after birth. *B. indica* was exclusively found during

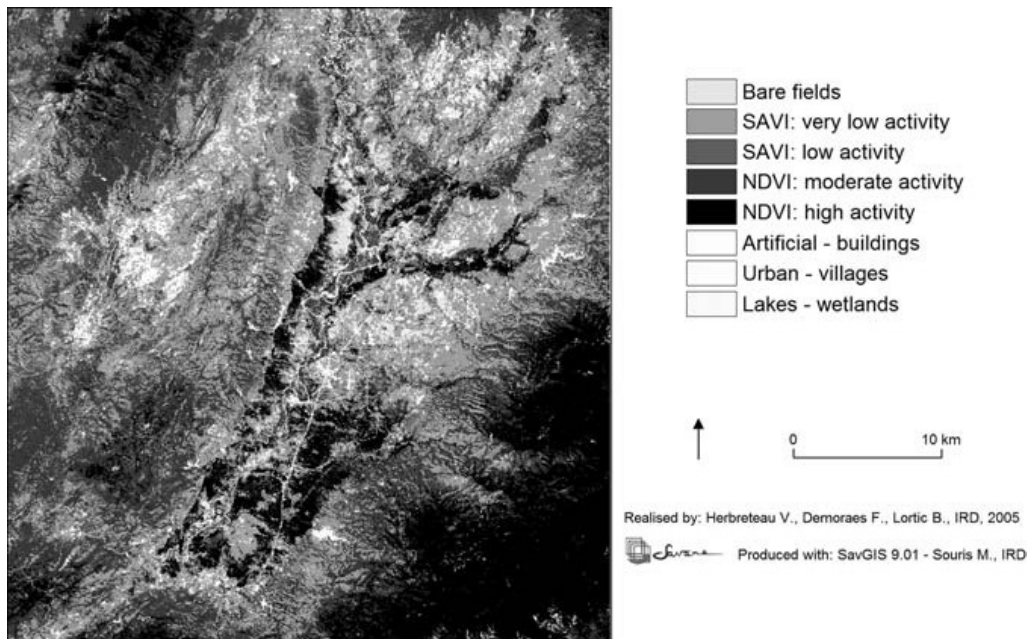
HERBRETEAU *et al.*: PERSPECTIVES ON SPATIAL ANALYSIS TO ANIMAL HEALTH 23

FIGURE 4. Classification (all classes).

sampling in the lowland rice fields, especially abundant after harvests, digging burrows on the edge of fields.

Sixty *B. savilei* (3.5% of total murine rodents) were trapped during the same period. Here again, the smaller number of *B. savilei* trapped, compared to *B. indica*, does not reflect any reality in the density of both species but the biases in trapping methods. Half of *B. savilei* specimens come from the mountains of Phrae province, where it has been a major agricultural pest since maize production has increased, replacing mung beans and other crops, in the foothills of the mountains. These fields provide dry habitats for *B. savilei*, with a seasonal but abundant source of food.

The supervised classification (FIG. 4) helps to separate what represent the human settlements, the city of Phrae, the villages, some large isolated buildings, and the main roads. Regarding the distribution of Bandicoot rats, the extent and structure of human settlements are a first indicator, considered as attractive for *B. indica*. Lakes and wetlands are also accurately extracted from optical satellite images. In the central flood plain, fields with no vegetation were classified as bare lands. Difficulties lie in distinguishing different vegetation covers, stages of cultivation, and agricultural practices, especially artificial flooding. The calculation of SAVI with an L -value equal to 0 (then $SAVI = NDVI$), first showed active vegetation. Two classes were isolated, based on ground proof: high activity: $NDVI > 185$, and moderate activity: $170 < NDVI < 185$ (these values are stretched from 0 to 255 to use the full color range for the output

map). These areas correspond to highland forests and rice fields in the lowland flood plain. With an L -value equal to 1, also two classes were identified: very low activity: $165 < \text{SAVI} < 195$ and low activity: $195 < \text{SAVI} < 215$, with the result that the first class corresponds to the previously described *B. savilei* habitat, that is, field areas, in the foothills of the mountains, in transition between lowland rice fields and highland forests, where corn fields have been replacing forests. The two classes group together, in lowland areas, agricultural fields, and sparse vegetations, where *B. indica* can occasionally be found.

VIs give similar values for lowland rice fields and highland forests, both characterized by a dense cover. This common limitation of RS, when only based on reflectance values, was solved by using the topography derived from the SRTM DEM. Rice field areas, only found in the large flood plain where *B. indica* occurs, correspond to fields with a very low slope. The slope was calculated from the DEM and almost flat areas (with slopes $< 2^\circ$) were delineated (FIGS. 5 and 6). In these lowland areas, high vegetation reflectance is classified as rice field instead of forests. Otherwise, high reflectance values with a slope greater than 2° were classified as forested areas.

The potential distribution of *B. indica*, present in the large flood plain, corresponds to both “NDVI high activity” and “SAVI very low activity” classes,

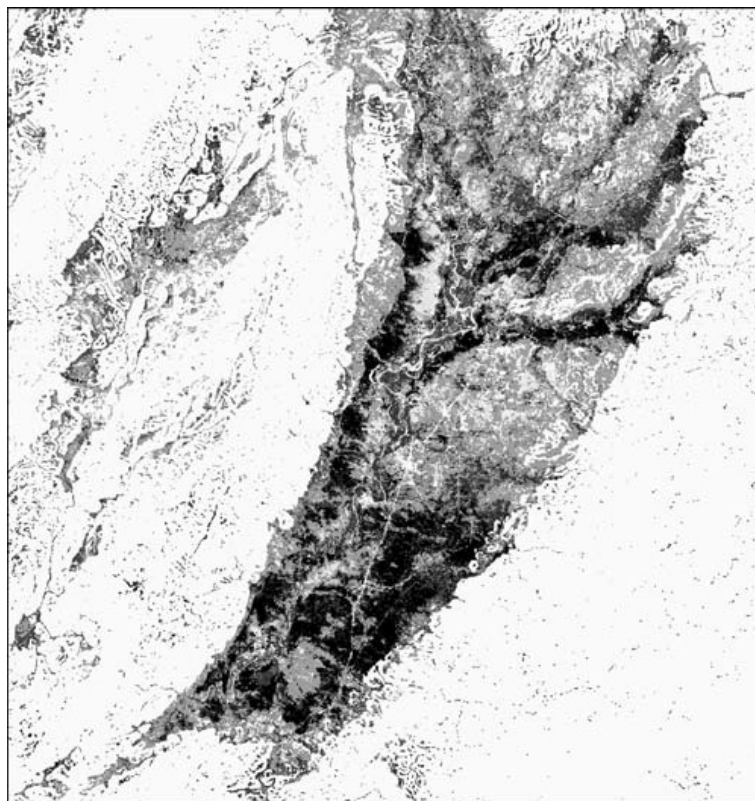


FIGURE 5. NDVI + SAVI in lowlands.

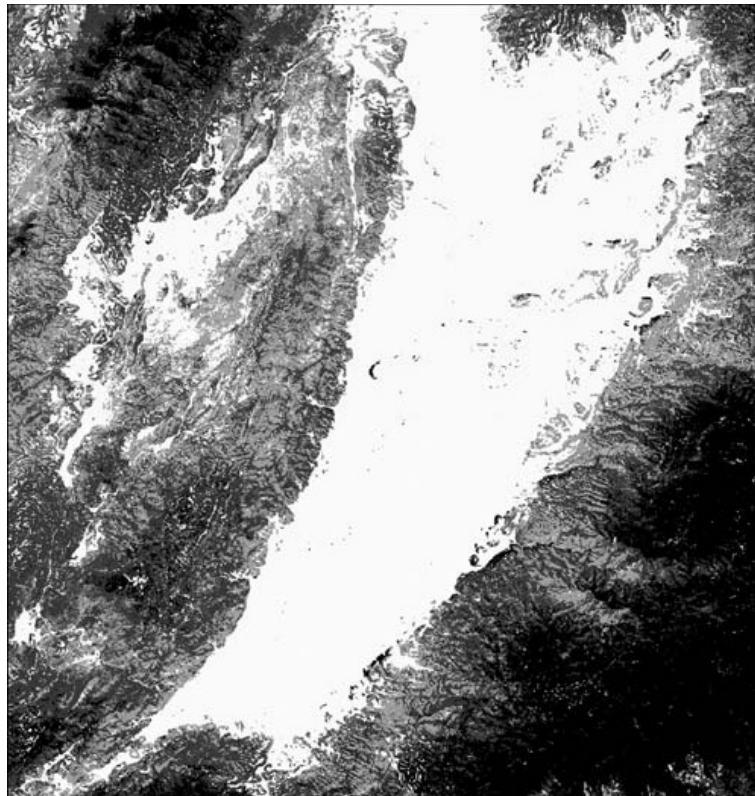


FIGURE 6. NDVI + SAVI in highlands.

within the lowland areas, while the potential distribution of *B. savilei* is delimited by the “SAVI low activity” class. Maps of potential distribution were generated from these results (FIGS. 7 and 8).

DISCUSSION

Location-based data set integrated in a GIS are useful for RS analyses, illustrating with this example the need of GIS software directly integrating RS tools. VIs, based on reflectance values, show variations in the vegetation intensity but are not fully appropriate to differentiate the types of vegetation. Indeed, in the classified image, the same NDVI values can be attributed to both rice fields and forests. This is the reason why other RS techniques, such as texture or pattern discrimination processes, or other GIS queries, such as the merging of RS results with slopes or elevation as described above, should be used in complement.

The use of RS in tropical countries has a main restriction with the scarcity of exploitable satellite images during the rainy season when the widespread



FIGURE 7. Potential distribution of *B. indica*.

cloud cover makes the ground not observable from the sky. As a result, observations are generally conducted during the dry season, limiting the analysis of seasonal changes. However, radar sensors, emitting and recording radiations with a longer wavelength (from 1 mm to 1 m), provide images that can be used all through the year, with a particular interest for tropical diseases presenting a peak of incidence during the rainy season.¹⁴ Access to low-cost but high-resolution images should increase for higher relevance in health studies. The emergence of web-based satellite images browser, after Google Earth[®] initiative (<http://earth.google.com/>), which allows visualization for free, of worldwide images at medium or even very high resolutions, is a new hope for health geographers, seeking such an easy access to images but with different bands for RS analysis.

Mapping the potential distribution of rats is a first step for pin-pointing areas in which a risk of transmission of rodent-borne disease is likely to occur. Future investigations should focus on the validation of these expected rodent distribution maps through a higher number of trappings. Knowing the habitats of murine transmitting pathogens is useful for both animal and human health in order to define prevention and vector control campaigns.



FIGURE 8. Potential distribution of *B. savilei*.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Bernard Lortic (IRD-UR029) for his precious help in image processing, Jean-Paul Cornet (IRD-UR178) and Jean-Louis Janeau (IRD-UR176/IWMI-SEA, Bangkok) for their continuous support all through this research. We also thank Arthorn Boonsaner (National Park, Wildlife and Plant Conservation Department, Thailand, Bangkok), Narissara Chatwatcharakul (IWMI-SEA, Bangkok), Wasana Khaungaew, and Primporn Mounthong (Ministry of Public Health, Phrae provincial office) for their assistance.

This research was supported by the Institut de Recherche pour le Développement (IRD) Research Unit UT178 “Fundamentals and Domains of Disease Emergence” and the program «Usages des Sols et Sédiments: Impacts Sanitaires» for field investigations.

REFERENCES

1. GATRELL, A. 1999. GIS and health: from spatial analysis to spatial decision support. *In Geographic Information Research: Trans-Atlantic Perspectives*. M. Craglia & H. Onsrud, Eds.: 143–158. Taylor and Francis. London.



2. ELLIOTT, P. & D. WARTENBERG. 2004. Spatial epidemiology: current approaches and future challenges. *Environ. Health Perspect.* **112**: 998–1006.
3. BAKER, R.D. 2004. Identifying space-time disease clusters. *Acta Trop.* **91**: 291–299.
4. TATEM, A.J., M. BAYLIS MELLOR, *et al.* 2003. Prediction of bluetongue vector distribution in Europe and north Africa using satellite imagery. *Vet. Microbiol.* **7**: 13–29.
5. CAPELA, R., B.V. PURSE, I. PENA, *et al.* 2003. Spatial distribution of *Culicoides* species in Portugal in relation to the transmission of African horse sickness and bluetongue viruses. *Med. Vet. Entomol.* **17**: 165–177.
6. PURSE, B.V., A.J. TATEM, *et al.* 2004. Modelling the distributions of *Culicoides* bluetongue virus vectors in Sicily in relation to satellite-derived climate variables. *Med. Vet. Entomol.* **18**: 90–101.
7. BAYLIS, M., H. BOUAYOUNE, *et al.* 1998. Use of climatic data and satellite imagery to model the abundance of *Culicoides imicola*, the vector of African horse sickness virus, in Morocco. *Med. Vet. Entomol.* **12**: 255–266.
8. WINT, G.R. W., T.P. ROBINSON, *et al.* 2002. Mapping bovine tuberculosis in Great Britain using environmental data. *Trends Microbiol.* **10**: 441–444.
9. MC KENZIE, J.S., R.S. MORRIS, *et al.* 2002. Application of remote sensing to enhance the control of wildlife associated *Mycobacterium bovis* infection. *Photogrammetric Eng. Rem. S68*: 153–159.
10. FREIER, J.W. 1993. Eastern equine encephalomyelitis. *Lancet* **342**: 1281–1283.
11. MONCAYO, A.C., J.D. EDMAN & J.T. FINN. 2000. Application of geographic information technology in determining risk of eastern equine encephalomyelitis virus transmission. *J. Am. Mosq. Control* **16**: 28–35.
12. GLEISER, R.M., G. SCHELOTTO & D.E. GORLA. 2002. Spatial pattern of abundance of the mosquito, *Ochlerotatus albifasciatus*, in relation to habitat characteristics. *Med. Vet. Entomol.* **16**: 364–371.
13. GLASS, G.E., J.E. CHEEK, J.A. PATZ, *et al.* 2000. Using remotely sensed data to identify areas at risk for hantavirus pulmonary syndrome. *Emerging Infect. Dis.* **6**: 238–247.
14. HERBRETEAU, V., G. SALEM, M. SOURIS, *et al.* 2005. Sizing up health through remote sensing: uses and misuses. *Parassitologia* **47**: 63–79.
15. PHULSUKSOMBATI, D., W. TANGKANAKUL, *et al.* 1999. Isolation of *leptospirae* from wild rodents in Thailand, 1998. *J. Health Sci. (Thai.)* **8**: 360–369.
16. TANJATHAM, S., W. KHAUNGAEW & D. BOONYOD. 2003. Serological survey on *Leptospira* in animals and patients, Prachinburi province. *J. Health Sci. (Thai.)* **12**: 265–272.
17. BOONGSONG, L., J.A. MCNEELY & J.T. MARSHALL. 1988. Mammals of Thailand. Association for the Conservation of Wildlife. Bangkok.
18. CHAIMANEE, Y. 1998. Plio-Pleistocene Rodents of Thailand. Biodiversity Research and Training Program, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology. Bangkok.
19. APLIN, K.P., P.R. BROWN, J. JACOB, *et al.* 2003. Field methods for rodent studies in Asia and the Indo-Pacific. ACIAR Monograph No. 100, ACIAR, Canberra.
20. JACKSON, R.D. & A.R. HUETE. 1991. Interpreting vegetation indices. *Prev. Vet. Med.* **11**: 185–200.
21. TUCKER, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* **8**: 127–150.



HERBRETEAU *et al.*: PERSPECTIVES ON SPATIAL ANALYSIS TO ANIMAL HEALTH 29

22. ROUSE, J.W., R.H. HAAS, *et al.* 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. **1**: 309–317.
23. HUETE, A.R., R.D. JACKSON & D.F. POST. 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sens. Environ.* **17**: 37–53.
24. HUETE, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* **25**: 295–309.





3 – Mobilités quotidiennes et inégalités socio-spatiales

Cet axe qui représente un domaine montant dans ma production, réunit trois références (un chapitre d'ouvrage et deux articles). Ces publications sont issues de travaux menés depuis mon intégration à l'UMR ESO en 2007 et mon implication dans le programme de l'ANR METAL.

Dans le chapitre d'ouvrage (**Réf. 8**), on s'attache à étudier la production des inégalités sociales à travers le prisme de la mobilité quotidienne à Bogotá, São Paulo et Santiago du Chili. La première partie présente la problématique générale de la mobilité quotidienne dans ces trois métropoles et les principales politiques publiques qui y ont été menées pour surmonter la crise des transports. La deuxième partie est centrée sur la face la plus visible des inégalités de mobilités, c'est-à-dire l'inégal accès aux différents moyens de transport. La troisième partie explore des formes d'inégalités moins étudiées, comme les inégalités intrafamiliales, « l'immobilité » (c'est-à-dire la limitation, volontaire ou non, du recours à la mobilité), l'effet du lieu de résidence sur les navettes quotidiennes, ainsi que les inégalités observées dans la mobilité « hors navettes ».

Dans la deuxième référence (**Réf. 9**), on analyse les inégalités d'accès aux ressources urbaines en lien avec le cycle de vie des individus, la hiérarchie sociale et la localisation du lieu de résidence, dans l'agglomération de São Paulo. On étudie en particulier les différences observées dans la dispersion spatiale des lieux d'activité (étude et travail) fréquentés au quotidien par les individus enquêtés dans le cadre du programme de l'ANR METAL.

Dans la troisième référence (**Réf. 10**), à partir des données agrégées issues des grandes enquêtes Origine-Destination, on compare le lien entre localisation résidentielle, condition sociale et profils de mobilités quotidiennes à travers les déplacements domicile-travail dans trois métropoles d'Amérique du sud, Bogotá, Santiago du Chili et São Paulo. On tente ainsi de répondre aux questions suivantes : observe-t-on des profils de mobilité quotidienne identiques dans les trois métropoles ? Comment s'articulent-ils au regard des conditions sociales ?

Réf. 8 - V. GOUËSET (coord.), F. DEMORAES, O. FIGUEROA, G. LE ROUX, S. ZIONI, (2014). - *Parcourir la métropole. Pratiques de mobilité quotidienne et inégalités socio-territoriales à Bogotá, Santiago et São Paulo - Programme de recherche ANR METAL, Chapitre 8*, in DUREAU F., LULLE T., SOUCHAUD S., CONTRERAS Y., (Ed.), *Mobilités et changement urbain à Bogotá, Santiago et São Paulo*, coll. *Espaces et Territoires*, Presses Universitaires de Rennes, pp. 265-302.

Réf. 9 - DEMORAES F., PIRON M., ZIONI S., SOUCHAUD S. (2012) - *Inégalités d'accès aux ressources de la ville analysées à l'aide des mobilités quotidiennes - Approche méthodologique exploratoire à São Paulo*, Vol. 56, No 158, septembre 2012, *Dossier Mobilités spatiales et ressources métropolitaines : l'accessibilité en questions*, *Cahiers de géographie du Québec*, pp. 463-489.

Réf. 10 - DEMORAES F., GOUËSET V., PIRON M., FIGUEROA, O., ZIONI S. (2010) - *Mobilités quotidiennes et inégalités socio-territoriales à Bogotá, Santiago du Chili et São Paulo*, *Revue Espace, Populations, Sociétés*, n° 2010-2 « *Nouvelles mobilités dans les Suds* », pp. 349-364.



8

Parcourir la métropole : pratiques de mobilité quotidienne et inégalités socio-territoriales

*Vincent GOUËSET(coord.), Florent DEMORAES, Oscar FIGUEROA,
Guillaume LE ROUX et Silvana ZIONI*

Ce chapitre a pour objectif d'étudier les formes de mobilité quotidienne à Bogotá, Santiago et São Paulo. Pour la grande majorité des citoyens, les conditions de circulation sont difficiles en raison de la configuration socio-spatiale de ces villes. Nous avons vu dans les chapitres précédents qu'elles ont connu dans les décennies passées un processus de transition urbaine qui s'est traduit par une croissance démographique et une expansion territoriale très rapides, qui continuent à un rythme encore soutenu aujourd'hui, même s'il a ralenti (chapitre 1). Les trajectoires résidentielles des citoyens (chapitre 7) se sont produites dans le cadre d'un marché du logement fortement ségrégatif (chapitre 4), avec la constitution d'immenses quartiers populaires en périphérie, de manière illégale ou par la construction de logements sociaux, et la production, dans d'autres secteurs de la ville, d'espaces résidentiels formels pour les classes moyennes et aisées. La quête de terrains constructibles à des prix accessibles a conduit progressivement ces deux circuits de production du logement à s'éloigner vers la périphérie, ce qui a eu pour effet de maintenir de faibles densités de population dans les espaces centraux et péri-centraux (chapitre 3). Aujourd'hui, même si les trois métropoles cherchent à redensifier leurs espaces centraux, une grande partie de la production de logements neufs se déploie en périphérie, dans un nombre croissant de municipes qui sont gagnés par l'étalement urbain. Ce dernier se traduit par une augmentation des flux quotidiens entre le cœur de la métropole et ses couronnes suburbaines. De manière générale, Bogotá, Santiago et São Paulo se caractérisent par une distribution inégale des espaces résidentiels, très étendus, et des pôles d'emplois et de services, qui tendent à rester concentrés dans les secteurs centraux et péri-centraux.

Ce modèle de croissance et cette configuration territoriale entraînent un accroissement considérable des mobilités quotidiennes, avec des inégalités de plus en plus marquées dans les conditions de déplacement des populations. Les citoyens sont contraints de se déplacer de plus en plus souvent et loin pour accéder aux ressources de la ville, c'est-à-dire les emplois, les services ou tout



simplement leurs réseaux familiaux et sociaux. Se déplacer dans des métropoles de plus en plus étendues, fragmentées et congestionnées n'est pas une tâche facile. Les conditions de déplacement dépendent de plusieurs paramètres, auxquels les habitants doivent s'adapter : la localisation de leur domicile dans l'espace métropolitain ; le besoin qu'ils ont ou pas de sortir quotidiennement pour aller travailler, étudier ou réaliser différentes démarches ; la condition économique des individus et des ménages ; l'équipement des ménages en moyens de transport ; la qualité de l'infrastructure routière et celle de l'offre de transports collectifs.

Les trois métropoles ont connu au cours des dernières décennies une crise généralisée des transports urbains, avec une congestion croissante de la voirie et une dégradation du fonctionnement des transports collectifs (Thomson, 1993 ; Figueroa, 2005). Comme on l'a vu dans le chapitre 1, les transports urbains ont donné lieu à des politiques publiques nombreuses et contradictoires entre les années 1980 et les années 2000. À la faveur du tournant néolibéral, la plupart des entreprises publiques de transport ont été liquidées, ce qui a généré une explosion de l'offre informelle de transports collectifs et une dégradation des conditions de circulation qui a été d'autant plus rapide qu'au même moment, durant les années 1990, l'ouverture économique faisait baisser le prix des voitures importées, ce qui a entraîné l'explosion du parc automobile privé. La plupart des métropoles latino-américaines se sont alors retrouvées dans une situation très critique, qui a obligé les pouvoirs publics à ré-intervenir, mais selon des modalités nouvelles, avec : une plus grande participation des gouvernements locaux (surtout à Bogotá) ; un accroissement de l'offre de transports massifs (métro et trains suburbains) à São Paulo ; une coopération accrue entre le secteur public et les entreprises privées ; des innovations techniques et logistiques comme les systèmes de BRT (*Bus Rapid Transit*¹) tels que le *Transmilenio* à Bogotá (2001), le *Transantiago* à Santiago du Chili (2007) ou les couloirs d'omnibus progressivement aménagés en périphérie de São Paulo ; enfin des avancées en matière d'intégration tarifaire dans les transports collectifs à Santiago et São Paulo.

Un enjeu important pour le projet METAL était d'étudier les conditions de mobilité quotidienne en relation avec les caractéristiques socio-démographiques des individus et leurs trajectoires résidentielles (encadré 8-1). Dans le champ des études sur la mobilité quotidienne, il est clairement établi aujourd'hui (Gomide, 2003 ; Kaufmann *et al.*, 2004 ; Le Breton, 2005) que la mobilité constitue une composante essentielle dans la production des inégalités sociales. Elle les amplifie dans certains cas, elle les limite dans d'autres, mais elle place toujours les citoyens en condition d'inégalités pour se mouvoir dans la ville : certains se déplacent beaucoup et loin, par nécessité ou par choix, alors que d'autres ont des difficultés à se déplacer, par impossibilité physique, en raison de difficultés économiques ou par choix également. Tandis que certains circulent en automobile dans des conditions confortables (ce qui n'exclue pas de fréquents bouchons), d'autres voyagent à pied ou dans des transports collectifs surchargés, dans des conditions souvent pénibles.

1. Le sigle BRT, couramment utilisé en Amérique latine, correspond à ce qu'on appelle en français les BHNS (Bus à haut niveau de service).

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

Encadré 8-1 : À propos de la méthodologie de recherche sur les mobilités quotidiennes.

Dans ce chapitre, deux types de sources de données ont été mobilisés : les recensements de population et les enquêtes de mobilité (également appelées « enquête origine-destination ») disponibles dans chacune des trois métropoles. Mais la source de données la plus importante correspond aux enquêtes METAL de 2009, qui apportent une information inédite et comparable entre les trois villes².

La méthodologie de l'enquête par questionnaires a été présentée dans le chapitre 2. Sur le thème spécifique de la mobilité quotidienne, on dispose des informations suivantes :

- la possession d'un véhicule particulier dans chaque ménage (question 3-A-7 dans l'enquête par questionnaires) ;
- le lieu d'étude, le moyen de transport et la durée du déplacement des jeunes de 5 ans ou plus vers leur lieu d'étude (4-C-6 à 9) ;
- le lieu de travail, le moyen de transport et la durée du déplacement des actifs de 12 ans ou plus vers leur lieu de travail (4-D-8 à 11) ;
- l'usage de véhicules particuliers ou d'un transport collectif par chaque membre du ménage (4-E-1 et 2) ;
- l'usage hebdomadaire d'un véhicule particulier ou d'un transport collectif par chaque membre du ménage (4-E-1 y 2) ;
- les déplacements de chaque membre du ménage au cours de la semaine précédant l'enquête pour des motifs autres que « étude » ou « travail », avec pour chaque déplacement : le motif, le lieu de destination et le mode de transport (4-E-3) ;
- la fréquentation annuelle par Ego d'un certain nombre de lieux polarisants au sein de la métropole (4-E-5).

L'enquête a été conçue pour capter non seulement les formes de mobilité « obligatoires », c'est-à-dire les navettes entre le domicile et le lieu d'étude (4-C) ou de travail (4-D), qui marquent fortement le rythme quotidien de la ville en semaine, mais également les mobilités « hors navettes » (4-E-3 et 4-E-5), liées à d'autres motifs tels que les courses, les démarches administratives, l'accès aux services de santé, les loisirs ou les relations sociales; ce qui permet d'étudier les inégalités liées à ce type de mobilité, qui sont mal connues.

Les enquêtes METAL ne sont pas représentatives de l'ensemble de chacune des trois métropoles, à la différence des enquêtes origine-destination, car l'information a été collectée uniquement dans une sélection de zones d'enquête (chapitre 2). Mais leur principal avantage est que les données ont été recueillies à l'échelle individuelle (à l'exception de l'équipement des ménages), ce qui permet de croiser l'information sur la mobilité quotidienne avec les caractéristiques individuelles des enquêtés (âge, sexe, niveau de revenus, etc.) ou avec des variables sur le ménage, la famille ou le logement. Cela permet d'analyser les pratiques de mobilité des différentes catégories de population avec plus de précisions que dans les enquêtes origine-destination, dont les données ne sont disponibles qu'à un niveau déjà agrégé par secteurs d'enquête. Les entretiens, quant à eux, livrent des informations sur les pratiques spatiales et les pratiques de mobilité quotidienne à différentes échelles, du domicile au quartier et à l'ensemble de la ville. Seuls les entretiens menés à Bogotá et à Santiago ont pu être exploités ici. Cette double approche, quantitative et qualitative, permet d'avancer dans la compréhension des stratégies individuelles et familiales en matière de mobilité quotidienne.

VINCENT GOUËSET ET AL.

267



Plusieurs facteurs entrent en jeu dans la constitution des inégalités de mobilité. La hiérarchie sociale est le plus déterminant : les riches sont plus motorisés que les pauvres, ils ont plus de moyens financiers pour consommer ou se divertir et ils disposent souvent de réseaux sociaux plus étendus. Mais la hiérarchie sociale n'est pas le seul critère. D'autres facteurs d'inégalités interviennent, comme le sexe, l'âge, l'état de santé, le lieu de résidence dans la ville, etc. Chaque facteur peut se combiner avec d'autres, formant ainsi un éventail de situations très diverses, parfois au sein d'un même ménage, ou entre personnes de position sociale équivalente mais n'habitant pas au même endroit dans la ville. L'objectif de ce chapitre est précisément d'étudier les différentes formes d'inégalités dans la mobilité quotidienne à Bogotá, Santiago et São Paulo.

Le chapitre est divisé en trois sections. La première présente la problématique générale de la mobilité quotidienne dans ces trois métropoles et les principales politiques publiques qui y ont été menées pour surmonter la crise des transports. La deuxième est centrée sur la face la plus visible des inégalités de mobilités, c'est-à-dire l'inégal accès aux différents moyens de transport. La troisième explore des formes d'inégalités moins étudiées, comme les inégalités intrafamiliales, « l'immobilité » (c'est-à-dire la limitation, volontaire ou non, du recours à la mobilité), l'effet du lieu de résidence sur les navettes quotidiennes, ainsi que les inégalités observées dans la mobilité « hors navettes » (ou non pendulaire).

Une intensification de la mobilité quotidienne, dans un contexte de crise du transport urbain et de forte intervention publique

Une mobilité quotidienne en augmentation

Les métropoles latino-américaines ont connu sur les dernières décennies une augmentation importante de la mobilité quotidienne, comme le montre le tableau 8-1 où l'on observe une forte croissance des indices de mobilité observés à Bogotá et Santiago, et une stabilisation à un niveau élevé à São Paulo. La hausse du nombre de déplacements ne s'explique seulement par la croissance absolue de la population ; on observe également une croissance relative, avec une augmentation du nombre de voyages quotidiens par personne, et une augmentation de la motorisation des ménages à Bogotá et à Santiago.

L'augmentation de la mobilité quotidienne est liée à différents facteurs (Figuroa, 2013b) : l'expansion urbaine et une offre résidentielle massive dans la périphérie métropolitaine, qui a conduit les habitants de Bogotá, Santiago et São Paulo à déménager toujours plus loin, alors que les emplois restaient massivement concentrés dans les espaces centraux et péri-centraux ; la progression du taux d'activité des femmes ; la progression du taux de scolarisation et de la durée moyenne des études des jeunes ; la croissance du taux de motorisation des



PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

ménages, en lien avec l'augmentation de leurs revenus³ et avec la diminution progressive du coût des véhicules importés; la modernisation du réseau routier et la construction de nouvelles autoroutes urbaines; l'aspiration de nombreux individus à fuir des transports collectifs bondés, etc.

Tableau 8-1 : L'évolution de la mobilité quotidienne dans les trois aires métropolitaines dans les années 2000 selon les enquêtes origine-destination.

	Bogotá		Santiago		São Paulo	
	2005*	2011	1991	2006	1997	2007
Nombre de déplacements par jour de semaine (en millions)	10,2	17,6	6,0	17,9	31,4	38,7
Nombre de déplacements par personne	1,4	2,2	1,8	3,0	1,9	2,0
Taux de motorisation des ménages**	30 %	41 %	34 %	49 %	68 %	63 %
Durée du déplacement au lieu de travail :						
Moyenne	50 mn	–	–	47 mn	–	53 mn
En voiture	41 mn	–	–	32 mn	–	37 mn
En transport collectif	56 mn	–	–	63 mn	–	74 mn

Notes :

* Exclut les voyages à pied inférieurs à 15 minutes

** Nombre de voitures pour 100 ménages.

Source : Enquête de mobilité urbaine de Bogotá, 2005 et enquête de mobilité de Bogotá, 2011; enquête origine et destination des voyages du Grand Santiago, 1991 et enquête de mobilité du Grand Santiago, 2006; Merró-Pesquisa origem e destino, Região Metropolitana de São Paulo, 1997 et 2007.

Tableau 8-2 : L'offre de transport collectif à Bogotá, Santiago et São Paulo en 2009.

	Train suburbain	Métro	Bus Rapid Transit	Bus	Minibus
Bogotá	Non	Non	Transmilenio (2001)	Oui	Oui
Santiago	Oui	Oui	Transantiago (2007)	Offre réduite*	Non
São Paulo	Oui	Oui	Couloirs en site propre	Oui	Non

Note : * Les bus intra-urbains ont été intégrés à l'offre du Transmilenio en 2007. Même si des bus de banlieue et inter-urbains continuent de circuler, leur accès à la ville est restreint.

3. Dans le cas de Santiago, Gibson (2002) a établi que l'amélioration des revenus s'accompagne d'une augmentation du taux de motorisation, qui a augmenté de 65 % entre 1991 et 2001, soit un taux similaire à la croissance du PIB sur la même période (76,5 %).



Un autre facteur qui a contribué à cette croissance réside dans l'augmentation de l'offre de transports publics, tant individuels – les taxis – que collectifs, à travers une large gamme de moyens de transport formels et informels, présentés dans le tableau 8-2.

La crise du transport urbain et les réformes des années 2000

À Bogotá, Santiago et São Paulo, la mobilité quotidienne a traversé, pendant les trois dernières décennies, une forte crise qui a obligé le secteur public à intervenir de manière radicale. Les grandes lignes des politiques publiques appliquées au secteur du transport dans ces trois métropoles ont été présentées dans le chapitre 1. Comme l'ont montré plusieurs auteurs (Thomson, 1993; Montezuma, 2000; Zioni, 2003 et 2004; Figueroa, 2005 et 2013b; Vasconcellos, 2010), le secteur du transport urbain est passé dans les métropoles d'Amérique latine par une série de cycles marqués par la succession de plusieurs modèles de développement économique et d'intervention de l'État dans la régulation des services publics.

Schématiquement, le premier cycle correspond à la période d'industrialisation par substitution aux importations durant les années 1960 et 1970 : il a été marqué par un modèle interventionniste fort, avec de nombreuses entreprises publiques de transport collectif et une régulation publique importante. Ont ainsi été mis en oeuvre des systèmes à grandes capacités comme le métro à Santiago et à São Paulo, en complément des trains de banlieue préexistants. Ce modèle, qui s'est avéré peu productif et très coûteux pour les finances publiques, est entré en crise dans les années 1980. Le secteur des transports a été progressivement libéralisé, à des degrés divers selon les villes, avec une dérégulation totale expérimentée au Chili à partir des années 1980, en passant par le maintien à Bogotá de quelques lignes avec des véhicules vétustes jusque dans les années 1990, et la légalisation à São Paulo d'une partie des bus et minibus pirates (années 1990). Partout s'est développée une offre privée largement informelle (bus, minibus, taxis collectifs et/ou pirates, etc.), en particulier à Bogotá et à São Paulo. L'étape suivante, dans les années 1990 et 2000, a été caractérisée par une crise généralisée des transports urbains, avec une dégradation du service de transport collectif et une engorgement du trafic liée à une croissance du parc automobile en circulation et à une surcapacité de l'offre de transports collectifs (Figueroa, 2005).

Cette crise généralisée a conduit la puissance publique, un peu partout en Amérique latine, à considérer le transport urbain comme une « nouvelle priorité » au début du XXI^e siècle (Paquette, 2011) et à intervenir dans l'offre et la régulation des transports urbains. L'aspect le plus visible et le plus médiatisé de ces réformes durant les années 2000 est sans aucun doute la mise en place de systèmes de BRT, comme le *Transmilenio* à Bogotá en 2001 ou le *Transantiago* dans la capitale chilienne en 2007. Mais la réforme des transports urbains va au delà des BRT et porte sur la mobilité quotidienne dans son ensemble.

Plusieurs politiques ont été développées. L'une d'elles, en continuité avec les périodes antérieures, a eu pour objectif l'amélioration du système de voies



PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

rapides et d'autoroutes urbaines, parfois à péage (surtout à Santiago du Chili), pour fluidifier le trafic. Cette politique, importante pour la modernisation des axes de circulation, a vu ses effets limités par l'explosion du parc de véhicules motorisés. D'autres mesures ont cherché à diminuer le transport automobile, comme le programme « *pico y placa* » à Bogotá⁴, ou à encourager – sans succès jusqu'à présent – l'utilisation du vélo dans la même ville. Des restrictions à la circulation automobile s'observent également dans les deux autres villes, avec des mesures visant à écrêter le trafic aux heures de pointes notamment à São Paulo. Mais la réforme la plus importante, en rupture avec la vague néolibérale de la période antérieure, a été l'intervention du secteur public dans l'offre de transport collectif, à travers les BRT, l'intégration tarifaire au sein des transports en commun (à Santiago et São Paulo) et la modernisation des anciens réseaux de métro et de trains de banlieue (dans ces deux villes également).

Le succès des BRT en Amérique latine s'explique par le compromis favorable entre coût d'investissement et rendement (en capacité et en vitesse) que représente cette infrastructure de transport. Un BRT a une capacité inférieure à celle d'un métro ou d'un train de banlieue, mais supérieure à celle des bus. Le coût de cet investissement, grâce à la modestie relative des infrastructures et à une délégation totale ou partielle du service au secteur privé, reste nettement plus bas que celui d'un métro (Figuerola 2013a : 255). Cela dit et comme l'a montré Paquette (2011), il n'existe pas de modèle unique de BRT, mais des modèles assez diversifiés, depuis l'expérience initiale du *Ligerinho* de Curitiba, suivie par celle du *trolebús* de Quito puis du *Transmilenio* de Bogotá, qui reste aujourd'hui une référence à l'échelle régionale, ou du *Transantiago* de Santiago, qui constitue la tentative la plus radicale de réforme du transport collectif à une échelle métropolitaine. Le *Transantiago* opère en effet de manière monopolistique dans la gestion des bus urbains, et se caractérise par un système d'intégration tarifaire (le paiement électronique d'un trajet autorise des correspondances libres avec le bus ou le métro pendant deux heures). De son côté le *Transmilenio* opère exclusivement sur des sites propres mais ne propose pas d'intégration tarifaire avec les bus privés⁵, lesquels se maintiennent et demeurent indispensables pour couvrir les secteurs de la ville mal desservis par le *Transmilenio*. À São Paulo, les transports se répartissaient traditionnellement entre le métro, les trains métropolitains, les flottes de bus (qui pouvaient être publiques ou concédées au secteur privé) et l'offre informelle. Même si aucun projet de BRT comparable à ceux de Bogotá et Santiago n'a vu le jour à São Paulo, un système de couloirs de bus a été lancé au début des années 2000, avec comme finalité d'interconnecter les lignes principales (« structurantes ») et les lignes secondaires (« locales »), à travers une intégration tarifaire : le paiement d'un « billet unique » (*bilhete único*) autorisant la correspondance entre les deux systèmes (Zioni, 2004). En 2006, le *bilhete único* s'est étendu au métro et aux trains suburbains, mais seulement au sein du

4. Un système de restriction de la circulation des véhicules motorisés, pour limiter l'engorgement du trafic.

5. Bogotá expérimente aujourd'hui un système d'intégration tarifaire, le SITP, mais ce système n'existait pas en 2009.

8

municipe de São Paulo. Ce système présente plusieurs limites : il se cantonne au municiple central, dont il ne couvre même pas tout le territoire, et le prix du trajet a augmenté rapidement, à un rythme de 60 % supérieur à l'inflation au cours de la dernière décennie. Cette situation a provoqué de nombreuses protestations populaires qui ont culminé en 2013, avec un mouvement en faveur de la reconnaissance du transport comme droit social inscrit dans la constitution brésilienne.

La grande question est bien sûr de savoir si ces politiques en matière de mobilité quotidienne ont réussi ou non à améliorer les conditions de transport des citoyens, non seulement pour les classes populaires, qui dépendent des transports collectifs, mais aussi pour les classes moyennes et aisées, qui circulent davantage en voiture. Le système d'enquêtes appliqué en 2009 a inclus de nombreux éléments sur la mobilité et sur les BRT dans les questionnaires et dans les guides d'entretien (encadré 8-1). Nous présenterons d'abord les principaux résultats des enquêtes par questionnaires, en nous concentrant sur la formation des inégalités dans la mobilité quotidienne, avant d'envisager de façon plus qualitative la perception du *Transmilenio* et du *Transantiago* par les habitants de Bogotá et de Santiago.

L'aspect le plus visible des inégalités de mobilité la «hiérarchie modale»

La première forme d'inégalité dans la mobilité des habitants des métropoles latino-américaines est la hiérarchie modale, c'est-à-dire l'inégal accès aux différents modes de transport. Selon les recherches de Diaz, Plat et Pochet (1998 : 103) sur les villes africaines, cette hiérarchie modale est avant tout une hiérarchie sociale, qui favorise les plus riches au détriment des plus pauvres. Dans le cas des métropoles latino-américaines, plusieurs auteurs ont insisté sur la fragmentation croissante, au cours des dernières décennies, entre les moyens de transport utilisés par les différentes catégories sociales (Correa, 2010 ; Figueroa, 2010 ; Lazo, 2008 ; Jouffe, Lazo, 2010 ; Vasconcellos, 2010). Une partie de la population se déplace dans des voitures confortables et relativement vite, alors qu'une autre est contrainte, en raison de ses moyens financiers, à se déplacer à pied, en vélo ou en transport collectif, souvent dans de mauvaises conditions en termes de rapidité, de confort et de sécurité. Le facteur économique, c'est-à-dire le revenu des ménages, est le principal facteur d'explication de la hiérarchie modale, mais ce n'est pas le seul : d'autres facteurs comme l'âge, le sexe, la situation familiale ou la situation professionnelle permettent aussi d'expliquer les inégalités observées.

Les enseignements de la distribution modale dans les enquêtes METAL

Le tableau 8-3 montre l'usage que les personnes enquêtées ont des différents modes de transport au cours de la semaine. Il synthétise l'information sur les deux principales modalités que sont le transport individuel et le transport collectif, mais il considère aussi ceux qui n'utilisent pas ces moyens de transport (lesquels peuvent se déplacer à pied, ou bien ne pas se déplacer). Ceci est pertinent

272



PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

si l'on considère que la mobilité quotidienne réside dans l'opposition entre ceux qui se déplacent avec un moyen de transport, et ceux qui ne le font pas ; cette dernière catégorie pouvant correspondre à une population qui se déplace à pied ou qui ne se déplace pas. Une proportion non négligeable des citoyens enquêtés à Santiago (13 %), Bogotá (24 %) et São Paulo (29 %) est dans cette situation ; nous y reviendrons dans la troisième section.

Tableau 8-3 : Usage hebdomadaire des différents modes de transport selon le niveau de revenus⁶ (Bogotá, Santiago, São Paulo, 2009).

Métropole et niveau de revenus	Ni véhicule particulier ni transport public (%)	Véhicule particulier seul (%)	Transport public seul (%)	Véhicule particulier et transport public (%)	Total (%)
Bogotá (11 zones)					
Bas	35	8	47	10	100
Moyen-bas	29	12	44	15	100
Moyen	16	10	48	26	100
Moyen-haut et haut	9	16	24	51	100
Total	24	11	43	22	100
Santiago (10 zones)					
Bas	22	9	61	8	100
Moyen-bas	12	11	54	23	100
Moyen	11	14	38	37	100
Moyen-haut et haut	4	42	24	30	100
Total	13	17	46	24	100
São Paulo (9 zones)					
Bas	48	9	38	5	100
Moyen-bas	34	14	40	12	100
Moyen	29	29	23	19	100
Moyen-haut et haut	10	48	16	26	100
Total	29	25	30	16	100

Note : * Utilisation au moins une fois par semaine d'un véhicule particulier et au moins deux fois par semaine d'un transport public.

Traitement des données d'enquête : Françoise DUREAU.

Source : Enquête METAL 2009.

La prépondérance des transports collectifs est significative (tableau 8-2) : ils sont utilisés, en usage exclusif, par près du tiers des enquêtés à São Paulo et près de la moitié à Santiago et Bogotá. Si l'on ajoute l'usage combiné du transport public et d'un véhicule particulier, la proportion des enquêtés qui utilisent les transports publics atteint 46 % à São Paulo, 65 % à Bogotá et 70 % à Santiago.

6. Voir la définition des classes de revenus dans le chapitre 2 (figure 2-3).



Cependant, l'enquête METAL reflète aussi une évolution déjà connue (Figuroa, Orellana, 2007 ; Lazo, 2008 ; Cortés, Figuroa, 2013) : l'augmentation de la mobilité avec des moyens de transport individuels (automobile, moto ou bicyclette). En usage exclusif, entre un dixième et un quart des enquêtés les utilisent chaque semaine ; en y ajoutant l'usage combiné (véhicule particulier et transport public), on arrive à 33 % à Bogotá et 41 % à Santiago et São Paulo. Cette importance des transports individuels est peut-être une réponse à la dégradation des transports collectifs et traduit l'aspiration qu'ont nombre de familles de classe moyenne et aisée à posséder une voiture particulière, quand leurs ressources le permettent.

Le revenu apparaît comme un facteur explicatif très important dans la distribution inégale des modes de transport : les plus pauvres sont les plus nombreux à n'utiliser aucun moyen de transport, alors qu'à l'inverse, l'usage de la voiture (exclusif ou combiné) apparaît comme un privilège de la classe supérieure. Nous détaillerons maintenant le cas spécifique de chaque moyen de transport.

Le plus sélectif des moyens de transport : la voiture particulière

La voiture apparaît comme le moyen de transport le plus inégalitaire. Le tableau 8-3 montre qu'elle est presque inconnue des ménages à bas revenu, alors qu'à l'inverse, c'est le moyen dominant pour les classes aisées, en usage exclusif ou combiné. Le tableau 8-4 confirme cette tendance : les ménages qui possèdent une voiture et les individus qui l'utilisent sont minoritaires. L'enquête METAL confirme également que la voiture est plus répandue à São Paulo qu'à Santiago et surtout qu'à Bogotá, ce qui coïncide avec les tendances observées dans les enquêtes de mobilité (tableau 8-1).

Tableau 8-4 : Équipement en voitures des ménages en voitures et usage hebdomadaire d'une voiture selon le niveau de revenus (Bogotá, Santiago, São Paulo, 2009).

Niveau de revenus	Ménages possédant au moins une voiture (%)			Individus utilisant une voiture au moins une fois par semaine (%)		
	Bogotá (11 zones)	Santiago (10 zones)	São Paulo (9 zones)	Bogotá (11 zones)	Santiago (10 zones)	São Paulo (9 zones)
Bas	1	10	8	3	7	11
Moyen-bas	11	23	27	10	24	22
Moyen	30	35	53	26	30	42
Moyen-haut et haut	68	58	80	63	58	73
Total	22	29	42	20	28	36

Traitement des données d'enquête : Françoise DUREAU.
Source : Enquêtes METAL 2009.

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

L'effet du revenu sur la motorisation est très clair : l'automobile est plébiscitée par les classes aisées et reste inaccessible pour les pauvres⁷. Le détail par zones d'enquête révèle également des contrastes très marqués entre zones riches et zones pauvres. Ainsi à Santiago, 99 % des ménages de *Los Trapenses* possèdent une voiture, contre 5 % seulement à *El Volcán*. On observe des contrastes de même intensité à Bogotá (74 % à *Ciudad Salitre* contre 4,5 % à *Bosa*) et à São Paulo (80 % à *Guarulhos* contre 10,5 % à *Bixiga*).

Les entretiens révèlent toutefois que le plébiscite de la voiture dans les classes moyennes et aisées n'est pas exempt de certaines réserves. Plusieurs critiques ressortent : c'est un véhicule cher à l'achat et à l'usage (en essence, en entretien et en péages), sensible aux embouteillages et aux mesures de restriction comme le « *pico y placa* ». L'exemple de José est intéressant : retraité de 65 ans qui vit et travaille dans le secteur aisé de *Nogal* à Bogotá, il apprécie le fait de pouvoir se déplacer à pied sans dépendre de la voiture (« je n'utilise pratiquement pas la voiture, seulement les week-ends. Je n'en ressens pas l'obligation, contrairement à d'autres personnes qui dépendent vraiment de la voiture pour des tas de choses, pour aller au travail ou dans le cadre même de leur travail. Pour moi, ce n'est pas handicapant »). Il valorise la possibilité qu'il a de se passer de la voiture comme un élément de qualité de vie et un luxe dans une ville aussi encombrée que Bogotá. Dans d'autres cas (*Zoraida*, 30 ans, femme au foyer, *Calle 80*), il existe des familles où la voiture est à l'usage exclusif du père en semaine, alors que le reste de la famille l'utilise le week-end seulement (« quand nous sortons en famille les week-ends, c'est mieux en voiture, parce que les enfants sont installés confortablement. Quand je sors pour faire un tour, je le fais en transport collectif, car la voiture n'est pas disponible, elle est pour le travail de [mon mari] »).

L'usage limité des véhicules à deux roues

Par rapport à la voiture, les autres moyens de transport individuels – bicyclette et moto – comptent peu dans la mobilité quotidienne des personnes enquêtées (tableau 8-5).

Dans de nombreuses villes d'Amérique latine, l'usage de la moto a pris de l'importance récemment, comme en Colombie où les immatriculations de motos neuves ont décollé à partir du début des années 2000 et depuis lors le parc de motos croît plus rapidement que le parc de voitures (Montezuma, 2010 : 75-76). Vasconcellos (2013) a montré qu'on observait la même tendance à São Paulo. Pourtant dans les zones enquêtées la moto ressort comme un moyen de transport encore très peu utilisé, en dehors d'une minorité d'hommes des classes de revenus bas et moyens.

7. Dans le cas de Bogotá, les entretiens approfondis ont montré que dans les classes populaires l'achat d'un logement est le plus souvent privilégié sur l'acquisition d'une voiture.



Tableau 8-5 : Usage des véhicules à deux roues au sein des ménages, selon le niveau de revenus et le sexe (Bogotá, Santiago et São Paulo, 2009).

Niveau de revenus et sexe	Usage du vélo au moins une fois par semaine (%)			Usage de la moto au moins une fois par semaine (%)		
	Bogotá (11 zones)	Santiago (10 zones)	São Paulo (9 zones)	Bogotá (11 zones)	Santiago (10 zones)	São Paulo (9 zones)
Bas	13	10	3	2	1	1
Moyen-bas	14	9	4	4	2	2
Moyen	11	20	4	2	0	4
Moyen-haut et haut	5	8	3	2	2	1
Hommes	19	12	6	5	1	3
Femmes	6	11	2	2	1	1
Total	12	12	4	3	1	2

Traitement des données d'enquête : Françoise DUREAU.
Source : Enquêtes METAL 2009.

Le vélo reste un mode de transport peu utilisé au quotidien, même si une grande partie des ménages en possède au moins un : seul un dixième des personnes enquêtées l'utilise au moins une fois par semaine. C'est un mode de transport presque inconnu dans les classes aisées et il est surtout utilisé par les hommes des ménages aux revenus bas ou moyens (sauf à Santiago où ce sont les classes moyennes qui l'utilisent le plus). Il est utilisé plutôt dans les quartiers ouvriers et dans les périphéries, comme à *Madrid* (Bogotá), *Colina tradicional* et *Quilicura* (Santiago) et *Bixiga* et *Suzano* (São Paulo). Le vélo continue de souffrir de l'image d'un mode de transport de pauvres, dangereux et difficile à utiliser sur de longues distances. À Bogotá des campagnes ont été menées pour promouvoir l'usage du vélo et un grand nombre de pistes cyclables ont été construites (Montezuma, 2011), mais cela n'a pas suffi à convaincre les habitants d'adopter ce mode de transport. Il faut toutefois signaler que dans les localités populaires et planes de l'ouest de la ville, comme Bosa, la construction des pistes cyclables a permis de stimuler un peu l'utilisation du vélo, y compris les cyclotaxis informels.

La suprématie des transports publics

Comme on l'a vu au début de cette deuxième section, les transports publics restent le moyen de transport le plus emprunté dans les trois villes de notre étude, malgré la progression de la voiture. Le tableau 8-3 a également montré que l'usage des transports publics est moins marqué socialement que celui de la voiture ou du vélo. Aucune classe de revenus ne l'ignore totalement, même si la classe supérieure l'utilise moins que les classes moyennes et basses.

Cependant, l'éventail des transports publics est vaste et il n'offre pas à tous les usagers la même qualité de services, ni les mêmes tarifs. En effet cette catégorie



PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

inclut les taxis, qui sont une alternative relativement confortable pour les classes moyennes et aisées⁸, et même parmi les « transports publics collectifs », il existe une offre très diversifiée⁹.

Dans l'enquête METAL, les transports publics apparaissent comme le mode de transport principal pour les mobilités obligatoires (les navettes quotidiennes vers le lieu de travail ou l'école les jours de semaine), tandis que pour les mobilités « hors navettes », ils ne représentent que 9 % des déplacements à Bogotá, 10 % à São Paulo et 17 % à Santiago¹⁰. Le tableau 8-6 montre que la moitié des navettes au lieu de travail à Santiago et São Paulo et les deux tiers à Bogotá s'effectuent en transport public ou d'entreprise.

Tableau 8-6 : Distribution modale des déplacements quotidiens au lieu de travail selon le niveau de revenus (Bogotá, Santiago, São Paulo, 2009).

	À pied (%)	Moto, vélo (%)	Voiture (%)	Transport d'entreprise (%)	Transport public* (%)	Autre système (%)	Total (%)
Bogotá (11 zones)							
Bas	22	16	1	2	56	3	100
Moyen-bas	12	17	3	2	63	3	100
Moyen	14	5	5	3	70	3	100
Moyen-haut et haut	5	3	33	1	46	12	100
Total	13	11	8	2	61	5	100
Santiago (10 zones)							
Bas	28	10	5	1	46	10	100
Moyen-bas	26	3	11	1	50	9	100
Moyen	16	1	18	2	58	5	100
Moyen-haut et haut	9	7	42	1	36	5	100
Total	19	5	18	2	49	7	100
São Paulo (9 zones)							
Bas	47	0	7	1	45	0	100
Moyen-bas	34	6	8	0	52	0	100
Moyen	30	6	19	0	44	1	100
Moyen-haut et haut	16	1	43	2	38	0	100
Total	30	4	20	1	45	0	100

Note : * Inclus le transport public en combinaison avec un autre système.

Population de référence : personnes de 12 ans ou plus.

Traitement des données d'enquête : Françoise DUREAU.

Source : Enquêtes METAL 2009.

8. Surtout à Bogotá, où l'offre est abondante et les tarifs relativement bas. Mais même ainsi, les taxis ne représentent que 4 % de déplacements en semaine, selon l'Enquête de Mobilité de Bogotá de 2011.

9. « Transport public » et « transport collectif » ne sont pas synonymes. Les taxis sont des transports publics individuels, tandis que les services de ramassage scolaire et les transports d'entreprise sont des transports collectifs privés. Les bus ordinaires, les BRT, les métros et les trains suburbains sont à la fois collectifs et publics.

10. Pour ce type de mobilité, les citadins enquêtés préfèrent se déplacer à pied dans 56 % des cas à Santiago, 68 % à São Paulo et 81 % à Bogotá.



Le tableau 8-6 montre en outre que l'effet de la hiérarchie modale est amplifié pour les navettes domicile-travail : les pauvres vont au travail à pied ou en bicyclette (à São Paulo la moitié des actifs de la classe à bas revenu vont au travail à pied), tandis que les riches y vont en voiture ou en transport public.

Le transport public est dominant pour les navettes domicile-travail dans toutes les classes de revenus, sauf chez les classes aisées de Santiago et São Paulo, qui utilisent davantage la voiture. C'est d'ailleurs dans les zones d'enquête les plus aisées (*Chicureo* à Santiago, *Guarulhos* à São Paulo) qu'on trouve les taux les plus faibles (9 et 26 % respectivement). De même, l'usage des transports publics baisse un peu dans la classe des bas revenus à São Paulo (qui se déplace davantage à pied) et dans certaines zones d'enquête à la fois pauvres et périphériques (22 % à *Madrid*, en périphérie de Bogotá). En dehors de ces deux cas extrêmes, les transports publics constituent le seul moyen de transport interclassiste, emprunté par tout le monde, avec une légère surreprésentation de la classe moyenne.

À côté du revenu, on note également un effet de genre, qui n'est pas reporté dans le tableau. Ainsi à Bogotá les femmes utilisent plus le transport public que les hommes pour se rendre au travail (respectivement 73 % et 52 %), alors que les hommes utilisent plus les véhicules particuliers que les femmes (la proportion est de 18 %, contre 2 % pour les véhicules à deux roues, et 11 % contre 5 % pour les voitures). Cette division sexuée des modes de transport est un élément bien connu dans la littérature scientifique : Diaz Olvera et Plat (1997) parlent d'une logique de « confiscation » de la voiture par les hommes au sein des ménages. Pour la marche à pied au contraire, il n'y a pas de différence notable : elle représente 12 % des déplacements au lieu de travail pour les hommes et 14 % pour les femmes.

Tableau 8-7 : Distribution modale des déplacements quotidiens au lieu d'étude (Bogotá, Santiago, São Paulo, 2009).

	À pied (%)	Moto, vélo (%)	Voiture (%)	Transport d'entreprise (%)	Transport public*	Autre système (%)	Total (%)
Bogotá (11 zones)	58	4	3	8	26	1	100
Santiago (10 zones)	32	3	12	6	39	8	100
São Paulo (9 zones)	61	1	10	10	18	0	100

Population de référence : personnes de 5 ans ou plus.

Note : * Incluant le transport public en combinaison avec un autre système.

Traitement des données d'enquête : Françoise DUREAU.

Source : Enquêtes METAL 2009.

Les navettes au lieu d'étude, qui concernent essentiellement les jeunes scolarisés dans un établissement primaire, secondaire ou supérieur, offrent un panorama

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

sensiblement différent (tableau 8-7). Le poids des transports publics ou collectifs y est relativement faible dans les zones enquêtées. Ils ne représentent que 28 % des déplacements à São Paulo (transport scolaire inclus), 34 % à Bogotá et 45 % à Santiago. L'explication est simple. Les enfants de primaire et du secondaire fréquentent souvent des établissements proches de leur domicile et font le trajet à pied (c'est très fréquent à Bogotá et São Paulo ; un peu moins à Santiago). Seuls les étudiants du supérieur utilisent le transport public, pour se rendre dans les universités qui sont beaucoup moins nombreuses que les écoles primaires et secondaires et davantage concentrées dans la ville. Ainsi à Bogotá, les trajets à pied représentent respectivement 75 % et 71 % des déplacements en primaire et en secondaire, mais seulement 12 % dans le supérieur. Le transport public ou collectif ne représente à l'inverse que 15 % des déplacements en primaire et 22 % en secondaire, contre 78 % pour le supérieur.

Usages et perceptions des BRT à Bogotá et à Santiago

Une question importante est de savoir dans quelle mesure la modernisation de l'offre de transports publics a réellement changé la vie des citoyens. L'impact du *Transmilenio* (inauguré en 2001) et du *Transantiago* (inauguré en 2007) sur la vie quotidienne des habitants de Bogotá et de Santiago est une question très sensible. Les habitants de ces deux villes se sont-ils appropriés ces nouveaux modes de transport ? Les BRT ont-ils amélioré les conditions de vie des habitants ? Ont-ils une bonne ou mauvaise image auprès des usagers ?

Le poids des BRT dans la mobilité quotidienne

Une première interrogation tourne autour de l'impact quantitatif des BRT dans la mobilité quotidienne. Leur part exacte dans la distribution modale est difficile à établir avec précision, car le questionnaire METAL ne distingue pas toujours les BRT au sein des transports publics. C'est à Bogotá que l'information est la plus complète. Cette ville est intéressante car elle ne dispose ni d'un métro, ni de trains suburbains mais à la différence de Santiago, le *Transmilenio* ne dessert pas tout l'espace urbain : il est donc en concurrence avec les bus traditionnels. Selon l'enquête METAL, sur les 11 zones d'enquête de Bogotá, le *Transmilenio* ne représentait que 10 % des déplacements des jeunes vers leur lieu d'étude et 18 % des déplacements des actifs vers leur lieu de travail, ce qui est un relativement important pour un mode de transport qui n'a que quelques années d'existence. Ce taux est cohérent avec les résultats de l'Enquête de Mobilité de 2011, selon laquelle 9 % des déplacements quotidiens réalisés en semaine (tous motifs cumulés) étaient réalisés en *Transmilenio* ; un taux qui monte à 18 % si l'on ne considère que les transports motorisés.

Ces taux moyens recouvrent en réalité des situations très variées, selon le lieu de résidence des individus et leur profil socio-démographique. Ainsi, à Bogotá l'enquête METAL révèle un usage du *Transmilenio* qui est dérisoire pour les



élèves du primaire et secondaire mais qui atteint 36 % parmi les étudiants du supérieur. De plus en 2009 seule la phase 1 et une partie de la phase 2 du *Transmilenio* étaient en activité; son usage était donc nul ou faible dans les zones d'enquête éloignées du réseau (comme *Normandía* ou *La Candelaria*) mais nettement plus élevé dans les zones qui en étaient proches. L'impact le plus important s'observe dans la zone de la *Calle 80*, un quartier périphérique qui était très difficilement accessible dans les années 1990 et qui a été désenclavé par l'inauguration du *Transmilenio* en 2001 (Dureau *et al.*, 2013). Dans l'enquête de 2009, le *Transmilenio* y représentait 61 % des trajets des jeunes vers leur lieu d'étude et 41 % des trajets des actifs vers leur lieu de travail.

À Santiago en revanche la question ne se pose dans les mêmes termes. Instauré comme un système global qui couvre toute la ville, le *Transantiago* est censé assurer tous les déplacements en bus à l'intérieur de la ville. Cependant toutes les observations récentes sur cette ville tendent à montrer que la fréquentation des bus a fortement baissé, au profit du métro ou simplement de l'immobilité, en particulier dans les zones périphériques de la ville, où la couverture et la fréquence des déplacements a diminué, et où s'est opéré un déplacement forcé vers d'autres modes de transport que le bus; un fait qui transparait dans l'enquête et dans les entretiens.

L'image ambiguë des BRT dans l'opinion des usagers

Un autre sujet qui a souvent été abordé dans les entretiens est l'opinion des usagers sur les transports publics et sur les BRT. De nombreuses plaintes ressortent et elles portent sur différents sujets. La saturation du transport est peut être le motif de mécontentement le plus vif et il vaut pour tous les moyens de transport : bus et minibus, métro et trains suburbains, *Transantiago* et *Transmilenio*. Ainsi l'exprime Elizabeth (54 ans, *Bosa*) : « Moi, j'utilise surtout le *Transmilenio* [mais] franchement, je le déteste... Le problème est qu'il arrive toujours plein, alors qu'on est bien fatigué, et on [reste] là debout... »; ou Andrés (44 ans, *Chía*) : « Le *Transmilenio* est une horreur, dans le sens où on voit les gens se serrer les uns contre les uns, pour monter et pour descendre. » L'inconfort est pire encore pour les personnes âgées (de nombreux témoignages vont dans ce sens à Santiago), pour les enfants (comme en témoigne Sandra, professeur à *Brasil-Yungay*, en parlant des trajets de sa fille à l'école : « Elle devait se déplacer tous les jours et pour elle c'était un supplice, elle s'évanouissait et tout... ») ou pour les personnes handicapées, comme David, 48 ans, qui vit à *Colina tradicional* et qui n'utilise presque pas le *Transantiago*, au motif que « pour moi, c'est compliqué, les minibus par exemple passent tous déjà bondés ».

Les personnes interrogées expriment beaucoup d'agacement sur la lenteur générale du service et sur les retards fréquents, surtout à Santiago. Ainsi parle Celia, 49 ans, de *Colina tradicional* : « Moi, je n'aime pas [le *Transantiago*] parce qu'il est lent, super lent, à chaque fois que je l'ai pris; je préfère le métro, parce qu'avec le *Transantiago*, je n'arrive jamais à l'heure. » La complexité du nouveau



PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

système, sa mauvaise connectivité, avec des stations éloignées, des correspondances imposées et une couverture insuffisante des quartiers éloignés des grands axes du *Transantiago* constituent d'autres motifs de doléance. Ainsi le dit Sonia, 34 ans, de *Huechuraba* : « Tu dois prendre des correspondances, c'est une perte de temps, être obligée de changer d'un bus à un autre, c'est ça qui est pénible avec le *Transantiago*. »

Le tarif des BRT fait également l'objet d'un mécontentement général, à Bogotá comme à Santiago, car il est plus élevé que celui des bus traditionnels, et dans le cas de Santiago, il n'y a pas la possibilité de recourir à une offre de bus alternative. En conséquence la nostalgie de l'ancien système est exprimée sans cesse dans cette ville. Inversement, un motif de plainte qui était attendu mais qui n'est pas beaucoup ressorti dans les entretiens est l'insécurité dans les stations ou à bord des véhicules : il est très peu mentionné et en tout cas beaucoup moins que la pénibilité générale du système ou son coût élevé.

En dépit de ce mécontentement généralisé, certaines personnes interrogées se montrent résignées, comme Teresa (femme au foyer, 43 ans, *El Volcán*, Santiago) : « C'est le prix à payer pour les changements... C'est notre seul moyen de transport et nous devons l'utiliser. » Beaucoup adoptent des stratégies pour minimiser les inconvénients du système, comme d'éviter les heures de pointe (de nombreux témoignages vont dans ce sens à *Bosa*, *Soacha* ou *Calle 80* à Bogotá), ou d'ajuster à chaque voyage la meilleure option entre le *Transmilenio* et les bus traditionnels, en fonction de l'heure et du parcours à accomplir.

De même, il faut relativiser un peu les plaintes exprimées contre les BRT. D'abord parce que ces plaintes portent aussi sur les moyens de transport traditionnels, comme les bus à Bogotá ou le métro à Santiago. Ainsi à Bogotá, plusieurs personnes signalent que les bus sont eux aussi congestionnés aux heures de pointe, et qu'ils sont plus vulnérables aux embouteillages que le *Transmilenio*, puisqu'ils ne roulent pas en site propre. À Santiago, certains se plaignent aussi du métro, comme María (49 ans, mère au foyer, *Lira-Almagro*) qui en a peur et préfère marcher, profitant du fait qu'elle vit dans le centre. Ensuite, parce que les entretiens reflètent une grande différence entre les deux systèmes, le *Transmilenio* et le *Transantiago*. À Santiago, les critiques sont unanimes et très peu de témoignages sont favorables au nouveau système. À Bogotá au contraire, les témoignages favorables au *Transmilenio* sont fréquents et compensent en partie les opinions négatives. Beaucoup se rappellent encore des difficultés du système antérieur et évoquent le progrès qu'a représenté pour eux la mise en place du nouveau système. Ainsi l'exprime Valerio (52 ans, *Calle 80*, Bogotá) :

« [Avant] c'était chaotique, parce qu'il y avait le sempiternel embouteillage de la Calle 80, même Mandrake n'aurait pas pu passer, et comme si c'était pas suffisant, ils ont commencé la construction du *Transmilenio* et là c'était pire, parce qu'ils ont commencé à fermer et à ouvrir toutes les rues, c'était terrible. Avec le *Transmilenio*, ça s'est amélioré. Malgré les embouteillages qui existent toujours, ça c'est fortement amélioré, disons que ça a diminué au moins de 30, 40 % les embouteillages et ça c'est du temps que l'on a gagné. »

VINCENT GOUËSET ET AL.

281



Beaucoup de personnes interrogées disent que le *Transmilenio* a réduit leur temps de transport, et que sa rapidité compense la surcharge des véhicules. En réalité le *Transmilenio* est apprécié surtout dans les périphéries bien connectées au système, là où son impact a été plus fort. C'est le cas de *Calle 80*, de *Bosa* ou même de *Chía*, qui est bien relié au Portal del Norte par des bus inter-municipaux. Ainsi l'illustrent deux témoignages à *Chía* : Mónica, 47 ans (« moi j'adore le *Transmilenio*, l'une des choses qui m'a beaucoup aidé, je le trouve fabuleux ») et Hilda, 70 ans (« je suis très contente avec le *Transmilenio*... Je l'aime beaucoup parce qu'il est rapide »).

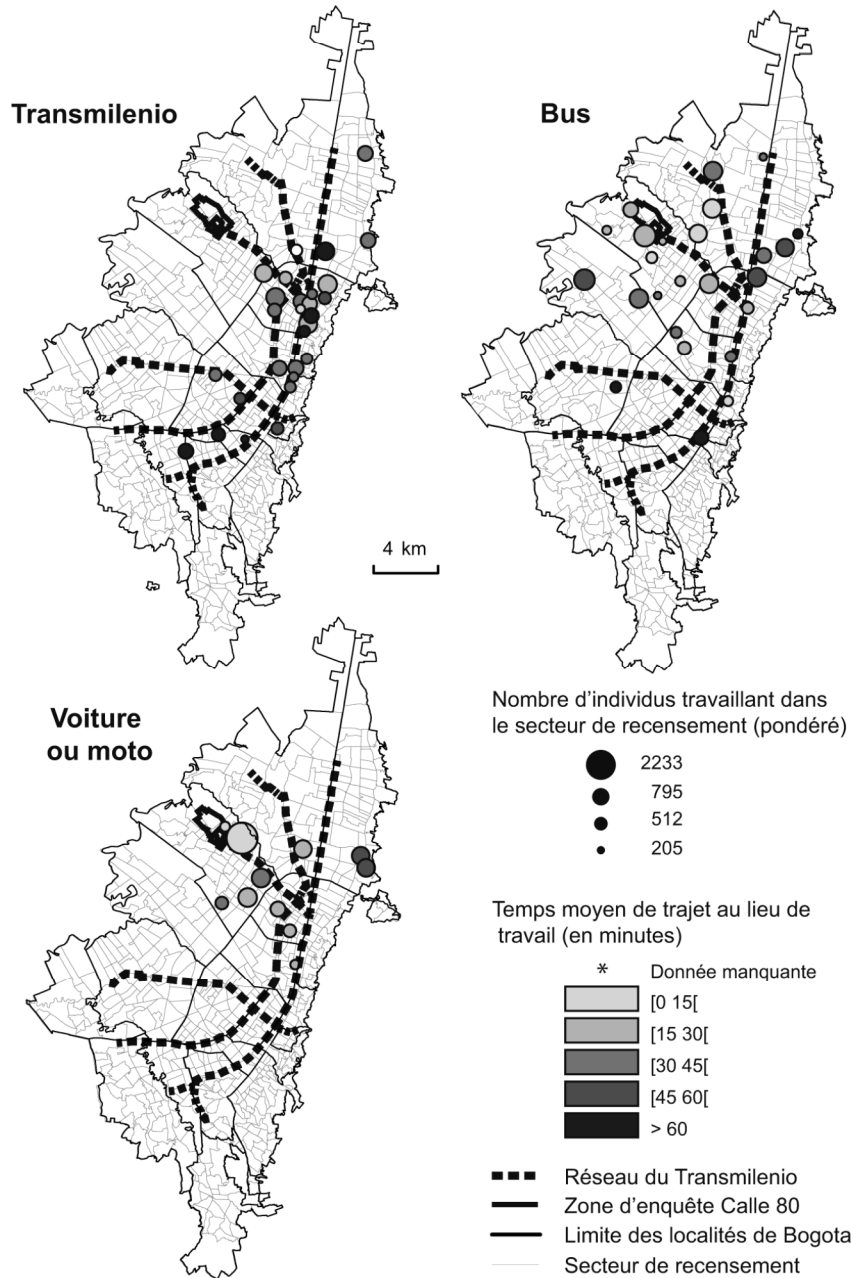
L'impact matériel des BRT dans la vie quotidienne des citadins

Une autre question importante est de savoir quel a été l'effet matériel des BRT dans la vie quotidienne des usagers et jusqu'à quel point ils ont pu améliorer leurs conditions de mobilité. À Santiago, les témoignages contre le *Transantiago* sont plus fréquents chez les usagers des zones périphériques et populaires, comme *El Volcán* ou *Colina tradicional*, alors que le problème est moins souvent mentionné dans les autres zones d'enquête. Les témoignages concernant le *Transantiago* tendent à indiquer qu'il a dégradé les conditions de déplacement : il a interrompu les habitudes des gens, c'est un système lent et complexe, à faible connectivité, avec un nombre insuffisant d'arrêts. Beaucoup disent que leurs temps de trajet ont augmenté et de nombreuses personnes, surtout dans le centre, ont préféré se tourner vers d'autres moyens de transport, comme la marche à pied, le métro ou la voiture. Cependant, et malgré cette apparente unanimité, il est difficile de tirer des conclusions définitives, d'abord parce que les enquêtes METAL, qui ont été réalisées en 2009, ne permettent pas de faire des comparaisons avec la situation antérieure et ensuite parce qu'au moment de l'enquête, le changement de système était encore récent ; beaucoup d'habitants n'avaient pas encore réussi à s'habituer au changement. Il est possible – mais non certain – qu'avec le temps et les améliorations du système, l'opinion publique évolue positivement.

À Bogotá, l'impact du *Transmilenio* paraît très variable selon les individus et leur lieu de résidence. Il n'a pas changé grand chose pour les personnes qui n'utilisaient pas les transports publics, pour celles qui vivaient dans le centre ou loin des couloirs du *Transmilenio* (à *Ciudad Salitre* ou à *Normandía* par exemple), ou pour celles devant se rendre à des endroits non desservis par ce dernier. Au contraire et comme cela a pu être montré dans une étude récente (Dureau *et al.*, 2013), pour les usagers du transport public qui vivent à proximité du réseau et dont les lieux de travail ou d'étude sont desservis par lui, les gains de temps ont été significatifs, surtout aux heures de pointe. La figure 8-1 en témoigne : dans la zone d'enquête *Calle 80*, située à l'extrême de l'une des principales lignes de *Transmilenio*, ce mode de transport est très utilisé et il constitue le moyen de transport le plus rapide pour rallier tous les points situés à proximité des différentes lignes, tandis que le bus et les voitures sont utilisés surtout pour des destinations éloignées de ces mêmes lignes.

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

Figure 8-1 : Destination et temps de transport du domicile au lieu de travail à partir de la zone d'enquête Calle 80 selon le mode de transport (Bogotá, 2009).



Source : enquête METAL, 2009
 Base cartographique SIG : Tania Serrano, Florent Demoraes, Andrea Salas
 Traitement des données : Guillaume Le Roux

G. Le Roux, 2014.

VINCENT GOUËSET ET AL.



La diversité des formes d'inégalités dans la mobilité quotidienne

Les pratiques de mobilité quotidienne dans les métropoles d'Amérique latine sont en mutation permanente, en lien avec l'évolution de la configuration matérielle de la ville, mais aussi les changements dans les modèles démographiques et familiaux et dans les modes de vie. Ces différents facteurs se combinent entre eux et contribuent à complexifier les pratiques de mobilité et les formes d'inégalités qui les accompagnent. L'effet de la hiérarchie sociale reste fort, comme on l'a vu dans la section précédente avec les moyens de transport, mais il ne suffit pas pour expliquer l'ensemble des inégalités observées. L'objectif de cette section est d'étudier différentes facettes de ces inégalités, dont certaines, rarement explorées, peuvent l'être ici grâce aux enquêtes METAL.

Une première question concerne les inégalités dans la mobilité « hors navettes » (notamment les déplacements liés à la consommation, aux loisirs ou aux pratiques de socialisation des individus), qui a été très peu étudiée sous cet angle. Une autre interrogation porte sur les inégalités à l'intérieur du ménage. Comment les caractéristiques du ménage influent-elles sur la mobilité quotidienne de chacun des membres du ménage? Comment se définissent les priorités et les arbitrages à l'intérieur du ménage? Qui utilise la voiture quand il y en a une et comment se déplacent les autres? Une exploitation des données de l'enquête par questionnaires permet d'apporter quelques éléments de réponse. Une troisième question est celle de l'« immobilité », c'est-à-dire le cas des personnes qui sortent peu de leur domicile, par obligation ou par choix. Quelle est la signification de cette immobilité? Dans quelle mesure l'immobilité constitue-t-elle ou non une forme d'inégalité? Pour terminer, nous nous pencherons sur l'« effet du lieu de résidence », c'est-à-dire l'impact de la localisation résidentielle sur les pratiques de mobilité quotidienne. À classe sociale équivalente, quelles différences observe-t-on dans la mobilité quotidienne selon que l'on habite dans le centre, en proche périphérie ou dans la périphérie éloignée?

Les inégalités observées dans la mobilité « hors navettes »

Comme cela a été signalé dans la première section, l'accroissement de la mobilité quotidienne dans les métropoles latino-américaines porte autant sur les déplacements « hors navettes » que sur les mobilités pendulaires, liées au travail ou aux études. La mobilité « hors navettes » se caractérise elle aussi par des inégalités qui renvoient en grande partie au mode de vie et aux habitudes des citadins, en matière de consommation, de santé, de loisirs, de sorties culturelles ou religieuses et de pratiques de socialisation avec la famille et les amis.

L'enquête par questionnaires comprend un module spécifique sur la mobilité « hors navettes » (encadré 8-1), dont les résultats les plus significatifs sont rassemblés dans le tableau 8-8.

Le nombre moyen de sorties hebdomadaires est plus élevé parmi les individus enquêtés à Bogotá (13) que parmi ceux enquêtés dans les deux autres villes (7),

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

mais il est probable que cette différence s'explique surtout par des différences dans la passation des enquêtes et qu'elle soit peu significative. L'intérêt de la comparaison porte ici surtout sur les différentes variables explicatives. Concernant les motifs de déplacement, le tableau 8-8 montre ainsi que les achats, et en particulier les achats alimentaires, représentent environ la moitié des sorties. Le reste se répartit, par ordre d'importance, entre les relations sociales, les sorties récréatives et culturelles¹¹ et les démarches administratives. On n'observe pas de différences très marquées entre villes dans le poids relatif des différents motifs de sortie, même si à São Paulo la pratique religieuse paraît avoir plus de poids.

L'enquête révèle un effet de genre peu marqué, avec une mobilité masculine un peu plus élevée à Bogotá et São Paulo, et une tendance inverse à Santiago. La mobilité « hors navettes » tend à baisser avec l'âge à Bogotá et São Paulo, ce qui paraît logique, alors qu'à Santiago, cette tendance n'est pas perceptible dans l'échantillon observé. Les entretiens approfondis réalisés à Bogotá paraissent confirmer la plus grande mobilité « hors navettes » des jeunes et montrent par ailleurs qu'à chaque âge correspondent des sorties spécifiques. Ainsi les jeunes vont beaucoup voir leurs amis, ils se promènent dans les centres commerciaux, ils se rendent au cinéma ou au théâtre et sortent danser dans des discothèques (des pratiques relatées par Jessica et Pablo, étudiants interrogés dans la zone *Calle 80*), tandis que les personnes âgées préfèrent les visites à la famille et les sorties au restaurant. Cette mobilité différenciée tend à amener les jeunes à se déplacer plus loin du domicile que les personnes âgées.

L'effet statistique le plus marqué dans le tableau 8-8 renvoie à la hiérarchie sociale, avec une mobilité maximale pour les classes à hauts revenus. C'est une tendance attendue, parce que les riches ont plus d'argent à dépenser, plus de facilité à se déplacer dans la ville (possession d'une voiture, possibilité de prendre le taxi), et probablement des réseaux sociaux plus étendus, même si les entretiens apportent peu d'éléments pour soutenir cette dernière hypothèse.

Les entretiens approfondis apportent quelques éléments complémentaires sur la configuration des inégalités dans la mobilité « hors navettes ». À Bogotá par exemple, les personnes aisées sortent et consomment beaucoup et ont une plus grande liberté dans les lieux de consommation. Ainsi, José, 65 ans, à la retraite et qui vit dans le secteur de haut standing de *El Nogal*, sort aussi bien dans son quartier (pour ses achats alimentaires) que dans le reste de la ville (pour aller au théâtre ou au cinéma par exemple), et se déplace avec facilité dans sa voiture particulière ou en taxi. Un cas similaire est celui de Paola, 62 ans, artiste qui habite *El Nogal* et fréquente aussi bien l'échoppe au coin de sa rue que les supermarchés de bon standing (« je trouve ça merveilleux d'aller à Surtifruver sur la Ochenta, c'est comme une réconciliation avec le pays, quand tu vois la variété des fruits »). Elle apprécie aussi d'aller de temps en temps dans les marchés populaires du sud et elle profite également de la maison de campagne que son mari possède en dehors de Bogotá, pour acheter des produits frais sur place.

11. Les sorties au restaurant, dans un bar ou en discothèque étant un motif mixte (récréation et socialisation). Malheureusement, il n'a pas été distingué de motif « santé » dans le questionnaire.

MOBILITÉS ET CHANGEMENT URBAIN

Tableau 8-8 : Nombre moyen de déplacements « hors navettes » au cours de la semaine selon le motif, le sexe, la classe d'âge et la classe de revenus (Bogotá, Santiago, São Paulo, 2009).

	Bogotá (11 zones)	Santiago (10 zones)	São Paulo (9 zones)
Motif :			
Démarche administrative	0,8	1,2	0,8
Achat d'aliments	7,0	3,6	2,4
Autres achats	0,2	0,2	0,2
Restaurants, bars, discothèques	1,2	0,5	0,4
Activité culturelle	0,2	0,1	0,1
Pratique sportive	1,0	0,3	0,5
Pratique religieuse	0,8	0,4	0,9
Visite à des amis	0,6	0,6	0,5
Visite à la famille	0,9	0,5	0,9
Autre motif	0,3	0,1	0,0
Sexe :			
Hommes	14	7	7
Femmes	12	8	6
Classe d'âge :			
18-29 ans	14	7	8
30-39 ans	13	8	6
40-59 ans	12	8	7
60 ans ou plus	11	7	6
Niveau de revenus :			
Bas	11	6	7
Moyen-bas	13	6	6
Moyen	14	7	7
Moyen-haut et haut	14	11	8
Total	13	7	7

Traitement des données d'enquête : Françoise DUREAU.

Source : Enquêtes METAL 2009.

À l'inverse, les personnes aux revenus plus modestes tendent à limiter leurs achats et à les réaliser à proximité du domicile. Ils privilégient les ressources du quartier (l'échoppe, la place du marché), même s'ils profitent aussi de temps en temps et pour des achats spécifiques (vêtements, électroménager, etc.) des centres commerciaux populaires plus éloignés, comme les magasins de vente d'usine de Puente Aranda (exemple cité par Clara, 19 ans, *Soacha*), les « *Sanandresitos* » du centre-ouest (cités par Fabiola, 66 ans, *Soacha*), le quartier Gustavo Restrepo au sud de la ville (également cité par Fabiola) ou la zone commerciale de San Victorino au centre (citée par plusieurs personnes à *Soacha* et *Madrid*). Un autre élément qui a surgi parmi les personnes de classe populaire à Bogotá est une fréquentation moins assidue des centres commerciaux modernes, et un usage

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

des *malls* davantage tournés vers la flânerie, le « lèche-vitrine » et les promenades entre amis que la consommation. Ainsi le raconte Johny, 32 ans, de *Madrid* (« [j'aime] Gran Estación, pour les terrasses, j'aime les endroits avec des espaces ouverts, et aussi parce qu'on y trouve de tout... On peut sortir et prendre un café ou un repas ou ce que l'on veut, à l'air libre, je trouve ça super ») ; ou María Helena, 50 ans, de *Soacha* (« moi j'aime aller voir toutes ces jolies choses. Je connais Metrópolis, je connais l'Éxito de la 68, j'aime aller aux Carrefours... Ah, oui, très joli le Carrefour d'à côté ! »).

Pour finir, un dernier aspect des mobilités « hors navettes » qui ressort dans certains entretiens est le problème de l'insécurité, qui limite les sorties nocturnes dans les zones centrales (comme *Brasil-Yungay* à Santiago) ou dans les périphéries populaires, comme en témoigne Leonardo (48 ans, *El Volcán*), qui évite de sortir de chez lui après neuf heures du soir, ou Vanessa (25 ans, *Soacha*) qui confesse que « passé dix heures du soir je suis paniquée à l'idée de sortir, pour sûr je ne sors jamais la nuit ». Les déplacements en dehors des heures ouvrables sont perçus comme risqués, en particulier dans les secteurs réputés dangereux, ce qui pénalise plus particulièrement les habitants de ces quartiers, qui en général ne disposent pas de voiture pour se déplacer. C'est ainsi que bien souvent les femmes et les enfants qui rentrent à la maison le soir sont attendus aux arrêts de bus par des membres de la famille, afin de s'assurer qu'ils ne seront pas victimes d'une agression sur leur trajet retour jusqu'à la maison.

Au final, on constate que les données quantitatives autant que les données qualitatives montrent que les inégalités observées dans la mobilité « hors navettes » sont principalement d'ordre socio-économique. Il serait intéressant d'approfondir ce thème pour voir quel est l'effet du genre, de l'âge ou de la localisation résidentielle, mais les données dont nous disposons ne permettent pas de l'étudier avec précision.

Les arbitrages au sein des ménages

Les inégalités modales qui ont été présentées dans la deuxième section reposent surtout sur des observations qui ont été faites à l'échelle des individus, mais elles ne disent rien sur ce qui se passe à l'intérieur des ménages. Comment fonctionne la mobilité quotidienne de chaque membre d'un même ménage ? Quels sont les arbitrages qui sont opérés en faveur de la mobilité des uns et des autres ? Qui voyage en voiture et qui se déplace à pied ou en bus ? Dans quelle mesure le choix résidentiel du ménage favorise ou défavorise les navettes quotidiennes de chacun des membres du ménage ?

Il n'est pas aisé de répondre à ces questions : il est difficile de suivre en même temps les déplacements de chaque membre d'un ménage et la composition des ménages se caractérise par une grande diversité, qui reflète les changements sociaux que connaît aujourd'hui l'Amérique latine, évoqués dans le chapitre 1. Des phénomènes comme le vieillissement de la population (qui augmente le nombre de ménages petits ou unipersonnels), la prolongation de la durée des études (qui



reporte l'âge d'entrée sur le marché du travail, la sortie du logement parental et l'entrée dans le cycle matrimonial et reproductif), les ruptures plus fréquentes des unions matrimoniales, etc., influent beaucoup sur les conditions de mobilité quotidienne. Les ménages sont aujourd'hui plus hétérogènes. Ils peuvent se composer d'un chef qui vit seul ou en couple; chaque membre du couple peut travailler ou non, au domicile ou à l'extérieur; les couples peuvent n'avoir aucun enfant, ou au contraire plusieurs, et chacun des enfants peut étudier dans un cycle différent (primaire, secondaire ou supérieur), ou travailler, ou ne faire ni l'un ni l'autre. Ainsi, les configurations de la mobilité quotidienne au sein des ménages sont illimitées. Un enseignement de l'enquête est, par exemple, la très grande proportion des ménages dont le chef ne vit pas en couple. C'est le cas de 33 % des ménages enquêtés en 2009 à Bogotá, de 35 % à São Paulo et de 53 % à Santiago. Les arbitrages intra-ménages, l'usage de véhicules particuliers ou l'accompagnement des enfants à l'école ne s'effectuent pas de la même manière selon qu'il y ait un ou plusieurs adultes qui vivent dans la maison.

Comme nous l'avons vu dans la deuxième section, la simple comparaison entre les moyens de transport des actifs (tableau 8-6) et des étudiants (tableau 8-7) reflète des différences notoires. En primaire et dans le secondaire, la majorité des jeunes vont à pied dans une école qui se situe à proximité du domicile, et ils ne mettent que de peu de temps pour y aller : entre 14 et 19 minutes en moyenne en primaire et entre 18 et 23 minutes dans le secondaire. La durée des trajets est au contraire doublée pour les étudiants du supérieur (de 29 à 43 minutes) ou pour les travailleurs adultes (de 31 à 43 minutes).

La durée comparée des trajets des parents et des enfants : l'exemple de Bogotá

Dans une étude antérieure (Dureau, Gouëset, 2011 : 79-81) et avec d'autres sources (le recensement de 2005), on a pu établir une différence marquée entre la mobilité pendulaire des parents et celle des enfants dans l'aire métropolitaine de Bogotá (figure 8-2).

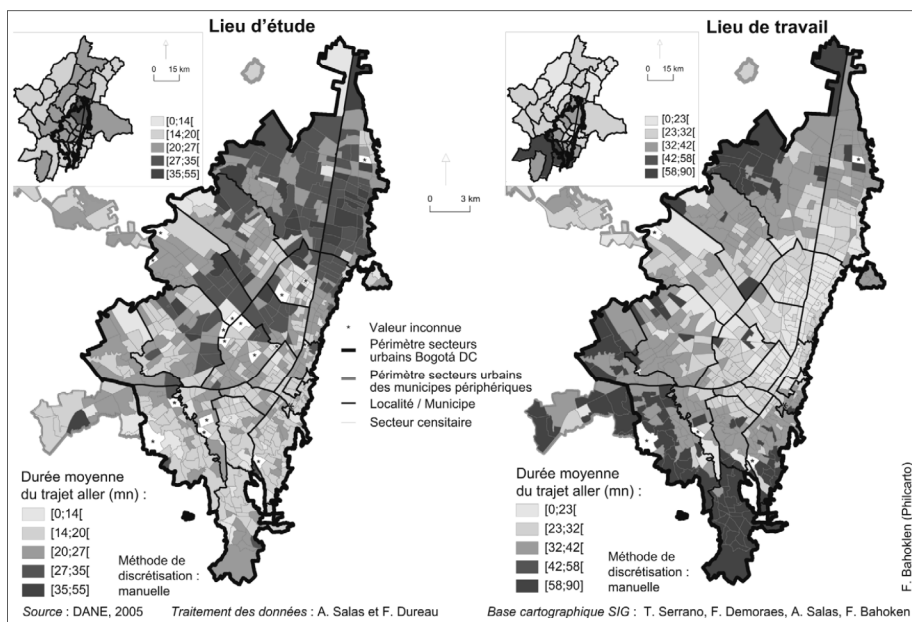
La mobilité vers le lieu de travail (à droite dans la figure) obéit à un modèle gravitaire simple : les temps de parcours sont plus courts dans le centre et dans les quartiers riches du nord-est de la ville, où se concentrent les emplois et une population qui a accès à des moyens de transport plus efficaces, alors que dans les périphéries, où la population est plus pauvre (surtout dans le sud), les temps de parcours sont plus longs, car l'offre d'emploi est y est localement faible et les transports – collectifs en majorité – sont moins efficaces. En comparaison, la mobilité vers le lieu d'étude (à gauche dans la figure) obéit à des schémas différents. Ce sont les enfants des quartiers riches du nord du District et des quartiers de classe moyenne du nord-ouest qui connaissent les temps de parcours les plus longs, alors qu'ils sont plus courts dans le sud populaire de la ville, surtout à Soacha. L'explication de ce paradoxe réside dans le fait que les enfants des quartiers populaires vont à pied à l'école du quartier, alors que les parents des enfants des classes moyennes et aisées ont d'autres priorités. Ils ne privilégient pas la

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

proximité physique des collèges ou leur coût, mais la qualité de l’enseignement proposé et leur prestige social. Ils inscrivent leurs enfants dans des institutions privées et coûteuses situées au nord de la ville et les trajets s’effectuent en bus de ramassage scolaire ou par les transports collectifs, avec des temps de parcours plus longs. Il n’est pas rare de trouver dans les familles aisées des trajets plus longs pour les enfants que pour les parents, alors que c’est souvent l’inverse dans les familles pauvres. Le temps de transport est le prix à payer pour accéder à une éducation de qualité, au sein d’un environnement social protégé (Dureau, Gouëset, 2011).

VINCENT GOUËSET ET AL.

Figure 8-2 : Durée moyenne des déplacements pendulaires depuis le domicile (Bogotá, 2005).



Extrait de : DUREAU E., GOUËSET V., 2010 : 141.

La configuration de la mobilité pendulaire des couples

Nous profitons ici de la possibilité offerte par les enquêtes METAL de croiser les variables individuelles et celles du ménage pour observer comment se combinent la mobilité quotidienne des hommes et des femmes au sein des couples. Les pratiques de mobilité convergent-elles ou non selon la classe sociale? Dans les milieux populaires, l’hypothèse selon laquelle l’homme cherche un revenu fixe en dehors du logement, tandis que la femme reste davantage au domicile pour s’occuper du foyer et des enfants, ou pour exercer une activité informelle, se confirme-t-elle? Dans les familles riches au contraire, observe-t-on une mobilité professionnelle comparable entre hommes et femmes? Qu’en est-il des femmes au foyer dans les classes aisées et de leurs mobilités « hors navettes »? Les enquêtes par questionnaire ne permettent



pas de répondre à toutes ces questions, mais elles ouvrent toutefois quelques pistes intéressantes. Dans le tableau 8-9, qui ne prend en compte que les ménages dont le chef co-réside en couple¹², on peut voir quelles sont les combinaisons possibles entre les deux membres du couple dans les mobilités pendulaires.

La similitude des tendances observées dans les trois villes saute aux yeux. Suivant un modèle patriarcal traditionnel, les ménages où seul l'homme travaille en dehors du logement dominant. L'absence de mobilité pendulaire de la femme peut être due à plusieurs situations : l'absence d'activité professionnelle, le travail (souvent informel) à son domicile ou le travail discontinu avec de longues périodes à la maison, etc. L'information par classes de revenus montre que ce modèle de « viri-mobilité » est une caractéristique populaire, très marquée dans les classes à bas revenus et relativement limitée pour les classes à hauts revenus. Ainsi, ce modèle est présent dans des zones populaires, beaucoup d'entre elles périphériques, telles que *El Volcán* et *Colina tradicional* à Santiago, *Suzano* et *Paraisópolis* à São Paulo, *Bosa* et même *Chía* à Bogotá.

Le modèle suivant par ordre d'importance est le modèle égalitaire ou « moderne », où les deux conjoints travaillent et ont des mobilités pendulaires en dehors du domicile. Il a la même importance que le modèle antérieur à Santiago (39 %), mais est inférieur à Bogotá et São Paulo (26 %). C'est un modèle très présent dans les classes de revenus élevés et peu représenté dans les classes à faibles revenus.

Le cas des ménages sans mobilité pendulaire vient ensuite. Il s'observe surtout dans les milieux populaires, au moins à Bogotá et à Santiago. Il peut correspondre à des situations différentes : des couples qui vivent dans le centre, où ils peuvent avoir un négoce à domicile ou travailler à proximité (c'est le cas de *Brás-Pari* à São Paulo, ou de *La Candelaria* et *Gustavo Restrepo* à Bogotá) ; ou bien des ménages populaires vivant en périphérie, où le travail informel et le chômage sont fréquents (c'est le cas de *Colina tradicional* à Santiago ou de *Suzano* à São Paulo).

Le dernier modèle est celui où seule la femme travaille en dehors du domicile ; mais les enquêtes n'ont identifié qu'une faible proportion de ménages dans cette catégorie, et ce n'est pas une surprise.

Les entretiens quant à eux n'apportent que peu d'informations sur les arbitrages au sein des ménages. Ce qui a néanmoins pu être mis en évidence dans des zones populaires comme *El Volcán* à Santiago ou *Bosa* et *Soacha* à Bogotá, c'est que beaucoup de femmes restent au domicile pour s'occuper du foyer, plutôt que de sortir travailler pour gagner un faible salaire. Leurs conjoints se déplacent pour travailler, souvent dans la construction, la sécurité ou une activité informelle à faible qualification, afin d'apporter un revenu au budget familial. Ils acceptent des travaux « là où ils peuvent », souvent dans des quartiers aisés où les rémunérations sont plus élevées, « parce que si quelqu'un est embauché par ici dans le quartier, on le paye très peu », selon les dires de Juan Pablo, 61 ans, qui vit à *Bosa*. Ces hommes se plaignent tous de se déplacer à l'autre bout de la ville dans des conditions difficiles pour travailler.

12. Les ménages « sans couple » ont été exclus, car, par définition, ils ne peuvent pas avoir d'arbitrage avec le conjoint co-résident.



PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

Tableau 8-9 : Combinaison des navettes pour étude ou travail réalisées par les conjoints co-résidents (Bogotá, Santiago, São Paulo, 2009).

	Bogotá (11 zones)			Santiago (10 zones)			São Paulo (9 zones)					
	Niveau de revenus (%)			Niveau de revenus (%)			Niveau de revenus (%)					
	Total	Moyen bas	Moyen haut et haut	Total	Moyen bas	Moyen haut et haut	Total	Moyen bas	Moyen haut et haut			
Couple où aucun des deux conjoints n'effectue une navette	28	41	23	28	25	25	23	22	20	29	22	
Couple où l'homme seulement effectue une navette	37	43	48	23	25	25	39	49	34	44	29	35
Couple où la femme seulement effectue une navette	9	7	6	16	10	10	6	8	6	4	6	7
Couples où les deux conjoints effectuent une navette	26	9	23	33	40	40	39	13	36	45	61	36
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Population de référence : les couples dont les membres co-résident dans le même logement.
 Traitement des données d'enquête : Guillaume LE ROUX.
 Source : Enquêtes METAL 2009.

VINCENT GOUËSET ET AL.



Les moyens de transport des conjoints

Les enquêtes par questionnaires ont aussi permis d’observer les moyens de transport respectifs de l’homme et de la femme au sein des couples, en prenant pour population de référence les ménages où les deux conjoints ont une mobilité pendulaire vers le lieu de travail (tableau 8-10). Dans la première section, un effet du genre avait été identifié dans l’usage des moyens de transport. Cet effet joue en défaveur des femmes et il établit une forme de domination masculine dans la mobilité quotidienne. Mais, dans le cas de couples où les deux conjoints travaillent, dans le cadre d’un modèle qualifié plus haut de « moderne », il est intéressant d’observer si cette domination masculine se retrouve ou pas.

Tableau 8-10 : Combinaison des modes de transport utilisés par les conjoints co-résidents pour se rendre au travail (Bogotá, Santiago, São Paulo, 2009) .

Bogotá (11 zones)		Mode utilisé par la femme (%)					Total
		À pied	Vélo, moto	Voiture	Transport collectif	Autre mode	
Mode Homme	À pied	7	0	0	7	0	14
	Vélo, moto	1	2	0	11	0	14
	Voiture	1	0	8	5	1	15
	Transport col.	6	1	0	42	0	49
	Autre mode	0	0	1	2	5	8
	Total	15	3	9	67	6	100
Santiago (10 zones)		Mode utilisé par la femme (%)					Total
		À pied	Vélo, moto	Voiture	Transport Collectif	Autre mode	
Mode Homme	À pied	5	0	0	7	3	15
	Vélo, moto	1	1	0	0	2	3
	Voiture	4	1	16	9	1	31
	Transport col.	2	0	1	42	2	47
	Autre mode	0	0	2	1	0	3
	Total	12	2	19	59	8	100
São Paulo (9 zones)		Mode utilisé par la femme (%)					Total
		À pied	Vélo, moto	Voiture	Transport collectif	Autre mode	
Mode Homme	À pied	9		0	20		29
	Vélo, moto	0		1	7		8
	Voiture	5		13	10		28
	Transport col.	13		4	17		34
	Autre mode	0		0	1		1
	Total	27		18	55		100

Population de référence : les couples dont les membres co-résident dans le même logement et travaillent hors du domicile.

Traitement des données d’enquête : Guillaume LE ROUX.

Source : Enquêtes METAL 2009.

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

Dans le tableau 8-10, on note une similitude quant au poids relatif de chaque moyen de transport utilisé par les personnes enquêtées dans les trois villes, avec une prédominance du transport collectif et une forte présence de l'automobile à Santiago et à São Paulo. Se détache aussi une tendance à l'utilisation du même mode de transport au sein d'un couple : quand l'homme se déplace à pied, prend sa voiture ou les transports collectifs, sa femme utilise fréquemment le même mode de transport. Ce constat confirme le caractère moderne de cette catégorie de ménages bi-actifs, où apparemment les hommes ne monopolisent pas les voitures. Une autre explication possible est que certaines femmes utilisent la voiture familiale pour emmener les enfants à l'école et ensuite se rendre à leur travail (cas fréquent parmi les strates moyennes à *Huechuraba*, *Quilicura* et *Chicureo* à Santiago). Cependant, on note deux exceptions. Premièrement dans l'usage des « deux roues » : quand un homme l'utilise, sa femme ne le fait presque jamais et se déplace plutôt en transport collectif ou d'une autre manière. Deuxièmement, en ce qui concerne l'usage de la voiture : les hommes l'utilisent plus que les femmes, et quand un homme se déplace avec, il est fréquent que sa femme aille à pied ou en transport collectif (bus ou métro à Santiago et São Paulo). Il subsiste donc bien une dimension sexuée dans l'usage du vélo et des motos, et une (légère) logique de « confiscation » des voitures par les hommes.

L'«immobilité»: entre inégalités et stratégies d'adaptation

Un aspect peu étudié dans la mobilité quotidienne est l'« immobilité », alors qu'il s'agit d'un aspect important des inégalités de mobilité (Bergeon *et al.*, 2013 : 184-187). En effet, la première inégalité fondamentale dans la mobilité est la différence entre ceux qui ont la possibilité, physique et économique, de sortir de chez eux, ou qui ont de bonnes raisons de le faire (comme étudier, travailler, faire des achats, etc.), et ceux qui n'en ont pas (Kaufmann *et al.*, 2004).

Mais tout d'abord, à quoi se réfère-t-on lorsqu'on parle d'« immobilité », et qui sont les « immobiles » ? L'immobilité est avant tout une notion relative, qui dépend des échelles spatiale et temporelle considérées. Ainsi un vendeur qui gère un commerce informel à son domicile peut rester totalement immobile quand son commerce est ouvert, et se déplacer beaucoup lorsque celui-ci est fermé. Les individus en situation d'immobilité absolue, qui ne peuvent jamais sortir de leur domicile ou du lieu où ils se trouvent, sont très peu nombreux. Ces individus correspondent à des cas extrêmes comme les prisonniers, les personnes âgées souffrant d'incapacités, les personnes handicapées ou sévèrement malades. Mais même pour ces individus, il s'agit d'un état temporaire : ils n'ont pas toujours été immobiles et/ou ne le seront pas toujours. À l'inverse, la population en situation d'immobilité relative, ou de faible mobilité, est très importante. Une première catégorie correspond aux personnes présentant des limitations physiques, comme les personnes âgées, les personnes en mauvaise santé ou les enfants en bas âge. On recense dans cette première catégorie de nombreuses personnes âgées interrogées dans les entretiens, comme Juliana (60 ans, *Lira-Almagro*), Adelaida (67 ans, *Lira-Almagro*) et Marco



(56 ans, *El Volcán*) à Santiago du Chili, ou Fabiola (66 ans, *Soacha*) et plusieurs autres cas à Bogotá. Une deuxième catégorie renvoie aux personnes en situation socio-économique difficile : les personnes très pauvres, sans véhicule particulier (ou sans la capacité d'en assurer le coût de fonctionnement) ou des personnes sans emploi qui n'ont pas la nécessité de sortir tous les jours pour travailler. Une troisième catégorie englobe des personnes ayant des limitations cognitives et/ou culturelles, comme cela peut être le cas à Santiago pour Juliana (60 ans, *Lira-Almagro*) et de Consuelo (30 ans, *Lira-Almagro*), toutes deux immigrées péruviennes qui ne connaissent pas la ville et qui ont peur de sortir de chez elles. On englobe dans cette catégorie aussi quelques femmes sans permis de conduire qui dépendent de leur mari pour sortir (Helena, 45 ans, *Lira-Almagro*). Une quatrième catégorie correspond aux personnes ayant des contraintes d'ordre familial : des femmes au foyer, des personnes qui restent à leur domicile pour s'occuper d'autres membres de la famille (enfants ou personnes âgées). Enfin, cinquième catégorie, il existe des cas d'immobilité liée à des motifs professionnels, comme ceux qui travaillent à leur domicile, ou qui travaillent chez quelqu'un d'autre (comme Consuelo, déjà citée à Santiago et qui est employée domestique, ou comme certains hommes employés dans la sécurité et qui vivent sur leur lieu de travail), ou qui pour une raison ou pour une autre, résident sur leur lieu de travail (cas de certains gardiens lorsqu'ils travaillent en alternance et qu'ils doivent rester longtemps sur leur lieu de travail). Ainsi, les formes d'immobilité sont très diverses : on les rencontre aussi bien dans la mobilité obligatoire (sont immobiles ceux qui ne réalisent pas de flux pendulaires) que dans les mobilités « hors navettes » (sont immobiles ceux qui ne peuvent pas ou ne veulent pas trop sortir de leur domicile).

L'immobilité est difficile à mesurer et passe inaperçue dans les enquêtes origine-destination, qui par définition ne comptabilisent que les mouvements. Mais cette immobilité est aussi difficile à interpréter : que signifie le fait de ne pas bouger, ou de bouger peu ? Quelles sont les implications sur le développement de la vie des immobiles ? Selon Dureau et Gouëset (2011 : 91), il faut se garder d'une vision trop normative de la mobilité qui attribue une valeur positive au mouvement et négative au sédentarisme, alors que dans de nombreux cas, et en particulier pour les pauvres qui vivent en périphérie, la mobilité est imposée par l'absence de ressources à proximité du domicile (comme l'emploi) et les déplacements se réalisent dans des conditions difficiles. Dans ce cas, l'immobilité pourrait apparaître à l'inverse comme une stratégie pour éviter des difficultés comme par exemple le coût des déplacements. De la même manière, on peut utiliser comme ressource et capital de proximité, le domicile (où peut fonctionner une micro-entreprise) et les réseaux sociaux proches (comme la famille).

L'ampleur de l'immobilité et de la mobilité de proximité

Les enquêtes par questionnaires et les entretiens apportent des informations sur les deux dimensions – positive et négative – de la mobilité. Un résultat significatif est l'ampleur de l'immobilité et de la mobilité de proximité dans les trois villes.

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

Le tableau 8-3 donnait déjà une première information sur la population qui « n'utilise aucun véhicule personnel ni transport public pendant la semaine ». Celle-ci représente 13 % de la population enquêtée à Santiago, 24 % à Bogotá et 29 % à São Paulo. Cette situation est plus fréquente dans les milieux populaires : la moitié des individus de la classe à bas revenus à São Paulo, le tiers à Bogotá et 22 % à Santiago n'utilisent ni véhicule personnel ni transport public. Cette population n'est pas nécessairement « immobile », car elle peut se déplacer à pied, mais l'ampleur de ses déplacements est alors plus limitée. Il est frappant de voir comment dans des villes si grandes, une part importante de la population a une mobilité réduite et déploie sa vie quotidienne à proximité du domicile.

Les entretiens le confirment : de nombreuses personnes, notamment dans les classes populaires, cherchent à limiter leurs déplacements, à mener leur vie autour du domicile et quand c'est possible, à ajuster leur lieu de travail à proximité de leur lieu de résidence pour limiter les navettes. Outre les pauvres et les populations décrites plus haut, on retrouve aussi dans cette catégorie les élèves du primaire et du secondaire, déjà évoqués. Ainsi une bonne partie de la population enquêtée parcourt peu la ville et le fait à pied, ce qui limite beaucoup la portée des sorties du domicile. De nombreux habitants de Bogotá, Santiago et São Paulo parcourent une petite partie de la métropole qui les entoure et évoluent dans un bassin de vie relativement limité autour du domicile.

Cependant, tous les citadins « immobiles » ou peu mobiles ne correspondent pas à des profils populaires. Les entretiens réalisés dans les trois villes ont mis au jour quelques cas de stratégies délibérées de déplacements limités (ou de marche à pied), de la part de personnes qui auraient les moyens de payer des transports à longue distance, mais qui valorisent la possibilité de limiter leurs déplacements ou de marcher comme un choix personnel et même comme un élément de qualité de vie, surtout dans les zones centrales ou péri-centrales, où « tout est à portée de main ».

Ainsi, Brenda (40 ans, cuisinière, *Brasil-Yungay*, Santiago), après son divorce, a quitté le quartier résidentiel de La Florida en périphérie de Santiago pour un appartement qu'elle loue dans le quartier Yungay, dans le centre. Elle a recherché un travail près de chez elle pour économiser de l'argent et apprécie beaucoup le fait de pouvoir se déplacer à pied en raison de l'économie de temps et d'argent que cela représente :

« Ça me coûte plus cher de vivre ici, pour le loyer, mais ça me coûte moins pour le transport, et je peux revenir manger le midi à la maison, ça pour moi c'est un gain. Vivre plus près de mon travail, tout ça a été avantageux, donc ça compense. Ce qui te coûte plus d'un côté te coûte moins de l'autre et ça se compense en temps. On a peut être le même coût mais plus de temps pour être ensemble, moins de temps de transport... »

On peut citer également le cas de María (49 ans, femme au foyer, *Lira-Almagro*), qui vit dans le centre de Santiago : elle n'a pas de permis de conduire et elle a peur des transports collectifs ; elle préfère marcher que d'emprunter



le *Transantiago* ou le métro. À Bogotá on trouve des situations équivalentes y compris parmi les classes aisées, comme Christine (36 ans, *El Nogal*), une professeure française qui dit : « Je pourrais être totalement auto-suffisante, sans sortir du quartier parce que [j'ai] le travail, le marché, les discothèques et les bars, on a tout ici, à trois pâtés de maison il y a la Zona rosa, il y a aussi de quoi prendre un café, ce qu'on veut. » Christine n'est pas « immobile » au sens strict, parce qu'elle sort travailler et se divertir, mais elle le fait à pied et dans un rayon réduit autour de son domicile. Dans ce cas, comme dans les deux précédents, la faible mobilité est considérée comme un luxe.

Le cas du travail à la maison

Il est intéressant de considérer le cas du travail à la maison (cuadro 8-11). Déjà dans l'enquête CEDE-ORSTOM de 1993, il était ressorti que 27 % de la population active enquêtée à Bogotá travaillait chez elle (Delaunay *et al.*, 2002). Dans les enquêtes de 2009, les personnes exerçant une activité professionnelle à leur domicile représentait 19 % de la population active de Bogotá¹³, 15 % à Santiago et 16 % à São Paulo, ce qui correspond à un nombre considérable de travailleurs. Le détail par classe de revenus indique que le travail à la maison correspond à deux segments de population. Une première catégorie correspond à des personnes des couches populaires exerçant des activités informelles à leur domicile. Une deuxième catégorie correspond à des personnes plus aisées (et de classe moyenne à São Paulo), qui sont soit des patrons soit des travailleurs indépendants ayant leur entreprise sur leur lieu de résidence. *Soacha*, municipe populaire de la périphérie sud de Bogotá, est illustratif de la première situation. Trois des quatre actifs interrogés dans cette zone d'enquête travaillent au domicile : María Helena (50 ans) a un atelier de confection, Luis Carlos (44 ans) un atelier de menuiserie et Berta (50 ans) vend des sucreries sur un étal devant sa maison.

Le tableau 8-11 montre aussi que la pratique du travail à la maison est très marquée selon le statut professionnel ; elle concerne avant tout les travailleurs indépendants et les apprentis, alors qu'elle est marginale chez les ouvriers et les employés. Ce constat confirme l'hypothèse d'une forte composante populaire et d'informalité dans le travail à domicile, même si ce n'est pas une règle absolue : on trouve aussi de petits entrepreneurs indépendants et des personnes exerçant des professions intellectuelles qui travaillent chez eux, comme c'est le cas de Liliana (40 ans, *Lira-Almagro*, Santiago), qui est traductrice.

13. Les pourcentages de 1993 y 2009 ne sont pas directement comparables au niveau de l'ensemble des zones d'enquête car leur délimitation diffère entre les deux dates.



PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

Tableau 8-11 : Proportion de la population active qui travaille à la maison selon les revenus et la situation professionnelle (Bogotá, Santiago y São Paulo, 2009).

	Bogotá (11 zones) (%)	Santiago (10 zones) (%)	São Paulo (9 zones) (%)
Niveau de revenus			
Bas	24	23	22
Moyen-bas	20	15	16
Moyen	13	7	25
Moyen-haut et haut	21	15	9
Position professionnelle			
Ouvrier ou employé	3	4	4
Patron, employeur ou travailleur indépendant	46	39	43
Employé domestique	11	5	18
Apprenti ou travailleur familial	53	23	57
Total	19	15	16

Population de référence : PEA occupée de 12 ans ou plus.

Traitement des données d'enquête : Françoise DUREAU.

Source : Enquêtes METAL 2009.

L'immobilité dans les déplacements « hors navettes »

Pour terminer cette section, il est intéressant de considérer l'immobilité en dehors du contexte professionnel, avec le cas des sorties du domicile en dehors des navettes quotidiennes. De façon unanime, l'immense majorité des personnes interrogées déclarent privilégier le repos en fin de semaine et disent vouloir profiter de la famille et des amis, et se divertir sans s'éloigner trop du domicile. L'enquête par questionnaires confirme pleinement cette tendance (tableau 8-12) : les sorties « hors navettes » se réalisent dans le quartier pour 73 % d'entre elles à Bogotá, 61 % à Santiago et 87 % à São Paulo.

Ces déplacements, qui se font à proximité du domicile, se réalisent surtout à pied, pour 81 % d'entre eux à Bogotá, 56 % à Santiago et 68 % à São Paulo. La tendance est la même pour les hommes et pour les femmes, et l'effet du revenu est peu marqué : les individus à bas revenus s'éloignent moins de leur domicile que ceux des classes aisées. Certes, il est assez courant dans les classes aisées de sortir de la ville les week-ends, pour aller dans une maison de campagne ou un lieu de villégiature ; mais, même dans ces catégories, la majorité des déplacements « hors navettes » se limite au quartier.



Tableau 8-12 : Distance des déplacements « hors navettes »
selon les revenus et le sexe (Bogotá, Santiago, São Paulo, 2009).

	Dans le quartier de résidence (%)	Dans un autre quartier de la localité/ de la commune/ ou du municípe (%)	Dans une autre localité/une autre commune/ un autre municípe (%)	Total (%)
Bogotá (11 zones)				
Bas	81	5	14	100
Moyen-bas	76	9	15	100
Moyen	73	11	16	100
Moyen-haut et haut	54	9	37	100
Hommes	71	9	20	100
Femmes	75	8	17	100
Total	73	8	19	100
Santiago (10 zones)				
Bas	63	21	16	100
Moyen-bas	63	18	19	100
Moyen	62	19	19	100
Moyen-haut et haut	56	15	29	100
Hommes	60	16	24	100
Femmes	62	19	19	100
Total	61	18	21	100
São Paulo (9 zones)				
Bas	91	7	2	100
Moyen-bas	91	8	1	100
Moyen	87	9	4	100
Moyen-haut et haut	79	16	5	100
Hommes	87	10	3	100
Femmes	88	10	2	100
Total	87	10	3	100

Population de référence : les personnes de 18 ans ou plus qui ont répondu aux modules 4-E-3 y 4-E-4 (une personne par ménage).

Traitement des données d'enquête : Françoise DUREAU.

Source : Enquêtes METAL 2009.

L'effet du lieu de résidence, ou la localisation résidentielle comme facteur d'inégalités dans la mobilité quotidienne : l'exemple de São Paulo

La dernière question de cette section vise à évaluer si les inégalités de mobilité quotidienne s'expliquent uniquement par les caractéristiques de la personne (sexe, âge, profession, mode de transport utilisé, etc.) et du ménage (niveau de revenus, équipement en moyens de transport, etc.), ou s'il existe aussi une dimension spatiale dans la production des inégalités de mobilité. En effet, les trois métropoles sont configurées selon un modèle polycentrique où l'offre d'emplois, de biens et de services n'est pas distribuée de façon équitable dans

PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

l'ensemble de l'espace urbain. Au contraire, cette offre est concentrée dans un nombre limité de lieux qui polarisent la majeure partie des mouvements pendulaires. La question est donc de savoir si, indépendamment des caractéristiques de l'individu et du ménage, la distance du lieu de résidence par rapport aux pôles d'emplois et de services n'est pas un facteur d'inégalité supplémentaire, qui s'aggrave en périphérie.

On prendra ici pour exemple la région métropolitaine de São Paulo. Les emplois y sont concentrés dans le secteur centre-ouest du municpe de São Paulo et dans les municipes périphériques, trois pôles concentrent également un nombre important d'emplois : Guarulhos au nord-est, Osasco et Barueri à l'ouest, et le secteur de « l'ABC » (Santo André, São Bernardo, São Caetano) au sud-est. L'accès à l'emploi est donc très inégal entre les citadins qui vivent près de ces pôles et ceux qui en sont éloignés. Cet effet de lieu de résidence est aggravé dans les périphéries populaires par une offre indigente de transports collectifs et par un faible équipement des ménages en automobiles.

Un premier travail réalisé sur les zones d'enquête de São Paulo (Demoraes *et al.*, 2012) a pu le montrer à partir d'une analyse de la dispersion spatiale des lieux d'activité (étude et travail). Sont présentés ci-après les résultats d'une exploitation similaire de l'enquête METAL, limitée aux déplacements vers le lieu de travail. L'analyse centrographique¹⁴ appliquée et les ellipses qui la matérialisent sur la carte (figure 8-3) permettent de représenter de façon synthétique pour trois zones d'enquête, le périmètre de dispersion, des lieux de travail des actifs, ceux-ci étant différenciés par classe de revenus. Ce mode de représentation cartographique permet d'observer l'effet combiné du lieu de résidence et de la position sociale des enquêtés.

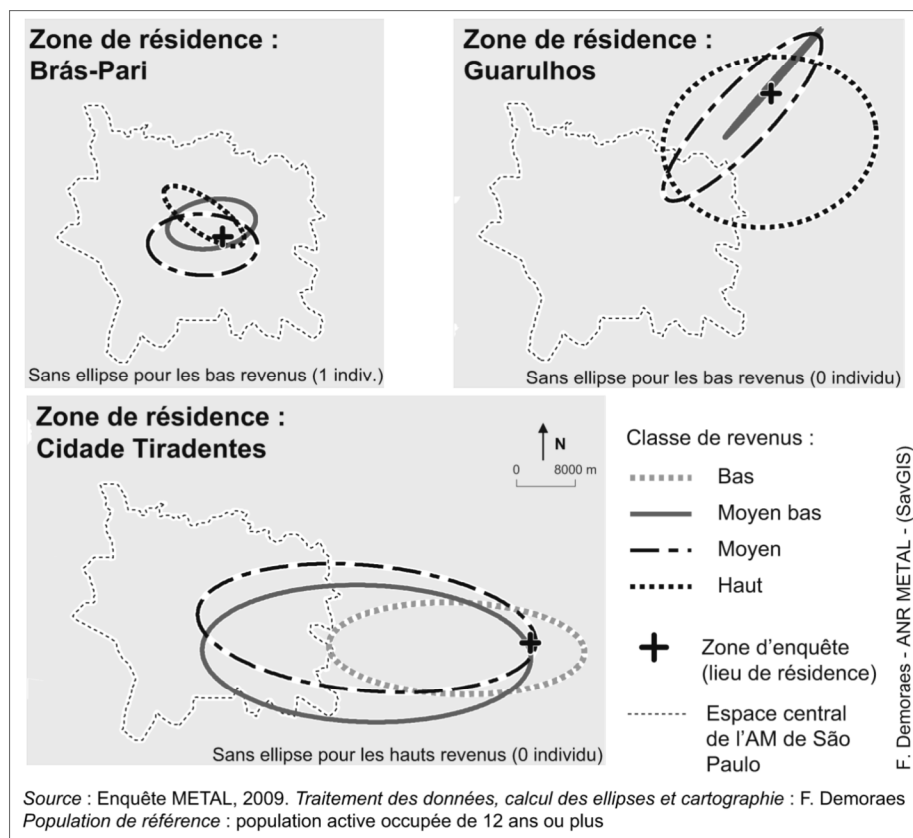
Les trois zones représentées sont exemplaires. *Brás-Pari* est une zone centrale à dominante socio-économique moyen-bas ; *Guarulhos* une périphérie proche où dominent les classes moyennes et aisées ; *Cidades Tiradentes* une périphérie plus éloignée majoritairement peuplée de ménages aux revenus moyen-bas. On observe à *Brás-Pari* que les ellipses sont plus petites et ne sont pas polarisées dans une direction particulière. Cela signifie que la ville offre localement une diversité d'emplois pour tous les niveaux de qualification et qu'en conséquence les habitants de cette zone centrale, quelque soit leur profil socio-démographique, n'ont pas besoin de parcourir de longues distances pour travailler. Au contraire, en périphérie (*Guarulhos* et *Cidades Tiradentes*), les ellipses sont de façon générale plus allongées et orientées vers l'espace central, ce qui témoigne d'un découplage spatial marqué entre le lieu de résidence et le lieu de travail, avec un effet polarisant du centre-ville. Les différences entre classes de revenus sont plus prononcées dans la périphérie que dans le centre : les espaces de mobilité sont relativement équivalents pour les trois classes présentes à *Brás-Pari*, tandis qu'en périphérie les individus aux revenus moyens et aisés ont un espace de mobilité beaucoup plus vaste, grâce à la voiture qui leur permet d'accéder à des emplois qualifiés

14. Cette méthode a été mise au point par R. Bachi en 1963.



dans tous les secteurs de la ville. À *Cidades Tiradentes*, les individus à revenus bas et moyen-bas se trouvent dans la situation la plus défavorable : ils sont obligés de sortir de leur zone de résidence (qui offre peu d'emplois) et de parcourir de longues distances jusqu'au centre ce qui pèse lourd dans leur budget, dans des conditions difficiles, principalement en transport collectif. Ce constat confirme un effet du lieu de résidence : dans le centre, l'emploi est d'accès facile pour toutes les classes de revenus, alors qu'en périphérie les navettes sont en général beaucoup plus longues et plus différenciées selon les revenus.

Figure 8-3 : Dispersion des lieux de travail fréquentés par des actifs résidents dans trois zones d'enquête METAL de São Paulo, selon la classe de revenus (2009).



Conclusion

Ce chapitre a permis de rappeler l'importance de la mobilité quotidienne dans la vie courante des citadins et de montrer le rôle décisif de cette forme de mobilité dans la construction des inégalités socio-territoriales au sein des trois métropoles. Bien que les enquêtes METAL ne permettent pas de remonter dans le temps pour faire des comparaisons avec la situation des années 1990, il est probable que les



PARCOURIR LA MÉTROPOLE : PRATIQUES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE...

conditions de circulation à Bogotá, Santiago et São Paulo se soient dégradées, dans un contexte de métropoles qui n'ont jamais cessé de croître et de s'étendre.

Le progrès de la motorisation, l'amélioration de la voirie et les innovations socio-techniques que sont les BRT n'ont pas réussi à renverser cette tendance, même si localement ils ont pu permettre quelques progrès. Le plus préoccupant sans doute est que les effets de cette dégradation sont sélectifs et affectent plus fortement les classes populaires, surtout celles qui vivent en périphérie. Les classes moyennes et aisées, moyennant des investissements élevés dans le logement (bien localisé par rapport aux besoins quotidiens de la famille) et dans les moyens de transport (en achetant des voitures et en payant le taxi ou les transports scolaires des enfants) arrivent à atténuer les inconvénients de l'engorgement de la circulation urbaine, alors que les classes populaires, notamment celles qui vivent dans des périphéries pauvres en offre de transports collectifs, sont fortement affectées par cette dégradation. Une des rares alternatives qu'ont les classes populaires est de limiter leurs déplacements, en privilégiant l'emploi à domicile ou à proximité de celui-ci. La piste de l'immobilité – qui est en réalité plutôt une mobilité de proximité – constitue de ce point de vue une dimension originale révélée par l'enquête METAL. Limiter ses déplacements et exploiter les ressources de l'environnement immédiat du domicile n'apparaît pas obligatoirement comme un handicap ou un symptôme de pauvreté, mais peut aussi être une stratégie de résistance et une manière justement de limiter les effets de la pauvreté.

De manière générale, la poursuite de l'étalement urbain en périphérie des métropoles place un grand nombre de populations modestes face à des problèmes et à des solutions de plus en plus complexes, notamment parce que les périphéries restent aujourd'hui mal desservies par des modes de transports formels. Au-delà de la zone de desserte du *Transmilenio*, dans tout le sud de Bogotá, les solutions d'intégration passent par des systèmes très précaires de bus informels ou parfois même de *ciclotaxis*. À São Paulo, l'intégration du service intervient bien avant l'extrémité des lignes conventionnelles, avec la circulation de minibus tolérés par les autorités mais qui ne remplissent aucune des conditions d'un transport public formel de qualité. À Santiago, en revanche, les passagers à faibles revenus de la périphérie sont tout simplement obligés d'effectuer la fin de leur trajet à pied avec toute la pénibilité et l'insécurité qui en résultent. L'insécurité contraint d'ailleurs souvent les habitants des quartiers périphériques à renoncer à se déplacer en dehors des heures ouvrables, à Bogotá ou São Paulo comme à Santiago.

Enfin les inégalités de mobilité renvoient à un problème crucial que l'enquête METAL n'a pas pu aborder, qui est celui du coût des transports pour les classes populaires. Selon les données de l'INE¹⁵, le coût mensuel du transport représente 85 % du budget des ménages du décile le plus pauvre de la population de Santiago, et encore 50 % et 30 % pour les deux déciles suivants, ce qui limite considérablement la capacité de mouvement des plus pauvres. Il n'existe pas d'information comparable pour Bogotá et São Paulo, mais un problème similaire se

15. Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, *VII Encuesta de presupuestos familiares*, 2012.



pose également, notamment à São Paulo où les tarifs des transports sont parmi les plus élevés de toute l'Amérique latine. Une étude de l'*Observatorio de Movilidad Urbana* (2009 : 10) montre que le coût de 50 trajets en bus (ce qui équivaut aux navettes quotidiennes d'une personne sur un mois) représente 11 % du salaire minimum à Bogotá, 13 % à Santiago et 30 % à São Paulo, ce qui constitue une charge extrêmement lourde pour les ménages modestes, en particulier ceux qui résident en grande périphérie.

Les conditions de mobilité quotidienne dans les métropoles d'Amérique latine sont donc bien marquées par un problème de fragmentation socio-spatiale : selon le lieu de résidence et le niveau de revenus, les citoyens n'ont pas du tout les mêmes possibilités de se mouvoir ni d'accéder aux ressources de la ville, en termes d'emplois ou de services.







Dossier

Mobilités spatiales et ressources métropolitaines: l'accessibilité en questions

Inégalités d'accès aux ressources de la ville analysées à l'aide des mobilités quotidiennes

Approche méthodologique exploratoire à São Paulo

*Inequalities in access to the resources of
the city of São Paulo, analyzed in reference
to residents' daily mobility practices.
An exploratory methodological approach*

*Desigualdad de acceso a los recursos
urbanos analizada a través de la movilidad
cotidiana. Enfoque metodológico
exploratorio en la ciudad de San Pablo*

Florent DEMORAES
Laboratoire ESO-Rennes, UMR 6590 CNRS
Université de Rennes 2
Florent.Demoraes@univ-rennes2.fr

Marie PIRON
IRD-UMR 8586 PRODIG
Centre de recherche d'Île-de-France
Marie.Piron@ird.fr

Silvana ZIONI
Universidade Federal do ABC - Brésil
Silvana.Zioni@ufabc.edu.br

Sylvain SOUCHAUD
IRD - URMIS
Université Paris Diderot
Sylvain.Souchaud@ird.fr

Résumé

Cet article, avant tout méthodologique, explore la dispersion spatiale des lieux d'activité (étude et travail) fréquentés au quotidien par des individus au regard de leurs caractéristiques socio-démographiques et de leur lieu de résidence, dans l'agglomération de São Paulo. L'étude repose sur l'exploitation de données d'enquêtes sur les systèmes de mobilités réalisées auprès d'un échantillon de ménages. L'accent est mis sur la démarche qui fait intervenir une série d'analyses centrographiques que l'on combine dans un deuxième temps à une analyse typologique. Nous montrons l'intérêt de recourir à ces outils pour appréhender et visualiser les inégalités d'accès aux ressources urbaines en lien avec le cycle de vie des individus, la hiérarchie sociale et le lieu de résidence.

Mots-clés

Inégalité d'accès, ressources urbaines, lieu de résidence, mobilité quotidienne, cycle de vie, hiérarchie sociale, découplage spatial, analyse centrographique, analyse typologique, São Paulo.





Abstract

This article, primarily methodological in nature, examines the spatial distribution of places throughout São Paulo that people frequent on a daily basis for study and work, while taking into consideration their socio-demographic characteristics and place of residence. The study draws on surveys carried out among a sample of households, as a means to derive a better understanding of their mobility practices. Particular emphasis is placed on the methodological approach which is based on a series of centrographic analyses we combine with a typological analysis. We demonstrate the value of using these tools to pinpoint and reflect inequalities in access to urban resources and the relationship between those inequalities and the life cycle of the individuals involved, social hierarchy and their place of residence.

Keywords

Inequality of access, urban resources, place of residence, daily mobility, life cycle, social hierarchy, spatial mismatch, centrographic analysis, typological analysis, São Paulo.

Resumen

Este artículo, ante todo metodológico, explora la dispersión espacial de los sitios de actividades cotidianas (estudio y trabajo) frecuentados por los individuos, según sus características socio-demográficas y el lugar de residencia, en la aglomeración de San Pablo. El estudio se apoya en el tratamiento de datos de encuestas sobre sistemas de movilidad realizadas en una muestra de hogares. Se hace hincapié en la metodología que implementa una serie de análisis centrográficos enriquecidos en un segundo tiempo por un análisis tipológico. Se demuestra el interés de tales herramientas para visualizar y comprender las desigualdades de acceso a los recursos urbanos relacionados con el ciclo de vida de los individuos, con la jerarquía social y con el lugar de residencia.

Palabras claves

Desigualdad de acceso, recursos urbanos, lugar de residencia, movilidad cotidiana, ciclo de vida, jerarquía social, desfase espacial, análisis centro gráfico, análisis tipológico, San Pablo.

Introduction

Tout le monde n'accède pas à la ville de la même façon. Tout le monde ne fréquente pas les mêmes lieux. Ces différences s'observent quelle que soit la ville étudiée et s'expliquent par un très grand nombre de facteurs étroitement imbriqués entre eux. De façon schématique, on recense i) des facteurs liés à l'individu et à son entourage, ii) des facteurs liés au moyen de transport, et iii) des facteurs liés à la ressource urbaine (emploi, éducation, loisirs, santé, etc.).

En Amérique latine, la question des inégalités d'accès aux ressources urbaines se pose avec une grande acuité, du fait des caractéristiques de l'urbanisation sur ce continent (Demoraes et al., 2010) : des métropoles millionnaires très étalées et peu denses, marquées par de profondes inégalités sociales (Janoschka, 2002 ; Borsdorf, 2003), une très forte ségrégation sociorésidentielle (Clichevsky, 2000 ; Lungo et Baires, 2001 ; Rodríguez et Arriagada, 2004), une inéquitable répartition des emplois dans





la ville et des systèmes de transport en commun pas toujours adaptés à la demande (Vasconcellos, 1996 ; Montezuma, 2003 ; Figueroa, 2005). Les métropoles d'Amérique latine suivent ainsi un modèle d'urbanisation relativement convergent qui exerce des contraintes fortes sur les mobilités résidentielles et quotidiennes de leurs habitants (Dureau, 2006).

São Paulo n'échappe pas à ce schéma et est, elle aussi, caractérisée par une forte inégalité d'accès aux ressources urbaines, comme l'indiquent notamment Vasconcellos (2005), Kilroy (2007) ou Villaça (2007). Si les grandes enquêtes origine -destination réalisées par la Companhia do metrô¹ font ressortir, sur l'ensemble de l'agglomération, des contrastes en termes de mobilité quotidienne, en fonction des revenus, de l'âge, du sexe, du mode de transport et du motif de déplacement, d'autres variables pouvant influencer les déplacements ne sont pas recueillies lors de ces enquêtes. Il s'agit notamment d'indicateurs qui permettent de définir l'étape à laquelle un individu se trouve dans son cycle de vie. Par ailleurs, l'exploitation des grandes enquêtes origine-destination reste somme toute limitée, dans la mesure où il n'est pas possible de récupérer les données individuelles produites dans le cadre de ces enquêtes. Seules sont disponibles des données agrégées, avec des combinaisons de variables prédéfinies et déjà partitionnées en classes.

Les enquêtes réalisées par notre équipe dans le cadre du programme de recherche METAL² nous permettent d'explorer plus finement les écarts enregistrés dans l'accès aux ressources urbaines à partir d'une dizaine de zones de résidence, déclinés selon une série de variables individuelles. Nos enquêtes permettent également de répondre aux questions suivantes : comment les espaces fréquentés au quotidien se différencient-ils selon le lieu de résidence et les caractéristiques sociodémographiques des individus ? Quels sont les lieux de résidence où les disparités d'accès à la ville sont les plus marquées ? Quels sont les espaces d'activité associés aux différentes étapes du cycle de vie des individus ? Quels enseignements peut-on en tirer pour évaluer le niveau d'adéquation spatiale entre lieu de résidence et lieu de travail ?

Dans une première partie, nous détaillons le terrain d'étude, le corpus de données, les outils mobilisés et la méthode élaborée pour répondre à ces questions. Dans la seconde partie, nous analysons la dispersion des espaces fréquentés par les individus différenciés selon deux caractéristiques (motif de déplacement, revenus) fréquemment retenues pour mettre en évidence des disparités en termes d'espaces pratiqués au quotidien. Puis nous proposons de replacer les individus de façon plus globale dans leur cycle de vie et dans la hiérarchie sociale afin d'en explorer l'influence sur les destinations.

1 La Companhia do metrô est l'organisme qui assure l'exploitation du métro à São Paulo. Les pouvoirs publics lui confient également la réalisation de grandes enquêtes origine -destination auprès des ménages tous les 10 ans. Entre deux enquêtes, sont réalisées des projections à partir d'un échantillon plus restreint. Les dernières enquêtes datent de 1997 et 2007. En 2002, des projections ont été réalisées à partir de l'enquête de 1997.

2 Le programme METAL (Métropoles d'Amérique latine dans la mondialisation : reconfigurations territoriales, mobilité spatiale, action publique) est dirigé par Françoise Dureau. Il s'inscrit dans le cadre de l'ANR/AIRD « Les Suds aujourd'hui » et porte sur trois métropoles d'Amérique latine, Bogotá, Santiago du Chili et São Paulo. Pour en savoir plus : <http://www.mshs.univ-poitiers.fr/migrinter/index.php?text=institutionnel/METAL&lang=fr>.



Terrain d'étude, corpus de données et méthode

Présentation de l'agglomération de São Paulo

L'agglomération de São Paulo rassemblait 19,7 millions d'habitants en 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas [IBGE]) répartis sur près de 1660 kilomètres carrés³. Même si, globalement, la disponibilité des emplois formels semble s'être accrue⁴, les activités productives restent inégalement réparties dans l'espace métropolitain. Malgré un redéploiement de ces activités amorcé dès 2000, on trouve les emplois encore aujourd'hui principalement dans l'espace central (figure 1), le secteur de l'ABC⁵ et aux abords de l'aéroport international de Guarulhos, au nord-est. L'informalité reste cependant très présente et les écarts de revenus extrêmement marqués. En 2009, le salaire minimum était de l'ordre de 465 reais, le salaire médian avoisinait 1000 reais et le salaire moyen était de 1832 reais, soit respectivement 177, 381 et 698 euros. L'offre éducative est quant à elle distribuée de façon plus homogène, notamment pour l'éducation primaire et secondaire. Pour les universités, il faut distinguer le public et le privé. Le public est concentré dans quelques lieux⁶. Le privé représente une offre abondante et est comparativement un peu mieux réparti dans l'ensemble de l'agglomération.

Pendant la période 1997-2007, le parc automobile a connu une croissance de 16% (Cia do Metrô, 2008), ce qui implique une proportion aujourd'hui plus élevée de déplacements motorisés individuels, avec près d'un quart des trajets réalisés en voiture. Les transports publics collectifs comptent pour 55 % des 25 millions de déplacements motorisés quotidiens. La part des déplacements à pied est loin d'être négligeable, puisque ces derniers s'élèvent à 12 millions par jour (près d'un tiers des déplacements quotidiens). Par ailleurs, la ville centre est dotée d'un métro circulant en 2011 sur un réseau de 61,3 km et comportant 55 stations, ce qui est peu au regard de l'étendue de l'agglomération (figure 1) et ce qui accentue les inégalités d'accès à la ville (Villaça et Zioni, 2005).

Les sources de données mobilisées

Les enquêtes par questionnaire sur les systèmes de mobilité ont été menées à São Paulo par l'équipe du programme METAL entre juin et septembre 2009 dans 11 zones d'étude

3 D'est en ouest, la partie urbanisée de São Paulo, dans sa plus grande dimension, s'étale sur près de 90 km, et sur près de 60 km du nord au sud.

4 Entre les recensements de 2000 et de 2010, les emplois formels ont augmenté de 30%, chiffre supérieur à l'augmentation de la population, évaluée à 10,1% (IBGE, 2010).

5 Le secteur ABC est un grand bassin industriel (secteur automobile, usines agroalimentaires, pétrochimie...) situé au sud-est de São Paulo. Ce secteur englobe, entre autres, trois importants municipes : Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul. La zone 10 incluse dans l'enquête de l'équipe METAL se situe dans ce secteur (figure 1).

6 Le public, soumis à une forte sélection à l'entrée est regroupé notamment dans les secteurs Vila Clementino (au sud du centre historique, voir figure 1) et Cidade Universitaria (à la limite extérieure ouest de l'espace central).





(8 à l'intérieur du municpe de São Paulo et 3 dans sa périphérie métropolitaine)⁷. Cette série d'enquêtes, dont une partie est analysée dans cet article, permet d'appréhender les mobilités quotidiennes, résidentielles et migratoires de chaque individu.

La sélection des zones d'enquête a été guidée par plusieurs critères :

- la dynamique démographique et la composition sociale de la population, évaluées à travers les projections de population à l'année 2009, calculées par l'IBGE à partir du dernier recensement disponible⁸ ;
- la localisation au sein du système métropolitain (espace central, péricentre, périphérie) ;
- les caractéristiques du marché du logement, le potentiel de transformation du bâti et l'intervention urbanistique (opérations de requalification urbaine, grands projets urbains) évalués dans les documents cadres de planification et à partir de la connaissance qu'a notre équipe de ces thématiques, localement.

Les zones d'étude composent ainsi une mosaïque « illustrative » (et non représentative au sens statistique du terme) des profils socioéconomiques, des conditions de logement et des processus d'urbanisation de l'agglomération de São Paulo (figure 1 et tableau 1). Elles nous permettent de définir une grande variété de stratégies de mobilité quotidienne pour accéder aux ressources de la ville.

Dans l'ensemble de São Paulo et de sa périphérie, notre enquête a été réalisée auprès de 907 ménages, soit 2956 individus, et 55 ont fait l'objet d'entretiens approfondis⁹. Les ménages ont été sélectionnés dans chaque zone selon un plan de sondage aréolaire à deux degrés (lots, ménages), en suivant la méthode mise au point par Dureau et al. (1989). Cette méthode permet de garantir la représentativité des ménages pour chaque zone d'enquête¹⁰. L'échantillon extrapolé représente 140 019 individus, ce qui correspond à la population totale des neuf zones où l'enquête a été menée.

Pour étudier les pratiques de mobilité quotidienne dans leur dimension spatiale, une base de données a été mise en place dans un système d'information géographique (SIG). Elle rassemble un ensemble structuré et documenté de couches thématiques, notamment les réseaux de métro et de train, l'occupation du sol, les secteurs censitaires (21 744), le découpage en áreas de ponderação (812)¹¹, districts (162) et municipalités (39) ainsi que les limites des zones de l'enquête.

⁷ Sur les onze zones initiales, nous ne présentons les résultats que de neuf d'entre elles. En effet, une première zone a dû être écartée car les enquêteurs n'ont pu entrer en contact avec les personnes sélectionnées (lotissements fermés). Une deuxième zone a également été exclue de notre analyse car nous ne pouvions extrapoler les valeurs recueillies (erreur au niveau du plan de sondage).

⁸ Le dernier recensement disponible au moment de réaliser les enquêtes datait de 2000.

⁹ L'exploitation des entretiens n'est pas développée dans cet article.

¹⁰ Les individus sont donc représentatifs uniquement de leur zone de résidence, pas de l'ensemble de la ville.

¹¹ Il s'agit d'un regroupement de secteurs censitaires. Cet échelon permet la restitution des résultats sous forme de cartes sur l'ensemble de la Région métropolitaine de São Paulo.



Figure 1 : Agglomération de São Paulo : occupation du sol, réseaux de transports structurants et zones d'enquête dans le cadre du programme ANR METAL

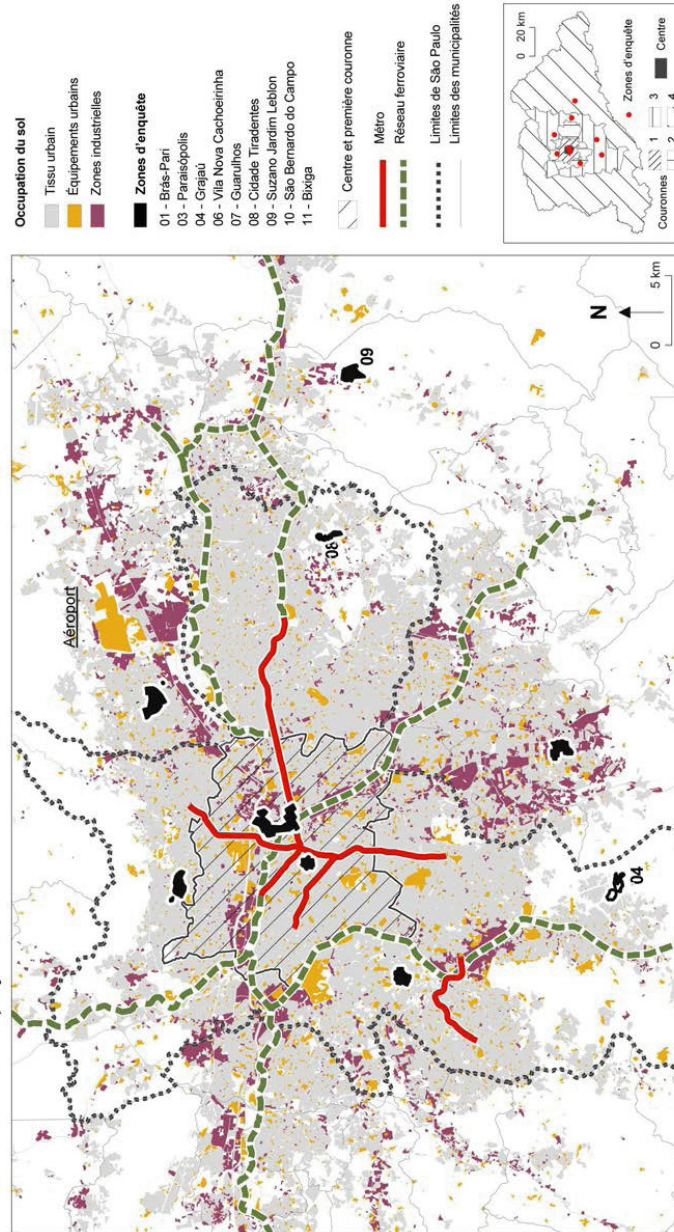




Tableau 1 Caractérisation des zones d'enquête à São Paulo dans le cadre du programme ANR METAL

Zones METAL	Description
01 - Brás/Pari	Forte concentration d'emplois industriels, d'activités commerciales et de services, Brás/Pari est l'un des principaux pôles d'attraction de la métropole, et maintient ainsi sa condition de centre, consolidé il y a plus d'un siècle. Cette zone se caractérise aussi par son caractère résidentiel populaire et par une bonne accessibilité, dans la mesure où elle est desservie par plusieurs systèmes de transports publics.
03 - Paraisópolis	Favela, enclave de ménages à revenus modestes située à l'intérieur d'un secteur résidentiel à hauts revenus et qualifié de prestigieux. Paraisópolis présente localement des caractéristiques morphologiques et un équipement réduit en infrastructures routières qui y limitent la circulation. En revanche, elle bénéficie d'une position assez centrale dans l'agglomération et se trouve à proximité de plusieurs grands axes routiers qui la relient assez facilement au centre.
04 - Grajaú	Zone d'occupation irrégulière et de logements précaires située au sein d'un espace de protection naturelle, essentiellement résidentielle et composée de ménages à faibles revenus. On y trouve aussi à proximité des ménages à hauts revenus. La dotation en infrastructures viaires et la desserte en transports en commun y sont limitées.
06 - Vila Nova Cachoeirinha	Zone populaire résidentielle formée à partir de lotissements implantés sur des terrains vallonnés et segmentés par des ruisseaux qui conditionnent son réseau viaire. Cette zone consolidée, où vivent des ménages à revenus modestes et moyens, bénéficie d'une relative proximité aux secteurs centraux de SP.
07 - Guarulhos	Située dans l'espace central du <i>município</i> de Garulhos, cette zone est caractérisée par un usage résidentiel de classe moyenne, et dispose d'une accessibilité favorisée par la proximité du bassin d'emplois autour de l'aéroport.
08 - Cidade Tiradentes	Logements sociaux organisés en grands ensembles construits par les pouvoirs publics en marge desquels se trouve une favela. Son éloignement des centres d'emplois implique un volume élevé de mouvements pendulaires. Elle se caractérise également par une desserte peu performante en transports en commun.
09 - Suzano Jardim Leblon	Zone à l'extrême est de la Région métropolitaine de São Paulo, très éloignée des centres d'emplois, assez mal connectée au reste de la RMSP. Se caractérise par une faible densité résidentielle et par la présence de demeures entourées de vastes jardins, occupées par des populations à revenus moyens ou faibles.
10 - São Bernardo do Campo	Localisée entre les deux grandes zones industrielles implantées le long d'axes routiers structurants de la RMSP, cette zone occupée par des ménages à revenus moyens ressort comme un îlot résidentiel implanté au milieu d'usines. Localement, le réseau routier est peu hiérarchisé et peu de grands axes innervent la zone rendant la circulation difficile à l'intérieur de cette dernière. Les stratégies de mobilité dépendent essentiellement de l'automobile.
11 - Bixiga	Zone résidentielle populaire implantée sur des terrains à topographie accidentée qui façonne son réseau viaire et la forme de ses îlots. Est délimitée par le centre historique et l'Avenue Paulista, deux pôles d'emplois et d'activités.

Méthode : analyses centrographique et typologique

Caractérisation et comparaison de semis de points: l'analyse centrographique

La première étape a consisté à localiser les lieux fréquentés au quotidien par les individus pour le travail et les activités scolaires (études primaires, secondaires et supérieures)¹². Nous excluons de facto ici les individus exerçant une activité à leur lieu de résidence, qui représentent 7022 personnes sur les 61 045 actifs découlant d'une extrapolation à partir de notre échantillon, soit près de 12 % du total. Nous excluons aussi les 5496 (9 %) personnes exerçant une profession difficile à localiser (vendeur ambulancier, travailleur de rue, travailleur se déplaçant dans un véhicule).

Les lieux fréquentés au quotidien ont été positionnés dans un premier temps sur le centroïde des districts de destination, à défaut d'une localisation plus fine. En effet, les adresses de destination n'ont pas pu être recueillies avec précision lors des enquêtes, compte tenu des problèmes de nomenclature qui peuvent exister dans une agglomération de cette envergure. Il est important de préciser aussi que nous n'avons pas pu associer tous les lieux de destination à des districts, du fait de problèmes liés au recueil même ou au codage ultérieur. Cette limite concerne surtout les navettes domicile-travail et explique les différences entre l'effectif de l'échantillon initial et celui de l'échantillon localisé (les effectifs sont annotés dans les figures 2, 3 et 6).

Cette localisation par centroïde restait parfois peu précise, car certains districts en périphérie sont très vastes et partiellement urbanisés (certains pouvant atteindre près de 52 000 ha). Ce manque de précision est malgré tout à relativiser, car les districts périphériques étendus ne correspondent qu'à une très faible proportion des lieux de destination. En effet, au sein de notre population d'enquête, 68 % des déplacements pour le travail et 62 % des déplacements pour les activités scolaires s'effectuent vers des districts dont la superficie est inférieure à 1350 ha (surface médiane des districts). Ainsi, pour les deux tiers des déplacements, le choix du centroïde du district de destination est acceptable pour localiser les lieux fréquentés au quotidien, d'autant que notre échelle de restitution ici est celle de l'agglomération.

Dans le cas particulier des districts périphériques, le centre géométrique naturel est parfois localisé dans des secteurs inhabités, faussant de facto le calcul de la dispersion des lieux fréquentés. Nous avons corrigé ce problème en remplaçant les centroïdes sur les parties urbanisées des districts¹³. Le positionnement de l'ensemble des lieux de destination a été in fine vérifié afin d'éviter les espaces boisés et les étendues d'eau.

Ensuite, dans le SIG, nous appliquons sur ces lieux une analyse centrographique, méthode introduite par Bachi en 1963, afin de calculer des indicateurs synthétiques

¹² Ces trajets représentent près de 40 % des trajets quotidiens (Cia do Metrô, 2008). Les 60 % restants englobent tous les autres motifs, notamment les retours au domicile.

¹³ Pour ce faire, nous avons calculé le barycentre pondéré par la population disponible à une échelle inférieure, les secteurs censitaires. Ces derniers s'emboîtent parfaitement dans les districts (découpage hiérarchique).





de dispersion spatiale (calcul des points moyens ¹⁴, des distances types et des ellipses de dispersion). Les calculs du centre moyen et de la distance type (influençant la taille de l'ellipse) sont ici pondérés par le nombre d'individus sur leur lieu de destination ¹⁵.

L'analyse centrographique est particulièrement bien adaptée pour résumer et caractériser des semis de points à l'aide d'indicateurs (position moyenne, taille, forme, orientation). Elle permet également de visualiser et comparer l'agencement des ellipses les unes par rapport aux autres sur un espace donné.

Cette méthode a été abondamment appliquée à la thématique des mobilités quotidiennes (lieux de destination ou trajectoires), et d'autant plus ces 30 dernières années que la disponibilité de données localisées à l'adresse s'est accrue et que des outils permettant de mettre en œuvre cette méthode ont été intégrés dans les logiciels de SIG ¹⁶. Donald et Goodchild (1983) l'ont par exemple appliquée à 1500 personnes dans la ville d'Halifax pour décrire, à différents moments d'une journée, les positions moyennes ainsi que les degrés de concentration spatiale et de ségrégation de différents sous-groupes de personnes, répartis suivant des caractéristiques socio-démographiques (classes d'âge, statut matrimonial, statut d'occupation du logement, langue parlée au sein du ménage, niveaux d'éducation, taux de motorisation). Noël et al. (2001) ont utilisé cette méthode pour établir les déterminants des stratégies de déplacement et les espaces d'action (ensemble de lieux fréquentés) de 200 cyclistes dans la région de Québec, qu'ils ont ensuite confrontés à l'organisation du territoire et au milieu de résidence. Morency (2006) l'emploie sur les données de l'enquête origine-destination de 1988 à l'échelle de l'agglomération de Montréal (échantillon de 65 000 ménages) et analyse la distribution spatiale des segments de population différenciés selon la taille des ménages, les revenus, l'âge, le taux de motorisation et l'usage des transports en commun. Lord et al. (2009) recourent à cette méthode pour mesurer l'évolution, entre 1999 et 2006, des espaces d'action d'une centaine de personnes âgées résidant dans la banlieue de Québec dont ils dressent une typologie qu'ils interprètent au regard de la relocalisation des services de proximité et de critères sociodémographiques tels que l'âge, le niveau d'autonomie et les revenus. Imbert et al. (2009) ont testé cette méthode dans le cadre d'une enquête portant sur un peu plus de 900 individus, réalisée à Poitiers en 2005 et 2006. L'objectif était de décrire les mobilités qu'ils ont mises en balance avec le fonctionnement des ménages, les choix résidentiels, la localisation et les caractéristiques des résidences. Ce rapide aperçu des cas d'utilisation de l'analyse centrographique nous renseigne également sur les caractéristiques sociodémographiques employées pour appréhender les facteurs qui influencent les pratiques de mobilité quotidienne (voir section suivante).

¹⁴ Nous avons également calculé les points médians (davantage adaptés aux semis de points présentant différents agrégats). Les écarts de positionnement entre points moyens et points médians sont plus marqués pour les zones d'enquête les plus périphériques (destinations plus variées, trajets plus longs), mais n'excèdent pas 3,2 km, ce qui est peu au regard de l'étendue de l'agglomération. Par ailleurs, ces écarts jouent uniquement sur le positionnement des ellipses, mais pas sur leur taille, leur orientation et leur forme. L'agencement des ellipses les unes par rapport aux autres ne change donc pas, quelle que soit la méthode retenue pour le calcul de leur centre.

¹⁵ L'outil retenu pour calculer les ellipses de dispersion est le SIG gratuit SavGIS (www.savgis.org) (voir Souris et al., 2007).

¹⁶ Marius Thériault, chercheur au Centre de recherche en aménagement et développement (CRAD) rattaché à l'Université Laval (Québec) a mis au point, en 1994, une application exécutable sur le logiciel Mapinfo (Mapstat). Cet outil a contribué à répandre l'utilisation de l'analyse centrographique parmi les géographes et aménageurs.

Dans notre cas, cette méthode est d'autant plus simple à mettre en œuvre que nous ne considérons qu'une seule destination par jour et par individu. Le semis de points des destinations ne fluctue donc pas au cours d'une journée. Ceci étant, il est important de rappeler que pour calculer une ellipse, il faut au moins deux points (ici deux destinations différentes), condition qui n'est pas toujours remplie (voir la section des résultats). En effet, il arrive que tous les déplacements effectués au départ d'une zone n'aient qu'une seule destination. Ce cas s'observe notamment sur la figure 2 pour les déplacements vers un établissement scolaire, au départ de la zone 9. Cette dernière est située dans un district particulièrement vaste (9800 ha) et les individus scolarisés restent dans leur district de résidence.

De même, pour calculer une ellipse, il faut un effectif suffisant, sans quoi l'ellipse aura peu de sens (limite déjà évoquée par Imbert et al., 2009). Sur les figures 2, 3 et 6, les effectifs sont variables selon les zones d'enquête et le critère de différenciation retenu (motif de déplacement, classe de revenus, classe sociodémographique). Ceci s'explique par le mode de sélection des zones d'enquête. Dans notre étude, nous avons tracé les ellipses uniquement lorsque le nombre de personnes appartenant à une classe sociodémographique et une zone d'enquête données est au moins égal à cinq¹⁷. Enfin, il arrive qu'aucun individu appartenant à une classe sociodémographique donnée ne réside dans certaines zones d'enquête¹⁸.

Ces différences d'effectifs ne constituent pas pour autant un obstacle à la comparaison des ellipses entre elles. En effet, la taille des ellipses n'est pas fonction de l'effectif. Sur les figures 3 et 6, les coefficients de corrélation R entre effectifs soumis à l'enquête et surfaces elliptiques valent respectivement 0,13 et 0,11¹⁹. L'absence d'ellipse renseigne également sur les particularités des pratiques de déplacement dans une zone donnée.

Choix des variables : exploration préliminaire à l'aide de l'approche univariée

De nombreuses études mettent en évidence le lien entre variables individuelles (sexe, âge, activité, etc.), variables relatives aux ménages (revenus du ménage, conditions de logement, etc.), variables contextuelles (localisation de la parentèle, caractéristiques du quartier, etc.) et pratiques de mobilité quotidienne. Outre les références mentionnées dans le paragraphe précédent, on peut faire allusion aux travaux de Baccaïni. Cette auteure montre qu'en Île-de-France, « les trajets domicile -travail varient fortement selon les professions... D'autres caractéristiques des actifs ont un effet sur leur mobilité quotidienne : en particulier, la propension des actifs à faire une longue navette varie selon leur âge ou leur choix résidentiel, à catégorie socioprofessionnelle donnée » (1996: 109). Dans un contexte sud-américain, Delaunay (2010) mesure, à partir des données de recensement, l'évolution des mobilités quotidiennes déclinées selon la catégorie socioprofessionnelle et le cycle de vie dans l'agglomération de Santiago du Chili.

17 On observe deux cas seulement en dessous de ce seuil sur la figure 6. Ce seuil a été choisi compte tenu de l'effectif par classe sur notre population enquêtée. Sur la figure 6, les individus ont été répartis en cinq classes sociodémographiques. Certaines catégories d'individus sont peu présentes localement. C'est donc sur cette figure que l'effectif est le plus faible (en moyenne 29 individus par classe et par zone, avec un maximum de 63).

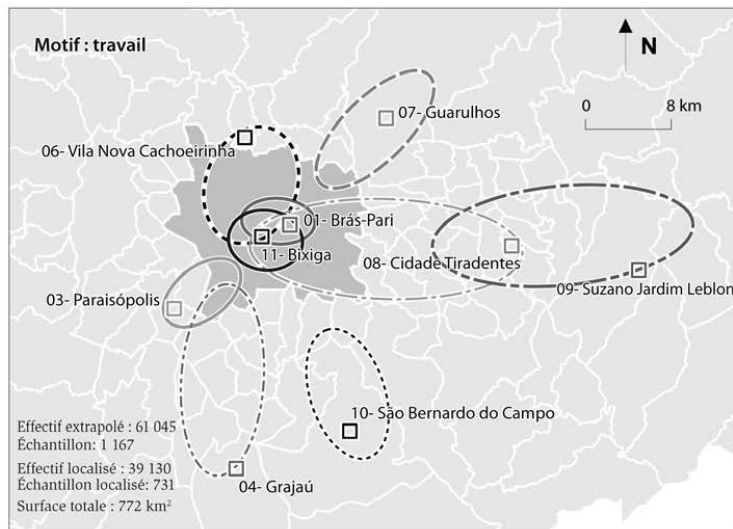
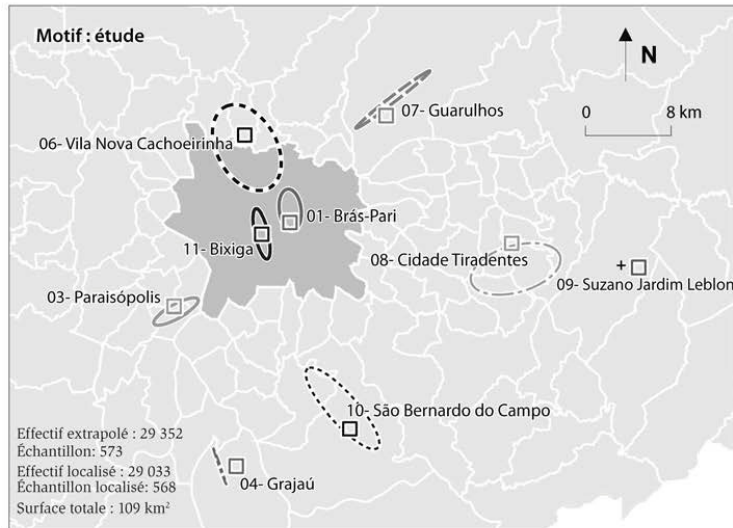
18 Trois cas se présentent sur la figure 6.

19 Sur la figure 2, ce coefficient est légèrement plus élevé (0,41). Cela s'explique par le fait que les déplacements effectués pour le travail ont des destinations plus variables que pour les études (logique de proximité). Ainsi, lorsque l'effectif augmente, la variabilité des destinations augmente aussi, pour le travail plus que dans le cas des trajets pour étude.






Figure 2 : Dispersion des lieux de destination des individus selon le motif de déplacement et leur lieu de résidence



Réalisation : F. Demoraes - ANR METAL - (SavGIS)

 Limite extérieure de la première couronne
 Les divisions à l'extérieur de la première couronne représentent les districts
 Cas particuliers (absence d'ellipse) : + district de destination = district de résidence
 Les ellipses représentent un résumé de la dispersion spatiale des lieux d'activité (école et travail) fréquentés par les individus enquêtés, selon leur lieu de résidence



D'autres auteurs analysent la façon dont interagissent les dimensions quotidienne et résidentielle de la mobilité, très longtemps étudiées séparément comme le rappelle, entre autres, Lévy (2009)²⁰. Si ces études sont de plus en plus fréquentes à l'échelle des agglomérations urbaines en Europe et Amérique du Nord, rares sont celles qui portent sur des villes latino-américaines. Berger et Beaucire (2002) et Berger (2004) décryptent l'articulation entre les choix résidentiels, la localisation des emplois et la durée des navettes pour les périurbains de Paris. Pochet et Routhier (2002) étudient l'impact des migrations résidentielles sur l'allongement des distances domicile-travail dans la grande région urbaine lyonnaise. Rodríguez (2007) analyse les interactions entre mobilités quotidiennes et résidentielles et ségrégation résidentielle socioéconomique à Santiago du Chili. Dureau et al. (2012) analysent les inégalités d'accès au reste de la ville chez les résidents d'un quartier de l'ouest de Bogotá, inégalités remises en perspective avec la trajectoire biographique des individus et la transformation de leur quartier sur une décennie. Ces analyses permettent de contribuer à la réflexion sur le concept de « mobilités spatiales » (Lévy et Dureau, 2002), entendu comme l'ensemble des mobilités expérimentées par les individus et leur famille à différents rythmes et échelles.

Dans notre étude, la première étape a consisté à choisir les variables parmi celles employées habituellement, compte tenu de l'influence qu'elles peuvent avoir sur les mobilités quotidiennes. De nombreux auteurs (Ántico, 2005 ; Aranha, 2005), exploitant les données des grandes enquêtes origine-destination réalisées à São Paulo par la Companhia do metrô, soulignent que les espaces de mobilité sont fortement dépendants des motifs de déplacement et du revenu des ménages et que cette tendance n'a que peu évolué ces 15 dernières années. Demoraes et al. (2010) indiquent que 49,6% des déplacements pour le travail sont effectués, en 2007 à São Paulo, à l'intérieur de la zone de résidence des individus, alors que le chiffre atteint 85,6 % pour les déplacements pour étude. Comme dans la plupart des grandes villes, les individus à São Paulo parcourent donc des distances plus longues pour accéder à un emploi que pour se rendre à leur lieu d'étude. De son côté, Vasconcellos (2005) montre que le pourcentage d'immobiles va décroissant avec l'augmentation des revenus alors que les distances moyennes parcourues vont croissant. L'accès à la mobilité, à São Paulo, semble donc être directement corrélé aux revenus.

Les données recueillies lors de l'enquête METAL permettent-elles de confirmer ces constats ou leur apportent-elles des nuances ?

Pour répondre à cette première interrogation, nous explorons, à l'aide d'ellipses, la distribution spatiale des lieux pratiqués au quotidien suivant le motif du déplacement (étude/travail) et les revenus²¹, différenciée selon le lieu de résidence (figures 2 et 3).

Espaces de mobilité, cycle de vie et hiérarchie sociale : approche multivariée

Le principe, ensuite, est d'explorer de façon plus approfondie l'influence des caractéristiques sociodémographiques, non plus prises une à une mais combinées entre elles, sur la dispersion des espaces fréquentés (position, taille, forme, orientation).

²⁰ L'interaction des différents registres de la mobilité est un thème scientifique au cœur des débats actuels. Le sujet a notamment fait l'objet du 9^e colloque Mobilités spatiales et fluidité sociale, de l'Association internationale des sociologues de langue française (AISLF) à Luxembourg, en mars 2009.

²¹ Tous les membres d'un ménage ont le même revenu.





En effet, les variables sociodémographiques sont en partie liées et varient de façon plus ou moins concomitante tout au long du cycle de vie. En règle générale, de façon schématique, un individu au cours de sa vie passera progressivement de l'école au monde du travail, améliorera ses revenus et accédera à la propriété résidentielle.

L'une des originalités de l'enquête METAL est justement de décrire, pour chaque individu, à la fois ses mobilités quotidiennes et ses caractéristiques sociodémographiques telles que l'âge, le statut d'occupation du logement (propriétaire/locataire) ou encore l'ancienneté dans le logement. Ces caractéristiques donnent des indications sur l'étape à laquelle l'individu se trouve dans son cycle de vie que l'on peut confronter à son degré d'accès à la ville, ce qui constitue une source de données unique en son genre à São Paulo.

L'objectif est donc de définir une typologie des individus suivant la hiérarchie sociale et l'étape à laquelle ils se trouvent dans leur cycle de vie, et de comparer la dispersion des lieux de destination des individus regroupés par types, pour chacune des zones de résidence. Nous appliquons, par conséquent, une analyse des correspondances multiples (ACM) suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) à l'ensemble des personnes enquêtées, décrites selon les caractéristiques sociodémographiques suivantes : le sexe, l'âge, l'activité (étude ou travail), l'ancienneté de l'individu dans le logement, le statut d'occupation du logement (propriétaire, locataire, etc.), le niveau d'éducation ainsi que le revenu moyen du ménage auquel l'individu appartient (tableau 2). Cet enchaînement de méthodes constitue une analyse typologique et s'applique bien à des données d'enquêtes sur les systèmes de mobilité²². Cette analyse permet ainsi de situer les individus dans leur cycle de vie²³ et dans la hiérarchie sociale.

La typologie est enrichie et illustrée par les indicateurs de déplacement mis en éléments supplémentaires²⁴ : le mode de transport, le temps de trajet vers le lieu d'activité (travail ou étude), la destination (centre, première couronne, deuxième couronne, etc.) et un dernier indicateur qui permet d'estimer la distance parcourue vers le lieu de travail ou d'étude (exprimé en termes de voisinage calculé au moyen d'un graphe de contiguïté : sur le lieu de résidence, à l'intérieur du district de résidence, dans un district adjacent, dans un district non adjacent). Ces indicateurs viennent également compléter et expliquer les écarts observés dans la dispersion des espaces fréquentés.

Les données et les méthodes ayant été présentées, l'objet de la deuxième partie est d'exposer les premiers résultats.

22 «L'analyse des correspondances multiples permet de décrire de vastes tableaux binaires, dont les fichiers d'enquêtes socioéconomiques constituent un exemple privilégié : les lignes de ces tableaux sont en général des individus ou observations (il peut en exister plusieurs dizaines de milliers) ; les colonnes sont des modalités de variables nominales, le plus souvent des modalités de réponses à des questions » (Lebart et al., 2006: 187). Les variables continues telles que l'âge, le revenu, l'ancienneté dans le logement et la durée du trajet sont découpées en classes et transformées ainsi en variables nominales. L'outil retenu pour l'analyse typologique est le logiciel SPAD.

23 Construire une typologie, liée au cycle de vie dans notre étude, c'est choisir un groupe homogène de variables actives et adopter un point de vue particulier selon lequel on veut décrire une population. On définit alors, dans une enquête, des groupes homogènes de variables relatives aux différents modules ou thèmes d'une enquête (Lebart et al., 2006: 304).

24 Les variables supplémentaires – passives ou illustratives – ne participent ni à la formation ni à la définition des axes ou des classes, mais elles interviennent a posteriori pour les caractériser. Leur introduction dans l'analyse conforte et enrichit l'interprétation des classes ou des axes définis par les variables actives (Lebart et al., 2006).



Tableau 2 Description des variables retenues pour l'analyse et détail des modalités associées

Variables socio-démographiques	Modalité (libellé)	Description	Indicateurs de déplacement	Modalité (libellé)	Description
Sexe	fem	Femme		A pé	À pied
	masc	Homme		bicicleta	Vélo
Âge	-12ans	Classes d'âge		carro	Voiture particulière
	12-25ans		combinado	Plusieurs moyens de transport	
	25-40ans		onibus	Bus public	
	+60ans		metrô	Métro	
Activité	trab	Travailleurs	Mode de transport	moto	Moto
	Cours	Écoliers, collégiens, lycéens, étudiants		outro meio	Autre mode de transport
	C&W	Travailleurs étudiant en parallèle		táxi	Taxi
				transporte	Ramassage scolaire ou transport d'entreprise
Ancienneté de l'individu dans le logement	Dur-1an	Nombre d'années passées dans le logement enquêté		trem	Train de banlieue
	Dur-5ans				
	Dur-10ans				
	Dur+10ans				
Niveau d'éducation	nenhum	Sans formation	Temps de trajet vers le lieu d'activité	0min	Classes de durée de trajet vers le lieu d'activité (école ou travail)
	fundam	Élémentaire		-10min	
	médio	Secondaire		10-20min	
	superior	Supérieur		20-30min	
	técnico	Technique		30-60min	
Revenu moyen du ménage	Rev_nr	Revenu non communiqué		+60min	
	Rev1	Moins de 500 reais	Destination	Centro	Centre
	Rev2	500 - 2500 reais		Anel 1	Couronne 1
	Rev3	2500 - 5000 reais		Anel 2	Couronne 2
	Rev4	Plus de 5000 reais		Anel 3	Couronne 3
Statut d'occupation du logement	Alugad	En location	Anel 4	Couronne 4	
	Cedida	Logé à titre gratuit (usufruit)			
	Ocupad	Occupant illégal	Distance parcourue	DISTR	À proximité (à l'intérieur du district de résidence)
	Propr_nq	Propriétaire d'un logement en cours de remboursement		DISTR_adj	Intermédiaire (vers un district limitrophe)
	Propr_q	Propriétaire d'un logement remboursé		DISTR_nadj	Lointain (vers un district non limitrophe)



Résultats: contribution à la réflexion sur la question des inégalités d'accès aux ressources de la ville

Accès aux ressources urbaines au regard du lieu de résidence selon l'approche univariée (activité, revenus)

La figure 2 indique, comme on s'y attendait, que les espaces de mobilité sont beaucoup plus étendus pour le travail que pour les études, et ce, quelle que soit la zone d'enquête. La somme des surfaces elliptiques passe ainsi de 109 km² pour les études à 772 km² pour le travail. En d'autres termes, les distances parcourues pour étude sont globalement moins longues, davantage « domocentrées »²⁵ et les destinations moins variées que pour le travail, ce qui confirme les résultats de l'enquête origine-destination réalisée par la Companhia do metrô en 2007. Ce constat s'explique en partie par une couverture en établissements scolaires globalement régulière sur l'ensemble de l'agglomération et par un aspect fonctionnel dans la mesure où c'est l'école la plus proche qui est généralement fréquentée (logique locale).

Pour la zone d'enquête 09, aucune ellipse n'apparaît, car tous les déplacements effectués au départ de cette zone pour se rendre à un établissement scolaire n'ont qu'une seule destination, le district de résidence. En ce qui concerne l'offre d'emplois, encore fortement concentrée dans le centre et la première couronne (figure 1), elle explique l'orientation centripète des ellipses.

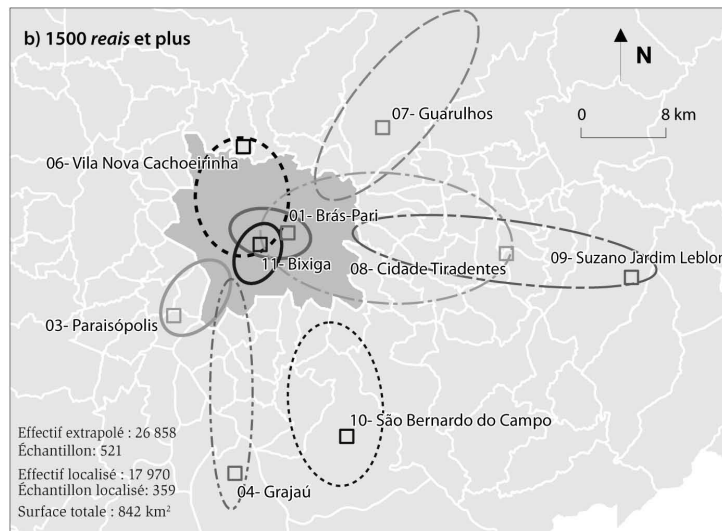
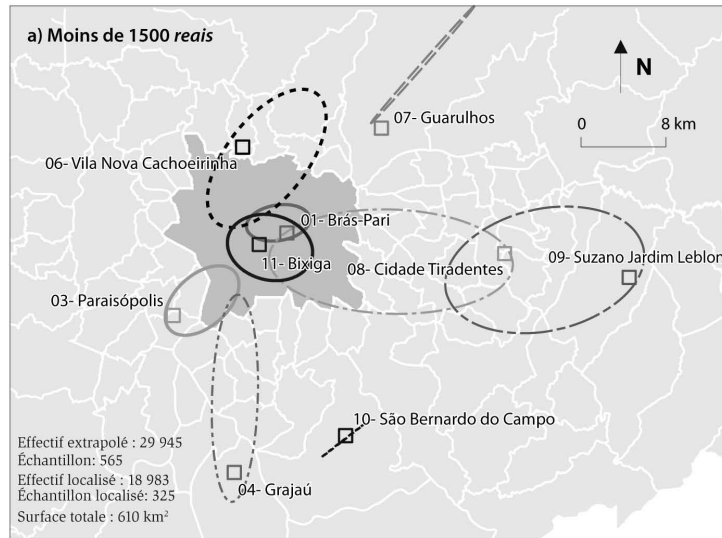
La figure 3 illustre la relation qui existe entre le revenu des ménages et les destinations pour le travail depuis chaque lieu de résidence. Nous dissociions deux classes en regroupant les tranches de revenus initiales présentes dans le questionnaire. Si la somme des surfaces elliptiques des moins aisés (610 km²) est globalement inférieure à celle des plus aisés (842 km²), ce qui tendrait à confirmer les résultats de l'enquête origine-destination de 2007 indiquant que la mobilité augmente avec les revenus, les enquêtes METAL permettent de nuancer localement ce constat.

Sur la figure 3a (moins de 1500 reals), trois zones périphériques (07, 09, 10) semblent ne pas être polarisées par l'espace central (principal bassin d'emploi de l'agglomération). Leur ellipse n'atteint pas les limites extérieures de l'espace central. Il semble donc que, pour les individus les plus modestes de ces trois zones, l'espace central ne soit pas financièrement accessible, ce qui ne se vérifie pas pour deux autres zones périphériques (04 et 08). Comme en témoignent l'orientation et le net désaxage de leur ellipse par rapport à leur point d'ancrage, les résidents de ces deux zones semblent donc contraints, malgré la distance et leur limite pécuniaire, d'accéder à l'espace central (ou de s'en rapprocher) pour travailler. Ces déplacements sont néanmoins possibles dans la mesure où le réseau ferroviaire de banlieue et le métro (pour la zone 08) passent à proximité (figure 1).



²⁵ Expression proposée par Noël et al. (2001) pour qualifier les espaces d'action des personnes âgées et qui signifie que l'ellipse est centrée sur le lieu de résidence et résume un nombre restreint de lieux visités sur le territoire. Dans notre cas, l'ellipse ne synthétise pas la distribution géographique des différents lieux fréquentés par une même personne, mais bien l'ensemble des lieux visités pour le travail ou les études par l'ensemble des individus ayant participé à l'enquête par zone de résidence. Cette précision étant indiquée, nous nous permettons dans cet article de transposer le sens original.



Figure 3 : Dispersion des lieux de destination des individus selon le revenu de leur ménage et leur lieu de résidence (trajets pour le travail)



Réalisation : F. Demoraes - ANR METAL - (SavGIS)

 Limite extérieure de la première couronne
 Les divisions à l'extérieur de la première couronne représentent les districts

Les ellipses représentent un résumé de la dispersion spatiale des lieux pour le travail fréquentés par les individus enquêtés, selon leur lieu de résidence
 N.B. : le revenu n'est pas renseigné pour 45 actifs

Sur la figure 3b (1500 reais et plus), les espaces de mobilité augmentent fortement (ellipses plus vastes) pour les quatre zones périphériques de l'est (07, 08, 09 et 10). Les ellipses sont toutes nettement orientées vers l'espace central. Pour les zones 03 et 04, la taille, la position et la forme des ellipses ne changent pas beaucoup par rapport à la figure 3a, ce qui montre qu'il n'y a que très peu de possibilités de travail localement quel que soit le niveau de qualification. En ce qui concerne les deux zones à l'intérieur de l'espace central (01 et 11), les ellipses ne varient beaucoup ni en taille, ni en forme par rapport à la figure 3a et restent domocentrées. Cette inertie dans la dispersion des lieux fréquentés pour le travail s'explique localement par la concentration d'une très grande variété d'emplois.

Cette première analyse a permis de différencier les individus suivant deux variables sociodémographiques, prises une à une. Cette première approche, si elle permet d'appréhender certains facteurs qui conditionnent en partie l'inégal accès aux ressources de la ville au regard du lieu de résidence, n'en demeure pas moins partielle. En effet, l'approche univariée proposée ici simplifie les observations, car elle réunit des individus qui se ressemblent sur un critère (même classe de revenus, par exemple) mais qui peuvent être radicalement différents sur d'autres (statut d'occupation du logement, par exemple). Nous proposons donc ci-après d'explorer les espaces de destination déclinés selon une typologie établie à partir d'un plus large ensemble de caractéristiques sociodémographiques individuelles (tableau 2). Comme nous le montrons, cette approche revient à explorer la relation des individus à l'espace à travers le prisme du cycle de vie et de la hiérarchie sociale.

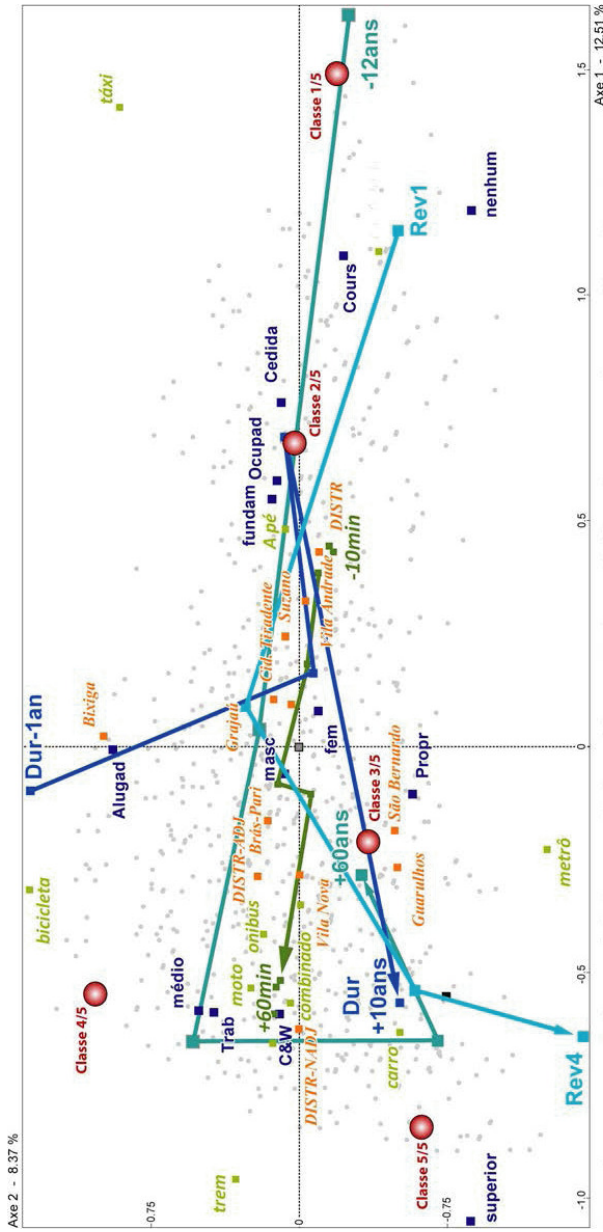
Accès aux ressources urbaines au regard du lieu de résidence suivant l'approche multivariée: déclinaison des ellipses suivant les profils sociodémographiques

À la lecture du plan factoriel ²⁶ (figure 4), on retrouve le long du premier axe une distinction entre les individus qui travaillent et ceux qui étudient ou vont à l'école, distinction fortement liée à l'âge, et le long du deuxième axe, une opposition entre propriétaires et locataires dont l'arrivée dans le logement est récente. Le premier axe dissocie aussi les individus à faibles revenus, sans formation, des individus plus aisés ayant suivi une formation supérieure. La position des indicateurs de déplacements (en supplémentaire) autour de l'origine du plan factoriel montre qu'ils sont peu illustratifs de la structure sociodémographique des individus, en dehors de l'usage de certains modes de transport. Ainsi, la voiture, davantage associée aux travailleurs plutôt aisés, et le transport scolaire, logiquement associé aux individus jeunes aux études, s'opposent nettement sur l'axe 1. Une autre opposition s'observe sur l'axe 2 entre les déplacements en métro, plutôt associés aux propriétaires, et les déplacements en vélo, rattachés aux locataires récemment installés. Enfin, la position du nom des zones d'enquête (en supplémentaire) autour de l'origine du plan factoriel renseigne également sur leur faible pouvoir discriminant. Ceci s'explique par le choix des zones d'enquête caractérisées par une grande hétérogénéité sociodémographique, sauf à Bixiga (tableau 1).

²⁶ Nous rappelons que les taux d'inertie relatifs aux axes factoriels sont dépendants du codage préliminaire de l'information brute ; dans le cadre d'une analyse des correspondances multiples, ils dépendent par conséquent du codage disjonctif complet et sont généralement faibles. Il faut donc éviter de les interpréter en termes « d'information », car ils rendent compte de mesures pessimistes de l'information extraite à partir de l'axe (Lebart et al., 2006: 205 et 223).



Figure 4 : Plan factoriel : caractérisation des individus participant à l'enquête à São Paulo dans le cadre du programme ANR METAL



Le semis de points gris correspondant aux individus, les noms en bleu les variables actives. Tous les autres libellés en italique correspondent aux variables supplémentaires : en minuscule orange les zones d'enquête, en majuscule orange les destinations par voisinage, en vert les indicateurs de mobilité et en marron les classes. Les libellés sont détaillés au tableau 2. Les flèches indiquent l'ordre des modalités pour chaque variable.



La classification ascendante hiérarchique permet de dégager cinq classes d'individus décrites à la figure 5 par les modalités les plus caractéristiques. Ces classes sont projetées en éléments supplémentaires sur le plan factoriel principal (figure 4).

- La classe 1/5 (1 9% de l'échantillon extrapolé) regroupe les individus allant à l'école. Ceux-ci sont jeunes (moins de 12 ans), étudient à proximité de leur lieu de résidence (dans le même district) et se rendent à leur établissement scolaire principalement à pied. Ce sont les « élèves ».
- La classe 2/5 (1 0% de l'échantillon extrapolé) rassemble des individus défavorisés, logés à titre gratuit, ayant des revenus modestes, se déplaçant principalement à pied, à proximité de leur lieu de résidence (dans le même district). Ce sont les « démunis ».
- La classe 3/5 (22 % de l'échantillon extrapolé) réunit de jeunes actifs étudiant en parallèle et des individus aux études. Eux se déplacent à proximité de leur lieu de résidence (dans le même district), principalement à pied ou en bus. Ce sont les « étudiants ».
- La classe 4/5 (25 % de l'échantillon extrapolé) englobe les travailleurs, majoritairement âgés de 25 à 40 ans, ayant suivi des études secondaires, se déplaçant principalement en bus. On note également dans cette classe une forte proportion de locataires. Ce sont les « actifs de classe moyenne ».
- La classe 5/5 (24 % de l'échantillon extrapolé) regroupe des travailleurs, majoritairement âgés de 40 à 60 ans, se déplaçant en voiture, ayant un niveau d'études supérieures et parcourant des distances assez longues (vers des districts non limitrophes de leur lieu de résidence). Ce sont les « actifs aisés plus âgés ».

Les classes reflètent des différenciations marquées par le cycle de vie (âge, activité) et par la hiérarchie sociale (revenu, niveau d'étude). Le choix de retenir cinq classes correspond à un compromis permettant de disposer de classes d'effectifs suffisants pour le calcul des ellipses et qui structurent de façon significative la population étudiée. Ces classes montrent, à ce niveau de regroupement et par conséquent de façon schématique, que plus on avance en âge, plus les revenus augmentent, et que cette covariation est également fonction du niveau d'étude pour la population étudiée.

La figure 6 représente une ellipse pour chacune des cinq classes sociodémographiques définies précédemment, par lieu de résidence. Premier constat, les espaces de mobilité quotidienne reflètent une forte hétérogénéité suivant le lieu de résidence ; la position, la forme, l'orientation et la taille des ellipses varient beaucoup en fonction de la zone étudiée. Deuxième constat, à de rares exceptions près, les individus d'une même classe d'appartenance n'accèdent pas de la même manière aux ressources urbaines (étude/travail) suivant leur lieu de résidence. Troisième constat, les ellipses de chaque classe sont tantôt assez semblables entre elles pour une même zone d'enquête, tantôt très contrastées. Ainsi, trois catégories de lieu de résidence se dégagent, compte tenu de la relation qu'entretiennent les individus à l'espace :



- Pour les zones d'enquête du centre (01 – 11) et du centre-ouest (03), les ellipses ne sont pas très différenciées d'une classe à l'autre et sont plutôt ramassées. En somme, à proximité de ces trois lieux de résidence, la ville offre emplois et lieux d'étude pour tous les individus quelle que soit leur classe sociodémographique d'appartenance.
- Pour les trois zones d'enquête du nord (06- 07) et du sud-est (10), les ellipses sont un peu plus étirées, sauf pour les classes 1 et 2 qui n'apparaissent pas toujours, soit du fait d'un nombre de destinations inférieur à deux, soit du fait d'un trop faible effectif (inférieur à 5). Pour la classe 1/5 (scolaires), sans ellipse pour les zones 07 et 10, cette observation confirme le fait que les trajets pour étude se font à proximité du lieu de résidence²⁷. Pour la classe 2/5 (individus modestes), sans ellipse pour la zone 07, cela corrobore les caractéristiques de cette classe (déplacements à pied, à proximité du lieu de résidence). On observe ainsi une polarisation des flux localement (en particulier pour les classes 1/5 et 2/5) qui s'explique à la fois par la taille des districts localement, le niveau de richesse modeste des individus de ces deux classes, limitant le recours à un mode de transport motorisé, et par la présence de centralités secondaires à proximité²⁸, notamment au niveau de l'aéroport et dans le secteur ABC. Cette polarisation confirme les résultats obtenus à partir de l'enquête origine-destination de 2002 (Aranha, 2005). On observe en parallèle, pour ces trois zones, une relation de dépendance assez forte vis-à-vis du centre et des deux premières couronnes (compte tenu de l'orientation des ellipses) pour les classes 3/5 (étudiants), 4/5 et 5/5 (travailleurs).
- Pour les trois zones d'enquête les plus périphériques (04 – 08 – 09), les ellipses sont comparativement plus grandes et plus allongées (déplacements plus longs dans un faisceau de directions assez restreint), quelle que soit la classe (sauf là encore pour la 1/5). Les ellipses sont par ailleurs orientées pour la plupart vers le centre. Cette configuration s'explique à la fois par la localisation de ces trois zones d'enquête par rapport à l'ensemble de l'agglomération (sur les marges) et par un manque d'emplois locaux qui oblige les actifs à se déplacer loin pour accéder à du travail. Dans les zones 04 et 09, les actifs âgés les plus aisés, se déplaçant en voiture et ayant un niveau d'étude supérieur (classe 5/5), semblent pouvoir accéder à toute l'agglomération (et pas seulement au centre et à la première couronne), dans la mesure où sont associées à ces individus les ellipses qui sont à la fois les plus grandes et les moins aplaties (destinations plus variées). C'est également dans ces trois zones qu'on observe les contrastes les plus marqués entre les classes.

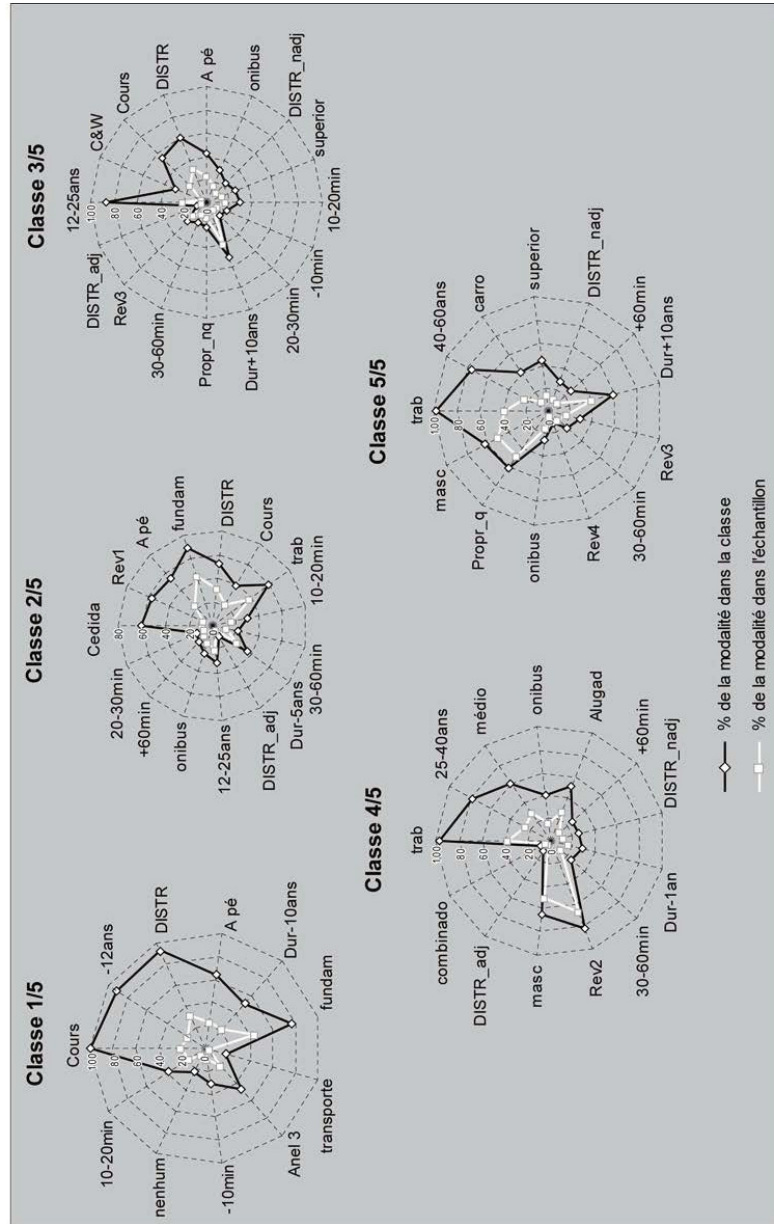
²⁷ Nous rappelons ici que l'offre éducative est plus équitablement répartie dans l'ensemble de l'agglomération que l'offre d'emploi (tout au moins pour le primaire et le secondaire).

²⁸ La consolidation de centralités secondaires en périphérie des agglomérations attire un nombre sans cesse grandissant de navettes. Paquette montre notamment, à Mexico, que « l'existence de ressources locales contribue par ailleurs à limiter les besoins – des citadins – en matière de déplacement pour réaliser un certain nombre d'activités quotidiennes. À l'heure où l'on valorise de plus en plus la mobilité [...] et où, inversement, les formes de sédentarité ont tendance à être interprétées comme des indices de relégation, voire de pauvreté, le centrage sur les espaces locaux des périurbains modestes de Mexico ne doit pas être lu comme une assignation à résidence, mais au contraire comme une forme d'ancrage qui permet le bon déroulement de la vie quotidienne, ainsi que le fonctionnement de la métropole » (2010: 172).





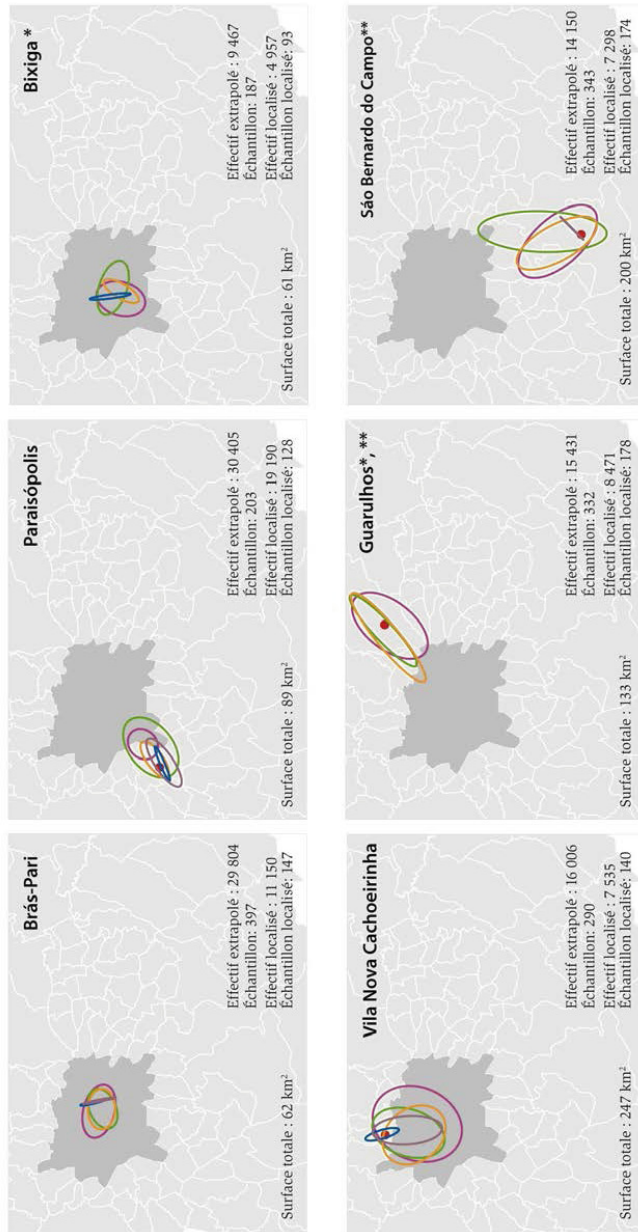
Figure 5 : Description des classes issues de l'analyse typologique

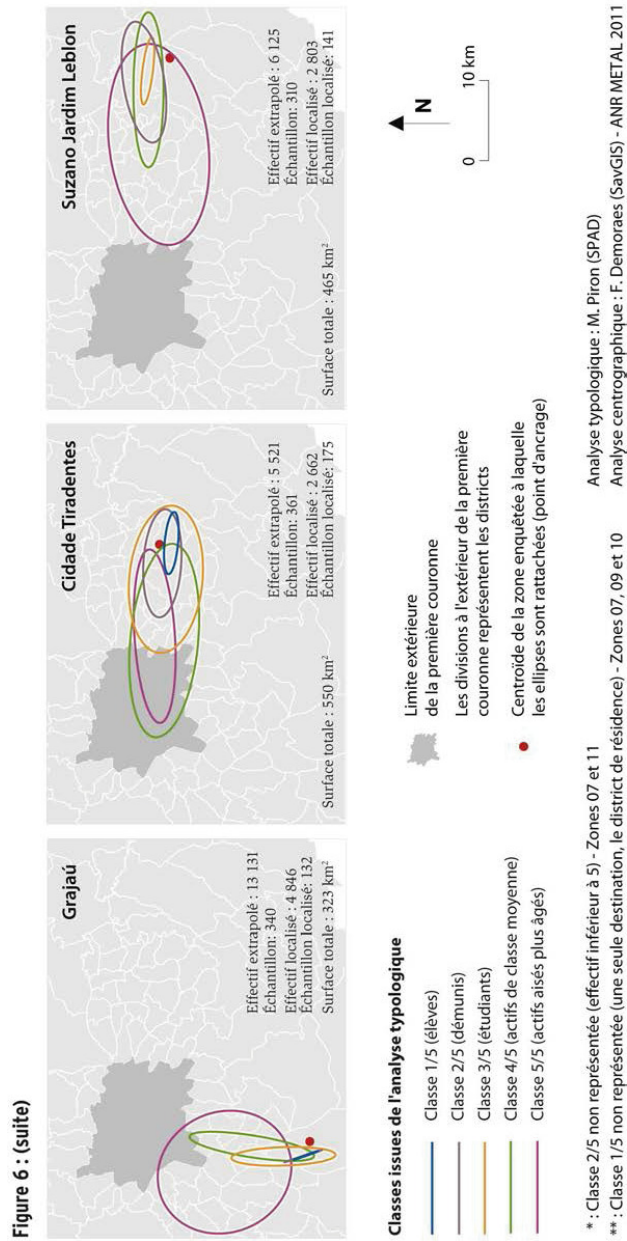


Note : les variables sont ordonnées par la valeur-test (lire dans le sens des aiguilles d'une montre). Celles qui ont les valeurs-test élevées caractérisent davantage la classe (1^{er} tiers). Le libellé des modalités est donné au tableau 2.



Figure 6 : Dispersion des lieux de destination des individus selon leur classe d'appartenance et leur lieu de résidence







Cet examen visuel confirme finalement que l'accès aux ressources urbaines (études/travail) est fortement conditionné par le lieu de résidence et, dans une moindre mesure, par le cycle de vie et la hiérarchie sociale. Par ailleurs, un gradient se dessine à l'échelle de l'agglomération de São Paulo : les inégalités d'accès se creusent avec l'éloignement au centre alors que l'espace central offre aux individus toutes les ressources, indépendamment de leur profil sociodémographique. L'orientation centripète des espaces de mobilité quotidienne pour les études et le travail confirme la persistance de la forte attractivité de l'espace central, même si, au-delà d'une certaine distance, les classes les plus modestes de la périphérie n'y ont plus accès.

Dans le même ordre d'idées, ces analyses nous interpellent aussi sur le « découplage spatial » entre lieu de résidence et lieu d'activité, qui s'accroît au fur et à mesure qu'on gagne la périphérie. Ce phénomène s'observe au vu du désaxage des ellipses par rapport à leur point d'ancrage (zone d'enquête). Notons que, contrairement à la notion de spatial mismatch introduite par Kain en 1968 pour décrire la dissociation spatiale très nette qui existait à Chicago et à Détroit entre les bassins d'emploi et les lieux de résidence des populations en particulier noire-américaine à bas revenus²⁹, le découplage spatial le plus marqué concerne ici avant tout les actifs aisés de la périphérie. Cette observation renvoie en partie à la stratégie résidentielle de ces individus qui ancrent leur domicile loin du centre, dans des complexes résidentiels (immeubles et pavillonnaires) fermés, plus sécurisés et plus homogènes socialement (entre soi, milieu affinitaire), un choix résidentiel qui implique en contrepartie de longues navettes quotidiennes en automobile.

Conclusion

La démarche, en partie exploratoire, élaborée dans cet article sur des données d'enquête a permis d'apporter des éclairages sur les disparités qui existent à São Paulo pour accéder à la ville. Cette démarche repose sur l'usage combiné de deux méthodes éprouvées, simples à mettre en œuvre (l'analyse centrographique et l'analyse typologique) même si leur application à des recueils issus d'enquête soulève quelques difficultés qui renvoient à la qualité des données en entrée (précision de la localisation, question des effectifs, nombre minimal de destinations). Dans notre cas, ces méthodes ont permis de synthétiser et visualiser les espaces de mobilité quotidienne et de les mettre en balance au regard du lieu de résidence, de la position des individus dans leur cycle de vie et de la hiérarchie sociale. Ces premiers résultats constituent un apport aux essais de décryptage des articulations entre les différents registres de la mobilité (notamment quotidienne et résidentielle), objet d'un nombre grandissant de travaux, tant les enjeux associés sont nombreux, en particulier dans le domaine de la gestion urbaine. Dans le prolongement de cet article, l'exploitation des entretiens approfondis nous permettra d'enrichir ces premiers résultats exploratoires et de mieux comprendre les disparités qu'on observe parmi les lieux fréquentés au quotidien. Nous pourrions notamment savoir si les espaces d'action reflètent des mobilités contraintes, des mobilités choisies, des mobilités contraignantes, autant d'indicateurs pour appréhender plus finement les inégalités sociospatiales d'accès à la ville.

²⁹ Le thème du spatial mismatch a été largement développé dans les études sur la ségrégation au cours de ces 40 dernières années. Un intéressant essai pour en modéliser les mécanismes d'un point de vue théorique est proposé par Gobillon et al. (2007).





À São Paulo, comme dans de nombreuses autres agglomérations en Amérique latine, le découplage spatial entre le lieu de résidence et les bassins d'emploi s'observe avant tout dans les espaces périphériques. Ce constat renvoie à un modèle de développement urbain extensif peu dense, caractérisé par une spécialisation fonctionnelle, où les emplois se concentrent majoritairement dans l'espace central, et qui est structuré par un réseau viaire à grande capacité rendant possible la circulation à grande vitesse et le parcours de longues distances. Dans ce modèle, la place des transports motorisés est centrale et le schéma conceptuel d'équité appliquée à l'accessibilité, mis à mal. Le découplage spatial met également en question la notion de développement durable. Quel est le degré de découplage spatial maximal acceptable dans les villes de demain ? La consolidation en périphérie de centralités secondaires sera-t-elle suffisante pour polariser des navettes en nombre sans cesse grandissant ? Est-ce une solution viable face à l'hypermobilité ou, au contraire, une telle consolidation ne risque-t-elle pas d'accentuer la fragmentation des grandes agglomérations ?



Bibliographie

- ÂNTICO, Cláudia (2005) Deslocamentos pendulares na região metropolitana de São Paulo. São Paulo Perspectivas, vol. 19, n° 4, p. 110-120. [En ligne]. <http://www.scielo.br/pdf/spp/v19n4/v19n4a07.pdf>
- ARANHA, Valmir (2005) Mobilidade pendular na metrópole paulista. São Paulo Perspectivas, vol. 19, n° 4, p. 96-109. [En ligne]. <http://www.scielo.br/pdf/spp/v19n4/v19n4a06.pdf>
- BACCAÏNI, Brigitte (1996) Les trajets domicile-travail en Île-de-France. Contraste entre catégories socioprofessionnelles. Économie et Statistique, n° 294-295, p. 109-126.
- BACHI, Roberto (1963) Standard distance measure and related methods for spatial analysis. Papers in Regional Sciences, vol. 10, n° 1, p. 73-132.
- BERGER, Martine (2004) Les périurbains de Paris. Paris, CNRS.
- BERGER, Martine et BEAUCIRE, Francis (2002) Mobilité résidentielle et navette. Les arbitrages des ménages d'Île-de-France. Dans Jean-Pierre Lévy et Françoise Dureau (dir.) L'accès à la ville. Les mobilités spatiales en questions. Paris, L'Harmattan, p. 141-166.
- BORSODORF, Axel (2003) Hacia la ciudad fragmentada. Tempranas estructuras segregadas en la ciudad latinoamericana. Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Universidad de Barcelona, vol. VII, n° 146 (122). [En ligne]. <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146%28122%29.htm>
- CLICHEVSKY, Nora (2000) Informalidad y segregación urbana en América Latina. Una aproximación. Serie Medio Ambiente y Desarrollo, n° 28. [En ligne]. <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/8/5638/lcl1430e.pdf>
- CIA. DO METRO (2008) Pesquisa Origem e Destino 2007. Região Metropolitana de São Paulo. Síntese das informações – pesquisa domiciliar. São Paulo: STM/ Cia. Do Metrô.
- DELAUNAY, Daniel (2010) Mobilités, ségrégations résidentielles et bonus démographique dans la zone métropolitaine de Santiago du Chili. Dans Monique Bertrand (dir.) Mobilité, pauvreté : les villes interro-gées. Revue Tiers Monde, n° 201, p. 65-85.
- DEMORAES, Florent, GOUËSET, Vincent, PIRON, Marie, FIGUEROA, Oscar et ZIONI, Silvana (2010) Mobilités quotidiennes et inégalités socio-territoriales à Bogotá, Santiago du Chili et São Paulo. Espace, Populations, Sociétés, n° 2010-2 «Nouvelles mobilités dans les Suds », p. 349-364.
- DONALD, Janelle et GOODCHILD, Michael (1983) Diurnal patterns of social group distribution in Canadian cities. Economic Geography, vol. 59, n° 4, p. 403-425.
- DUREAU, Françoise (2006) Habiter la ville : stratégies et mobilités résidentielles. Dans Françoise Dureau, Vincent Gouëset et Evelyne Mesclier (dir.) Géographies de l'Amérique latine. Rennes, Presses universitaires de Rennes, p. 263-292.
- DUREAU, Françoise, GOUËSET, Vincent, LE ROUX, Guillaume et LULLE, Thierry (2012) Cambios urbanos y evolución de las desigualdades en el acceso a los recursos de la metrópoli. Un estudio de caso en unos barrios del occidente de Bogotá, Communication présentée au X séminario ACIUR (Asociación Colombiana de Investigadores Urbano regionales), septembre 2012, Universidad Javeriana, Bogotá. [En ligne]. http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/74/51/58/PDF/Dureau_Goueset_LeRoux_Lulle_2012_ACIUR_Calle_80_com.pdf
- DUREAU, Françoise, BARBARY, Olivier, MICHEL, Alain et LORTIC, Bernard (1989) Sondages aérolaires sur image satellite pour des enquêtes socio-démographiques en milieu urbain. Paris, Orstom. [En ligne]. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/30031.pdf





- FIGUEROA, Oscar (2005) Transporte urbano y globalización. Políticas y efectos en América latina. *Revista Eure*, vol. XXXI, n° 94, p. 41-53. [En ligne]. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612005009400003&lng=en&nrm=iso&ignore=.html
- GOBILLON, Laurent, SELOD, Harris et ZENOU, Yves (2007) The mechanisms of spatial mismatch. *Urban Studies*, vol. 44, n° 12, p. 2401-2427.
- IMBERT, Christophe, DUREAU, Françoise et GIROUD, Mathieu (2009) Méthodes d'analyse des mobilités urbaines des ménages : réflexions autour de l'enquête « Déplacements Poitiers ». Dans Janica Macchi (dir.) *Geografie del popolamento, Casi di studio, metodi e teorie Atti della giornata di studi Grosseto, 24-26 settembre 2008, Università degli Studi di Siena*, p. 89-96.
- JANOSCHKA, Michael (2002) El nuevo modelo de la ciudad latinoamericana: fragmentación y privatización. *Revista Eure*, vol. 28, n° 85, p. 11-20. [En ligne]. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612002008500002&lng=es&nrm=iso&tng=es
- KAIN, John F. (1968) Housing segregation, Negro employment and metropolitan decentralization. *Quarterly Journal of Economics*, vol. 82, n° 2, p. 175-197.
- KILROY, Austin (2007) Intra-urban spatial inequality: Cities as "urban regions", *Reshaping Economic Geography, World Development Report 2009*. [En ligne]. <http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2009/Resources/4231006-1204741572978/Kilroy2.pdf>
- LEBART, Ludovic, PIRON, Marie et MORINEAU, Alain (2006) *Statistique exploratoire multidimensionnelle : visualisation et inférence en fouille de données* Dunod, Paris.
- LÉVY, Jean-Pierre (2009) Mobilité urbaine : des pratiques sociales aux évolutions territoriales. Dans Françoise Dureau et Marie-Antoinette Hily (dir.) *Les mondes de la mobilité*. Rennes, Presses universitaires de Rennes, p. 107-136.
- LÉVY, Jean-Pierre et DUREAU, Françoise (dir.) (2002) *L'accès à la ville. Les mobilités spatiales en question*. Paris, L'Harmattan.
- LORD, Sébastien, JOERIN, Florent et THÉRIAULT, Marius (2009) Évolution des pratiques de mobilité dans la ville : un suivi longitudinal auprès d'un groupe de banlieusards âgés. *Cybergeo: revue européenne de géographie* article n°444, [En ligne]. <http://cybergeo.revues.org/22090>
- LUNGO, Mario et BAIRES, Sonia (2001) Socio-spatial segregation and urban land regulation in Latin American cities, proceeding of the International Seminar on Segregation in the City held from July 26-28, 2001, at the Lincoln Institute. [En ligne]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.200.8130&rep=rep1&type=pdf>
- MONTEZUMA, Ricardo (2003) Ciudad y transporte. La movilidad urbana. Dans Marcello Balbo, Ricardo Jordan et Daniela Simioni (dir.) *La ciudad inclusiva, Santiago du Chili*. Cuadernos de la CEPAL, n° 88, p. 175-191. [En ligne]. <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/14237/lcg2210p.pdf>
- MORENCY, Catherine (2006) Étude de méthodes d'analyse spatiale et illustration à l'aide de microdonnées urbaines de la Grande Région de Montréal. *Les Cahiers scientifiques du transport*, n° 49, p. 77-102. [En ligne]. http://afitl.ish-lyon.cnrs.fr/tl_files/documents/CST/N49/Moren49.pdf
- NOËL Nathalie, VILLENEUVE, Paul Y. et LEE-GOSSELIN, Martin (2001) Aménagement du territoire et espaces d'action. Identification des déterminants des stratégies de déplacements de cyclistes de la région de Québec à l'aide d'un SIG. *Revue internationale de géomatique*, vol. 11/3-4, p. 381-404.



- PAQUETTE, Catherine (2010) Mobilité quotidienne et accès à la ville des ménages périurbains dans l'agglomération de Mexico. Une lecture des liens entre pauvreté et mobilité. *Revue Tiers Monde*, n° 201, p. 157-175.
- POCHET, Pascal et ROUTHIER, Jean-Louis (2002) Mobilité résidentielle et allongement des distances domicile-travail dans la région urbaine de Lyon. Dans Françoise Dureau et Jean-Pierre Lévy (dir.) *L'accès à la ville. Les mobilités spatiales en questions*. Paris, L'Harmattan, p. 167-184.
- RODRIGUEZ, Jorge (2007) Segregación residencial, migración y movilidad especial. El caso de Santiago de Chile. *Cadernos metrópole*, n° 17, p. 135-168.
- RODRIGUEZ, Jorge et ARRIAGADA, Camilo (2004) Segregación residencial en la Ciudad Latinoamericana. *Revista Eure*, n° 30, p. 5-24. [En ligne]. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612004008900001&lng=en&nrm=iso&ignore=.html
- SOURIS, Marc, DEMORAES, Florent, SERRANO, Tania et HABERT, Elisabeth (2007), *Manuels de référence du logiciel SavGIS*. [En ligne]. <http://www.savgis.org/SavGIS/documentation/manuels.html>
- THÉRIAULT, Marius (1994) *MapStat - Module d'analyse spatiale fonctionnant sous MapInfo*. Québec, Centre de recherche en aménagement et développement - CRAD, Université Laval.
- VASCONCELLOS, Eduardo (1996) *Transporte urbano nos países em desenvolvimento*. São Paulo, Ed. Annablume.
- VASCONCELLOS, Eduardo (2005) Transport metabolism, social diversity and equity: The case of São Paulo, Brazil. *Journal of Transport Geography*, vol. 13, n° 4, p. 329-339.
- VILLAÇA, Flávio (2007) *Espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel, FAPESP, Lincoln Institute.
- VILLAÇA, Flávio et ZIONI, Silvana (2005) *Os transportes sobre trilhos na região metropolitana de São Paulo: o poder público acentuando a desigualdade*. Rio de Janeiro: CBTU. [En ligne]. <http://www.cbtu.gov.br/monografia/seminario/sp/flavioesilvania.pdf>





- PAQUETTE, Catherine (2010) Mobilité quotidienne et accès à la ville des ménages périurbains dans l'agglomération de Mexico. Une lecture des liens entre pauvreté et mobilité. *Revue Tiers Monde*, n° 201, p. 157-175.
- POCHET, Pascal et ROUTHIER, Jean-Louis (2002) Mobilité résidentielle et allongement des distances domicile-travail dans la région urbaine de Lyon. Dans Françoise Dureau et Jean-Pierre Lévy (dir.) *L'accès à la ville. Les mobilités spatiales en questions*. Paris, L'Harmattan, p. 167-184.
- RODRIGUEZ, Jorge (2007) Segregación residencial, migración y movilidad especial. El caso de Santiago de Chile. *Cadernos metrópole*, n° 17, p. 135-168.
- RODRIGUEZ, Jorge et ARRIAGADA, Camilo (2004) Segregación residencial en la Ciudad Latinoamericana. *Revista Eure*, n° 30, p. 5-24. [En ligne]. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612004008900001&lng=en&nrm=iso&ignore=.html
- SOURIS, Marc, DEMORAES, Florent, SERRANO, Tania et HABERT, Elisabeth (2007), *Manuels de référence du logiciel SavGIS*. [En ligne]. <http://www.savgis.org/SavGIS/documentation/manuels.html>
- THÉRIAULT, Marius (1994) *MapStat - Module d'analyse spatiale fonctionnant sous MapInfo*. Québec, Centre de recherche en aménagement et développement - CRAD, Université Laval.
- VASCONCELLOS, Eduardo (1996) *Transporte urbano nos países em desenvolvimento*. São Paulo, Ed. Annablume.
- VASCONCELLOS, Eduardo (2005) Transport metabolism, social diversity and equity: The case of São Paulo, Brazil. *Journal of Transport Geography*, vol. 13, n° 4, p. 329-339.
- VILLAÇA, Flávio (2007) *Espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel, FAPESP, Lincoln Institute.
- VILLAÇA, Flávio et ZIONI, Silvana (2005) Os transportes sobre trilhos na região metropolitana de São Paulo: o poder público acentuando a desigualdade. Rio de Janeiro: CBTU. [En ligne]. <http://www.cbtu.gov.br/monografia/seminario/sp/flavioesilvania.pdf>







Florent DEMORAES

Université Rennes 2
Laboratoire ESO-Rennes (UMR 6590 CNRS - Espaces
et Sociétés)
Campus Villejean - Place du recteur Henri Le Moal
CS 24307
35043 Rennes Cedex
florent.demoraes@univ-rennes2.fr

Vincent GOUËSET

Université Rennes 2
Laboratoire ESO-Rennes (UMR 6590 CNRS - Espaces
et Sociétés)
Campus Villejean - Place du recteur Henri Le Moal
CS 24307
35043 Rennes Cedex
vincent.goueset@univ-rennes2.fr

Marie PIRON

IRD - UMR 8586 PRODIG
Centre de recherche d'Ile-de-France
32, avenue Henri Varagnat
93143 Bondy Cedex
marie.piron@ird.fr

Oscar FIGUEROA

Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales
Universidad Católica
El Comendador 1916
Providencia - Casilla: 16002, Correo 9
Santiago de Chile
Chili
ofiguero@uc.cl

Silvana ZIONI

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais
Aplicadas
Universidade Federal do ABC
CEP 09210-170, Santo André
São Paulo
Brésil
silvana.zioni@ufabc.edu.br

Mobilités quotidiennes et inégalités socio-territoriales à Bogotá, Santiago du Chili et São Paulo¹

INTRODUCTION

Les métropoles d'Amérique latine suivent un modèle d'urbanisation relativement convergent, qui exerce des contraintes fortes sur les

mobilités résidentielles et quotidiennes de leurs habitants [Dureau, Gouëset, Mesclier, 2006]. Il s'agit de villes de très grande taille,

¹ Cet article repose sur l'exploitation de résultats partiels du projet METAL (Métropoles d'Amérique latine dans la mondialisation : reconfigurations territoriales,

mobilité spatiale, action publique), financé dans le cadre du Programme ANR/AIRD « Les Suds aujourd'hui ».



très étalées et peu denses dans l'ensemble, marquées par une forte ségrégation résidentielle ainsi que par une distribution spatiale des emplois très inégale. Les stratégies résidentielles y sont largement contraintes par la condition sociale des habitants bien sûr, mais aussi par d'autres facteurs tels que leur statut migratoire, leur âge et leur trajectoire résidentielle, ou encore par la localisation de leur parentèle, dont la proximité est le plus souvent recherchée [Dureau, 2006, pp. 271-274]. Le lieu de résidence exerce à son tour un impact sur la mobilité quotidienne des individus, et notamment sur les déplacements domicile-travail, déplacements les plus nombreux² et les plus déterminants dans le fonctionnement de la ville.

Les mobilités quotidiennes, très étudiées en France et dans les villes du Nord³, le sont aussi en Amérique latine. De nombreux travaux ont montré que les individus étaient inégaux face à la maîtrise des mobilités dans la ville et que ces inégalités étaient en grande partie le reflet de hiérarchies sociales⁴. Ainsi, de façon très schématique, on observe que les classes moyennes et aisées, qui ont tendance à résider dans les meilleurs quartiers, souvent à proximité des pôles d'emplois formels et des bonnes écoles (mais parfois loin des centres-villes), voient leur mobilité (mesurée en nombre de déplacements) augmenter sur le long terme, en lien avec l'amélioration de l'équipement des ménages en automobiles. Quant aux classes populaires, généralement reléguées en périphérie, elles voient leur mobilité progresser moins vite ou stagner et subissent des conditions de déplacement plus difficiles, en transports collectifs notamment. Le coût de ces derniers

augmente sur le long terme et pèse, parfois, autant sinon plus, dans le budget des ménages modestes qu'un véhicule particulier pour une famille aisée⁵.

Par ailleurs, on observe qu'en dépit du tournant néolibéral qui a vu, un temps, les pouvoirs publics se désengager de la gestion des transports (ou privilégier les partenariats public-privé), plusieurs métropoles d'Amérique latine ont fait l'objet d'aménagements ambitieux en matière de transports. Elles ont donné la priorité aux transports collectifs : métros à São Paulo⁶ et à Santiago⁷, aménagements routiers et contingentement de la circulation automobile ; mise en place de TCSP (Transports en commun en site propre) et de systèmes intégrés de transports collectifs, comme le *Transmilenio*⁸ à Bogotá en 2001 ou le *Transantiago*⁹ à Santiago en 2007 ; intégration tarifaire entre différents modes de transports en commun (déjà effective à Santiago depuis l'inauguration du *Transantiago*, en cours de mise en place à São Paulo avec le « *bilhete unico* », et en cours d'étude à Bogotá). On manque encore de recul pour mesurer l'impact précis de ces aménagements sur l'évolution des conditions de mobilité des habitants des métropoles d'Amérique latine, notamment sur les inégalités de déplacement.

Il n'est pas aisé, en Amérique latine, de comparer les mobilités quotidiennes sur plusieurs grandes villes en raison de la difficulté à réunir des sources précises à une échelle « fonctionnelle », qui prenne en compte les aires métropolitaines dans leur intégralité et pas seulement les villes-centres. C'est précisément le cas de cet article, dont l'objectif

² Après les retours au domicile.

³ Voir sur ce point la bibliographie établie par S. Chardonnel *et al.* (2009, pp. 232-241) sur les mobilités quotidiennes et les politiques de transport, ainsi que, dans la même publication, l'orientation bibliographique de P. Ageron *et al.* (2009, pp. 242-244) sur « mobilités et transports ».

⁴ Voir notamment O. Figueroa (2005) ; R. Montezuma (2003) ; E. Henry, J.-P. Hubert (2001) ; E. Vasconcellos (1996).

⁵ À Santiago, les individus des ménages à « hauts revenus » (selon une classification en trois classes) réalisent 2,3 trajets par personne et par jour en moyenne, contre 1,4 seulement pour les individus des ménages à bas revenus (Encuesta de Movilidad en Centros Urbanos - Santiago, 2006).

⁶ Le métro de São Paulo circule en 2010 sur un réseau de 61,3 km et comporte 55 stations, ce qui est peu au regard de l'étendue de l'agglomération. Le plan du réseau est disponible sur <http://www.metro.sp.gov.br/>

⁷ Le métro de Santiago circule en 2010 sur un réseau de 94,2 km et comporte 100 stations. Le plan du réseau est disponible sur <http://www.metrosantiago.cl/>

⁸ Ce système repose sur des bus articulés qui circulent sur un réseau constitué de 114 arrêts et de 84 km de voies en site propre, elles-mêmes connectées à des lignes de rabattement dites « *alimentadores* ». Le plan du réseau est disponible sur <http://www.transmilenio.gov.co/>

⁹ Le plan du réseau est disponible sur www.transantiago.cl



est de comparer le lien entre localisation résidentielle, condition sociale et profils de mobilités quotidiennes à travers les déplacements domicile-travail dans trois métropoles d'Amérique latine, Bogotá, Santiago du Chili et São Paulo. Observe-t-on des profils de mobilité quotidienne identiques dans les trois métropoles ? Comment s'articulent-ils au regard des conditions sociales ? Qu'apporte l'approche territorialisée par rapport aux analyses classiques centrées sur les individus ou les ménages ?

L'article procède dans un premier temps à une présentation des données et de la méthode utilisées pour mener la comparaison. Dans un deuxième temps, nous exposons les principales caractéristiques des trois métropoles et de l'offre de transport. Dans un troisième temps, pour chacune des trois villes, nous analysons les déplacements domicile-travail et leurs variations au sein des territoires métropolitains, en lien avec les divisions sociales de l'espace. Enfin, nous proposons une synthèse reprenant les similitudes et différences observées.

1. LA COMPARAISON DES DÉPLACEMENTS DOMICILE-TRAVAIL AU REGARD DE LA HIÉRARCHIE SOCIALE À BOGOTÁ, SANTIAGO ET SÃO PAULO : DONNÉES ET MÉTHODE

L'étude repose sur l'homogénéisation et l'exploitation d'enquêtes « Origine-Destination » (OD) et des recensements de population dans chacune des trois villes. Onze indicateurs de mobilité ont ainsi été calculés à partir des dernières enquêtes OD, réalisées respectivement en 2005 à Bogotá, en 2006 à Santiago et en 2007 à São Paulo (annexe 1). En parallèle, l'Indice de condition sociale¹⁰ (ICS) a été calculé à partir des derniers recensements de la population, réalisés respectivement en 2005, 2002 et 2000¹¹. Les trois enquêtes OD ont été conduites¹² sans finalité de comparaison. Leurs méthodes de réalisation et les définitions sous-jacentes sont malgré tout relativement similaires, à quelques exceptions près. À Bogotá, les déplacements à pied de moins de 15 minutes n'ont pas été pris en compte dans l'enquête, alors que pour les deux autres

villes, tous les déplacements à pied pour se rendre au lieu travail, quelles que soient leur durée et/ou distance, ont été recensés. Cette différence pose des problèmes pour la comparaison. La deuxième différence de taille renvoie aux modes de transport qui ne sont pas identiques dans les trois villes. Pour résoudre ce problème, nous avons procédé à leur regroupement en modes génériques fréquemment utilisés dans la littérature scientifique ou technique (public collectif, privé particulier, privé collectif, taxis, autres). Pour chacune des villes, les indicateurs de mobilité ainsi que les ICS sont calculés sur les unités du zonage des enquêtes origine-destination, offrant ainsi une grille de lecture spatiale. Le zonage (figure 1) correspond pour Bogotá aux arrondissements à l'intérieur du District Capital et aux municipales à l'extérieur de celui-ci, pour Santiago du

¹⁰ L'ICS est un indicateur synthétique représentatif du revenu des ménages couramment utilisé en Amérique Latine depuis le début des années 1990. Cet indicateur est décrit dans F. Dureau *et al.* (2004, p.142). Il est calculé en divisant le nombre moyen d'années d'études des membres du ménage âgés de plus de 15 ans par le nombre moyen de personnes par pièce dans le logement. Les classes 1 et 6 correspondent respectivement aux 10% des ménages les plus pauvres et aux 10% des plus riches ; les classes 2 et 5 correspondant aux 15% suivants, les classes 3 et 4 aux 25% des ménages inférieurs et supérieurs à la médiane. Cet indicateur a été calculé pour chaque unité du zonage des enquêtes origine-destination, à partir des données des recensements de population. Il est comparable d'une ville à l'autre.

¹¹ En raison du décalage chronologique entre le recen-

sement et l'enquête origine-destination à Santiago et surtout à São Paulo, les séries d'indicateurs de mobilité et l'ICS, bien que calculés pour les mêmes unités géographiques, doivent être comparés avec prudence. Leur rapprochement reste cependant envisageable dans la mesure où la composition sociale de chaque zone s'est peu modifiée entre les deux dates.

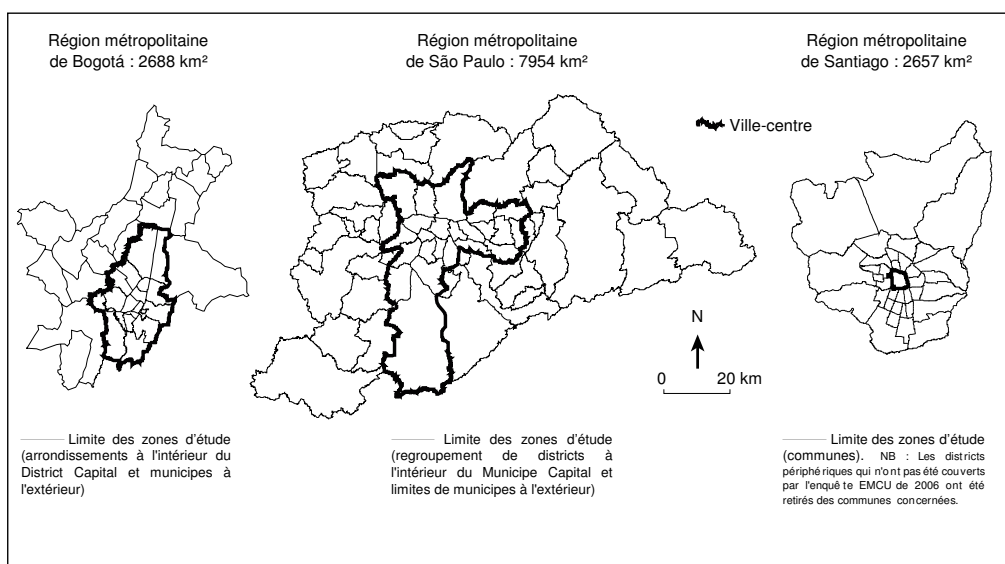
¹² Les enquêtes ont été menées auprès de 21 000 ménages à Bogotá, 30 000 à São Paulo et 15 000 à Santiago, respectivement par la *Secretaría de Tránsito y Transporte* de la Mairie de Bogotá, la *Companhia do Metropolitano de São Paulo* – METRÔ (coordination) et la *División Ingeniería de Transporte de DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile*, pour le compte du *Ministerio de Planificación y Coordinación de Chile*.



Chili aux communes, et pour São Paulo à un découpage spécifique qui regroupe entre eux plusieurs districts à l'intérieur du municipal capital de São Paulo et les municipes à l'extérieur de celui-ci. Les résultats et interprétations associées renvoient donc à des tendances globales par zone. Ils fournissent une autre vision par rapport aux pratiques de mobilité observées à l'échelle des ménages, pratiques qui, pour être saisies, nécessitent des données désagrégées au niveau individuel, dont nous ne disposons pas. Une série d'analyses en composantes principales (ACP) met en évidence, pour chaque ville, ce qui différencie les zones entre elles du point de vue des mobilités quotidiennes

vers le lieu de travail. Une première étude comparative permet de dégager les éléments communs aux trois villes et les éléments divergents. Par la suite, une analyse ascendante hiérarchique (CAH) fournit une typologie de l'espace métropolitain¹³, qui reflète pour chaque zone les profils de déplacements domicile-travail. À l'aide d'une seconde analyse typologique, nous obtenons la position de ces mêmes zones dans la hiérarchie sociale de chaque agglomération. Ces deux typologies, ainsi que la cartographie qui en découle¹⁴, permettent de comparer les profils des déplacements domicile-travail au regard des conditions sociales dans les trois villes.

Figure 1. Zonage des enquêtes origine - destination dans les régions métropolitaines de Bogotá (2005), São Paulo (2007) et Santiago (2006)



Source : Encuesta de Movilidad Urbana (Bogota, 2005), Encuesta de Movilidad en Centros Urbanos (Santiago, 2006) et Pesquisa Origem-Destino (São Paulo, 2007) .
Réalisation : Florent Demoraes, Vincent Gouëset - ANR METAL.

¹³ L'analyse typologique consiste en un enchaînement d'une analyse factorielle, ici l'analyse en composantes principales, compte tenu de la nature continue des variables considérées, et d'une classification ascendante hiérarchique réalisée sur les premiers facteurs fournis par l'analyse factorielle [Lebart *et al.*, 2006]. Sur les

onze indicateurs, deux ont été mis en variables supplémentaires et ne participent donc pas à la caractérisation des classes. Il s'agit des trajets en taxi et en autres modes qui représentent moins de 4% des déplacements quotidiens (tableau 1).

¹⁴ Réalisée avec le SIG gratuit SavGIS (www.savgis.org).

2. LE FAIT MÉTROPOLITAIN ET LA DIVERSITÉ DES MODES DE TRANSPORT DANS LES TROIS VILLES

Les trois villes étudiées ont en commun de constituer les métropoles les plus peuplées de la Colombie, du Chili et du Brésil et de concentrer une part importante de l'activité économique des trois pays concernés. Dans les trois cas, ces activités productives sont inégalement réparties dans l'espace métropolitain, avec une concentration des services formels et des industries principalement dans le centre et dans le centre élargi comme le secteur nord-oriental à Santiago¹⁵, et secondairement au sein de polarités périphériques relativement peu nombreuses, en particulier à São Paulo avec notamment le secteur industriel de l'ABC¹⁶. Parallèlement, un effet de taille oppose São Paulo, une mégapole de 18 millions d'habitants, aux deux autres villes, de taille davantage comparable (8 millions d'habitants pour Bogotá et six millions pour Santiago). L'effet de taille joue sur le nombre d'unités du zonage des enquêtes OD (figure 1). On en dénombre 61 à São Paulo contre 36 à Santiago et à Bogotá. En revanche, dans les trois villes, les zones centrales sont globalement moins étendues qu'en périphérie, où le peuplement est moins dense.

Dans aucune de ces villes, il n'existe d'aire métropolitaine officiellement constituée¹⁷, disposant de prérogatives fortes en matière d'aménagement urbain, ce qui rend difficile tout effort de planification concertée du logement ou des transports. À Bogotá, le District Capital qui concentre 7 millions d'habitants est puissant et il gère seul avec l'appui financier de l'État, son développement urbain. À São Paulo, le municiple central du même nom, également puissant sur le plan politique et financier, ne représente que la moitié de la population métropolitaine. Enfin au Chili, la commune de Santiago représente moins de 4% de la population métropolitaine, son maire n'a qu'un pouvoir local et le Préfet de la RMGS (région métropolitaine

du Grand Santiago), désigné par le Président de la République, a un rôle essentiellement administratif : c'est donc le gouvernement central qui planifie, pour l'essentiel, les transports à l'échelle métropolitaine.

Par ailleurs, le niveau de développement économique n'est pas le même dans les trois pays, ce qui a des conséquences sur les conditions de mobilités des citoyens, d'une part parce que la capacité financière des pouvoirs publics n'est pas la même dans les trois cas (ainsi l'État chilien a-t-il pu doter Santiago d'un métro assez tôt, alors que Bogotá, pourtant plus peuplée, n'en possède toujours pas), d'autre part parce que le niveau de vie des populations n'est pas identique. Un bon indicateur de ce décalage est le taux de motorisation des ménages (tableau 1). Alors qu'on recense près de 63 voitures pour 100 ménages à São Paulo, on n'en dénombre que 49 à Santiago et 30 à Bogotá. Reflet également des disparités de richesses entre les trois villes, la part des déplacements vers le lieu d'étude¹⁸ est plus élevée à Santiago (près de 20% contre moins de 15,5% dans les deux autres villes). De même, les différences de structure par âge des populations et donc la proportion d'actifs dans chacune des trois villes aident à comprendre les différences dans les motifs de déplacements. Santiago est la ville la moins jeune (32,9% de sa population a moins de 20 ans contre plus de 35% dans les deux autres villes) et présente le plus haut pourcentage de trajets domicile-travail. Au-delà de ces différences, on observe que les trajets vers le lieu de travail représentent, quelle que soit la ville, près du quart du total des déplacements quotidiens.

En ce qui concerne la distribution modale des déplacements vers le lieu de travail, la part des véhicules particuliers est la plus élevée à São Paulo (33,6% des trajets), devant Santiago (28%) et Bogotá (18,5%).

¹⁵ Voir notamment sur cette question Rodríguez (2008).

¹⁶ Le secteur ABC est un grand bassin industriel (secteur automobile, usines agro-alimentaires, pétrochimie...) situé au sud-est de São Paulo. Ce secteur englobe trois municipes (Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul).

¹⁷ Même si, au Brésil, il existe une reconnaissance constitutionnelle des régions métropolitaines, qui ne renvoie toutefois à aucun organe de gestion spécifique. Voir notamment Nunes Apolinário (2009).

¹⁸ La scolarisation dans les trois villes repose en majorité sur des établissements privés payants.



La différence avec les écarts entre taux de motorisation des ménages, qui sont nettement plus marqués, s'explique par le fait que, dans le cas où une famille possède une voiture, tous ses membres actifs ne peuvent l'utiliser en même temps (elle l'est en priorité par les chefs de ménage¹⁹), et également par le fait que la voiture n'est pas utilisable en permanence²⁰. Dans les trois villes, le mode de transport le plus utilisé est le transport public collectif (bus, minibus, métro, *Transmilenio*, *Transantiago*, etc.), qui représente les deux

tiers des trajets domicile-travail à Bogotá, la moitié à Santiago et 42% à São Paulo, du fait notamment d'un réseau de transport en commun moins étalé (la longueur du métro y est plutôt restreinte, en rapport avec la taille de l'agglomération). Le poids des transports non motorisés (marche à pied et bicyclette) est également important, puisqu'il représente 16% des déplacements à Santiago et 21% à São Paulo. À Bogotá, celui-ci est sous-évalué (10%), car les trajets à pied inférieurs à 15 minutes ont été exclus (*cf. supra*)²¹.

Tableau 1. Caractéristiques générales des conditions de mobilité quotidienne à Bogotá (2005), Santiago (2006) et São Paulo (2007)

	Bogotá 2005 (c)	%	Santiago 2006 (d)	%	São Paulo 2007	%
Taux de motorisation des ménages (nombre de voitures pour 100 ménages)	30		49		62,9	
Motifs des déplacements quotidiens :						
- Aller au lieu de travail	2 365 300	23,2	4 342 050	25,4	9 261 000	24,2
- Aller au lieu d'étude (a)	1 332 650	13,1	3 392 150	19,8	5 794 200	15,2
- Autres motifs (b)	6 492 500	63,7	9 387 150	54,8	23 180 000	60,6
Total	10 190 450		17 121 350		38 235 200	
Destination des déplacements vers le lieu de travail :						
dans la même zone	435 500	18,7	1 071 550	24,7	4 046 000	43,7
- dans une zone limitrophe	682 000	29,4	986 900	22,7	2 402 800	25,9
- dans une zone non limitrophe	1 205 800	51,9	2 283 600	52,6	2 812 200	30,4
Mode de transport au lieu de travail :						
- non motorisé (à pied, en vélo)	239 150	10,1	697 100	16,1	1 963 000	21,2
- privé particulier (automobile, moto)	436 450	18,5	1 199 900	27,6	3 115 500	33,6
- privé collectif (ramassage scolaire ou d'entreprise)	65 750	2,8	118 800	2,7	232 250	2,5
- public collectif (bus, taxi collectif, métro, train, <i>Transmilenio</i> ...)	1 545 000	65,3	2 166 450	49,9	3 902 150	42,1
- taxi	70 050	3,0	27 450	0,6	17 750	0,2
- autre mode	8 900	0,4	132 350	3,0	30 350	0,3
Durée aller au lieu de travail en voiture (mn)	41		32		37	
Durée aller au lieu de travail en transports publics collectifs (mn)	56		63		74	

Sources : Encuesta de Movilidad Urbana (Bogotá, 2005), Encuesta de Movilidad en Centros Urbanos (Santiago, 2006) et Pesquisa Origem-Destino (São Paulo, 2007). Calcul des auteurs.

(a) À Bogotá et Santiago: allers simples. À São Paulo : total des allers-retours vers/depuis le lieu d'étude divisé par deux.

(b) Dont les retours au domicile.

(c) À Bogotá, les déplacements à pied de moins de 15 minutes n'ont pas été pris en compte dans l'enquête.

(d) Données limitées aux 36 comunas incluses dans l'enquête OD parmi les 39 que compte l'aire métropolitaine.

¹⁹ Par exemple, à Bogotá, la voiture est utilisée depuis le lieu de résidence dans 60% des cas pour se rendre au lieu de travail. Les deux tiers de ces déplacements sont réalisés par le chef de ménage [EMU, 2005]. À Santiago et São Paulo, on observe la même tendance.

²⁰ À Bogotá par exemple, le système du « *pico y placa* »

interdit l'utilisation des véhicules personnels un jour par semaine, en fonction du numéro de la plaque d'immatriculation.

²¹ Cette exclusion conduit mécaniquement à une surreprésentation de la part des autres modes qu'il est difficile d'estimer.



Par ailleurs, la durée des trajets domicile-travail n'est pas directement liée à la taille de la ville. Les trajets en voiture sont les plus rapides à Santiago (32 minutes). Cela s'explique notamment par l'existence de voies rapides urbaines à péage qui permettent de parcourir de grandes distances en des délais raisonnables. Bien que de taille équivalente, Bogotá présente les temps moyens en voiture les plus élevés (41 minutes). Cette dernière ne dispose en effet pas d'un réseau routier rapide équivalent. São Paulo, bien que trois fois plus étalée que les deux autres villes, se caractérise par des durées moyennes de déplacement en automobile plutôt courtes (37 minutes). Cela tient à la fois à l'importance des déplacements de proximité (dans 43,7% des cas, ils se font à l'intérieur de la même zone) et à l'existence, là aussi, d'un réseau autoroutier urbain. À titre de comparaison, la

durée des trajets vers le lieu de travail atteint 35 minutes en automobile sur l'aire urbaine de Paris [Baccaïni *et al.*, 2007].

Enfin, les temps moyens de déplacements en transports publics collectifs sont de façon attendue globalement plus longs qu'en véhicules particuliers. Cela est d'autant plus marqué à Santiago et à São Paulo où la durée des déplacements en transports publics collectifs vers le lieu de travail représente plus du double de ceux effectués en automobile. À l'opposé, cet écart est beaucoup plus ténu à Bogotá où les durées en transports publics collectifs sont les plus courtes (56 minutes). Cela est en partie dû à l'existence du *Transmilenio*, système fonctionnant en site propre non soumis aux embouteillages. À titre de comparaison, la durée des trajets vers le lieu de travail atteint 60 minutes en transports publics collectifs sur l'aire urbaine de Paris [ORSTIF, 2010].

3. PROFILS DES DÉPLACEMENTS DOMICILE-TRAVAIL DANS LES TROIS VILLES

Une série d'analyses en composantes principales permet de dégager différents profils de zones à partir des déplacements domicile-travail dans les trois villes. Les plans factoriels associés, (graphique 1) restituent graphiquement les corrélations entre indicateurs de mobilité quotidienne vers le lieu de travail²². Ces analyses sont enrichies par les indices de conditions sociales mis en éléments supplémentaires²³.

Premier constat, malgré leur différence de taille, São Paulo et Bogotá présentent des profils de mobilité par zone assez similaires et mieux structurés qu'à Santiago. En effet, le premier facteur rend compte de plus de la moitié de l'inertie dans les deux premières villes, contre seulement 29,5% à Santiago. Les indicateurs de mobilité sont donc moins bien corrélés entre eux à Santiago.

Cet examen fait ressortir, pour les trois villes, des combinaisons identiques d'indi-

cateurs qui définissent trois profils de zones. Santiago s'en différencie néanmoins par certains aspects :

- les zones caractérisées par une forte utilisation des transports collectifs publics et par des trajets lointains. À Bogotá et São Paulo, ces zones présentent également des durées longues de déplacement. C'est dans ces zones que les conditions de mobilité quotidienne sont les plus difficiles.
- les zones caractérisées par des déplacements internes et par l'usage des transports d'entreprise. À Bogotá et São Paulo, ces zones présentent également des déplacements non motorisés.
- les zones caractérisées par des taux de motorisation élevés et par l'utilisation fréquente de voitures particulières. Pour ces zones, les ICS sont élevés (zones favorisées). À Bogotá et São Paulo, les

²² Dans le cas d'une analyse en composantes principales normée, comme celle présentée ici, « les variables (actives) fortement corrélées avec un axe (c'est-à-dire une composante principale) contribuent à sa définition. Cette corrélation se lit directement sur le graphique puisqu'il s'agit de la coordonnée du point-variable sur l'axe. On s'intéresse par conséquent aux variables présentant les plus fortes coordonnées (ce qui les situe à proximité du cercle de corrélation) et l'on interprétera

les composantes principales en fonction des regroupements de certaines de ces variables et de l'opposition avec les autres » [Lebart *et al.*, *op. cit.*, p. 93].

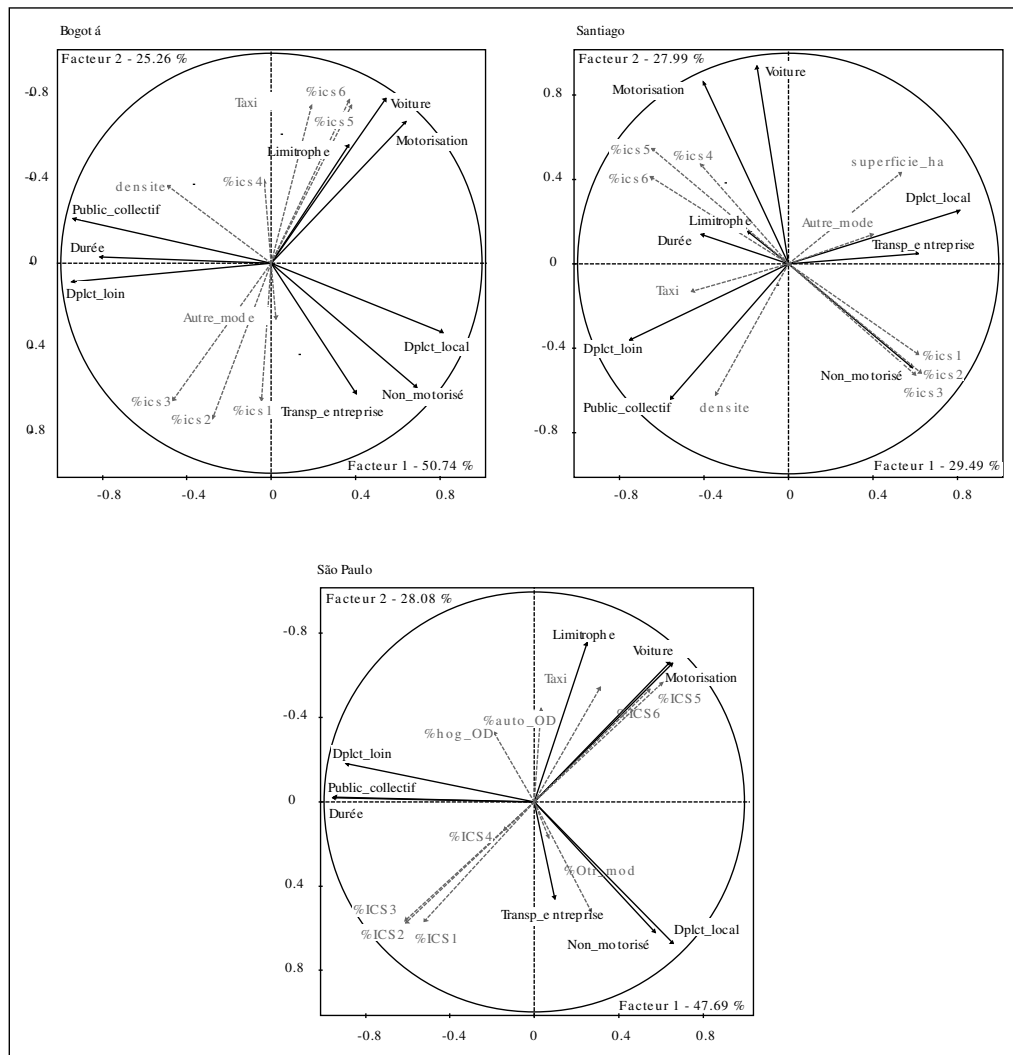
²³ Les variables supplémentaires ne participent pas à la formation ni à la définition des axes, mais elles interviennent *a posteriori* pour les caractériser. Leur introduction dans l'analyse conforte et enrichit l'interprétation des axes définis par les variables actives [Lebart *et al.*, *op. cit.*].



déplacement vers les zones limitrophes complètent cette combinaison. Santiago se singularise également par la durée de déplacement qui est modérément corrélée avec les transports collectifs publics et les trajets lointains. Cela s'explique notamment par l'existence du métro, moyen de transport permettant de parcourir rapidement de grandes distances sur une grande partie de l'espace métropolitain.

L'analyse montre également que les durées de déplacement sont peu corrélées à la hiérarchie sociale (mesurée par l'ICS) dans les trois villes même si le statut social n'est pas sans conséquence sur les conditions des déplacements : les classes aisées peuvent mettre autant de temps que les autres classes sociales à se rendre sur leur lieu de travail, mais elles le font dans de meilleures conditions, en voiture ou en taxi notamment, à un coût il est vrai plus élevé.

Graphique 1. Représentation des indicateurs de mobilité quotidienne vers le lieu de travail (en noir, cf. tableau 1) dans le plan factoriel principal et projection en éléments supplémentaires des Indices de Condition Sociale (en italique gris) allant du plus pauvre (1) au plus riche (6).



4. APPROCHE TERRITORIALISÉE DES MOBILITÉS QUOTIDIENNES VERS LE LIEU DE TRAVAIL ET HIÉRARCHIE SOCIALE : ÉTAT DES LIEUX VILLE PAR VILLE

Les figures 2a, 3a et 4a représentent les classes issues des analyses typologiques réalisées sur les indicateurs relatifs aux déplacements domicile-travail. Les figures 2b, 3b et 4b donnent à voir les classes issues des analyses typologiques réalisées sur les ICS et illustrent, en le simplifiant, le modèle métropolitain latino-américain, hautement ségréatif, abondamment décrit dans la littérature scientifique²⁴. Ce modèle combine une logique de type centre-périphérie, visible surtout à Bogotá et à São Paulo, avec un centre riche et des couronnes ou grands secteurs suburbains de plus en plus pauvres vers la périphérie. À Santiago, la division sociale de l'espace est plus nuancée et prend la forme d'une mosaïque. On y observe un centre et une prolongation nord-orientale riches, un nord pauvre, le reste de l'espace métropolitain étant caractérisé par une grande hétérogénéité sociale.

4.1. Typologie spatiale des mobilités quotidiennes et hiérarchie sociale à Bogotá

La classe A (figure 2a) regroupe les zones du nord-est du District Capital (DC). Les taux de motorisation des ménages y sont élevés, la voiture et le taxi y constituent des modes de transport courants et les déplacements vers les zones limitrophes y sont nombreux. Ces quartiers concentrent par ailleurs les classes de revenus les plus élevés de l'aire métropolitaine (ICS 5 et ICS 6, figure 2b). Pour la majorité des habitants de ces zones, la ville est fluide et l'emploi - davantage formel et plus rémunérateur qu'ailleurs - reste facilement accessible, du fait de sa disponibilité localement.

La classe B correspond à la première couronne ouest et sud à l'intérieur du DC. Les trajets domicile-travail s'y font principalement entre zones limitrophes, aussi bien en transport collectif public qu'en voiture. Cette classe est également caractérisée par un fort pourcentage d'ICS 4. La mobilité quotidienne vers le lieu de travail y est donc moins facile que pour la classe précédente. Dans ces

zones, vivent principalement les nouvelles classes moyennes pour lesquelles l'accès au logement, moins facile que pour les classes aisées du nord-est, en raison de moyens financiers plus limités, n'a pu se faire qu'à une certaine distance des pôles d'emplois.

La classe C correspond aux quartiers du sud du DC, auxquels il faut rajouter les zones limitrophes de Sibaté et surtout de Soacha²⁵, établi depuis longtemps comme un véritable « quartier de Bogotá » [Dureau *et al.*, 1994]. Les conditions de transport y sont difficiles : la distance et la durée des trajets domicile-travail sont élevées, la plupart des déplacements effectués en transports collectifs publics et notamment en *Transmilenio*. Dans ces zones, vivent des populations modestes : les classes d'ICS 2 et 3 y sont majoritaires. Les déplacements quotidiens représentent un réel défi pour tous ceux qui, contraints de trouver loin de leur domicile des emplois peu rémunérés, subissent des conditions, des durées et des coûts de transports aggravant une situation sociale déjà difficile.

La classe D correspond à la première couronne extérieure du DC. Les trajets domicile-travail se font plutôt en bus d'entreprise pour de nombreux salariés (cas des ouvriers d'usine ou de la floriculture notamment). Le profil de la population locale est modeste, voire pauvre (ICS 1 et 2 majoritaires).

La classe E correspond à une seconde couronne extérieure au nord du DC et comporte des zones rurales. Elle englobe des municipalités qui sont aussi de petits centres urbains générateurs d'emplois. Les trajets domicile-travail sont limités à ces zones et les déplacements sont souvent non motorisés. Cette classe n'est caractérisée par aucune catégorie d'ICS en particulier.

4.2. Typologie spatiale des mobilités quotidiennes et hiérarchie sociale à Santiago

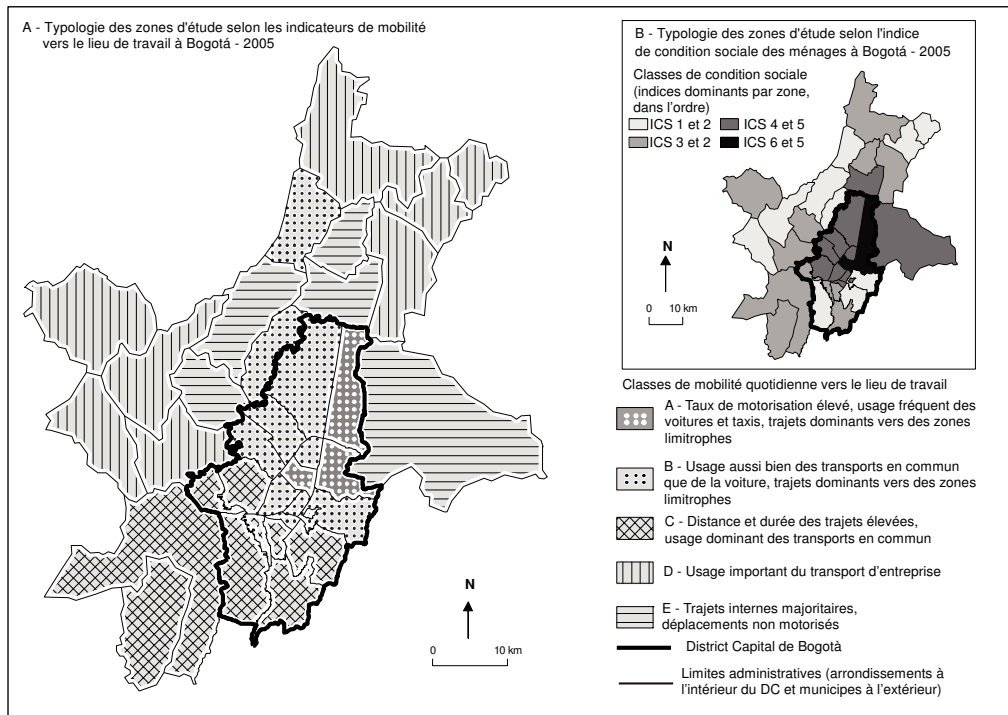
La classe A (figure 3a) réunit des zones au centre-est et nord-est de l'espace métropolitain. Ces zones sont caractérisées par un taux

²⁴ Voir sur ce point la synthèse de F. Dureau, in F. Dureau, V. Gouëset et E. Mesclier (2006), chapitre 14 : « Un modèle métropolitain en évolution », pp. 293-328.

²⁵ Ces deux municipalités se situent au sud-ouest du District Capital de Bogotá.



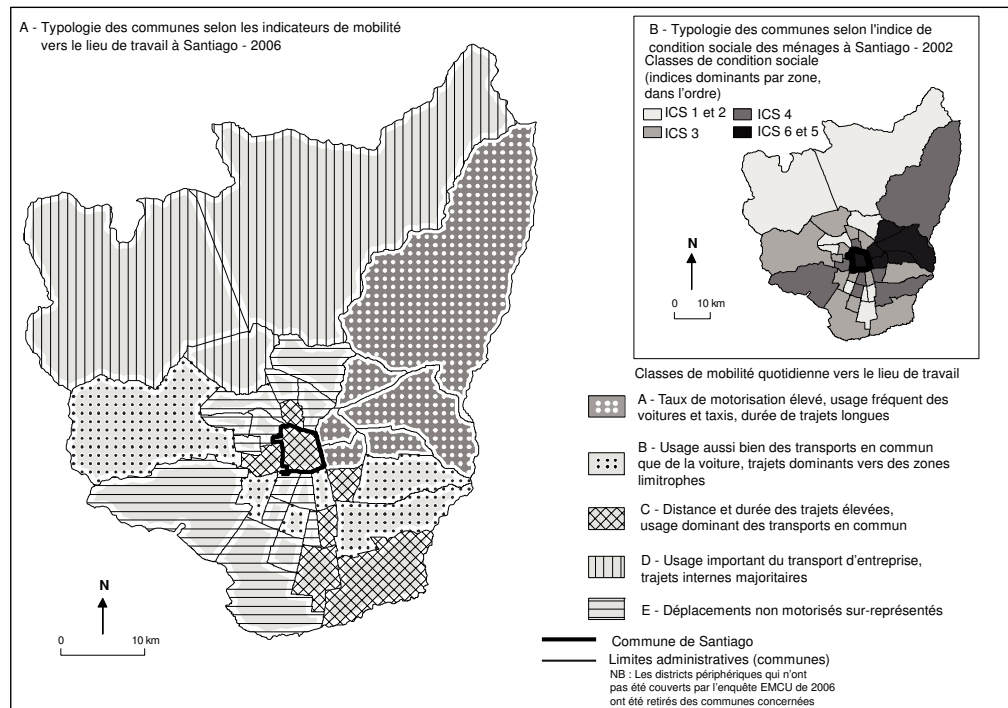
Figure 2. Typologie des déplacements vers le lieu de travail et hiérarchie sociale à Bogotá



Sources : Encuesta de Movilidad Urbana 2005, Recensement 2005 (DANE).

Réalisation : Marie Piron, Florent Demoraes, Vincent Gouëset - ANR METAL - Logiciels SPAD et SavGIS.

Figure 3. Typologie des déplacements vers le lieu de travail et hiérarchie sociale à Santiago du Chili



Sources : Encuesta en centros Urbanos 2006, Recensement 2002 (INE).

Réalisation : Marie Piron, Florent Demoraes, Vincent Gouëset - ANR METAL - Logiciels SPAD et SavGIS.



de motorisation élevé, les trajets vers le lieu de travail se font plus souvent qu'ailleurs en voiture. De plus, les durées de déplacement sont importantes. Ces zones sont par ailleurs caractérisées par l'importance des classes moyennes et aisées (ICS 4 à 6, figure 3b).

La classe B englobe des zones non contiguës à l'ouest, au sud et à l'est de la commune de Santiago. Elles sont caractérisées par des trajets vers des zones limitrophes et des déplacements ne privilégiant pas un mode de transport en particulier. Dans ces zones, les ICS 3 et 4 (classes moyennes) sont majoritaires.

La classe C regroupe trois zones centrales et quelques zones non contiguës du sud-est. Elles sont caractérisées par des trajets vers le lieu de travail majoritairement en transports collectifs publics, l'offre y étant abondante (*Transantiago*, métro, train), des distances et des durées de déplacement longues. Cette classe n'est caractérisée par aucune catégorie d'ICS en particulier, ce qui montre que l'usage massif des transports collectifs publics n'est pas limité à un ensemble de quartiers socialement homogènes.

La classe D comporte des zones davantage rurales au nord, encore peu intégrées à l'aire métropolitaine. Les trajets domicile-travail se réalisent plutôt en bus d'entreprise pour de nombreux salariés et plutôt à l'intérieur de chaque zone. Ce deuxième constat est sans doute lié à l'étendue de ces zones, plus vastes, et à l'existence de petits centres urbains²⁶ qui polarisent localement les activités. Le profil de la population locale est modeste, voire pauvre (ICS 1 et 2 majoritaires). La classe E rassemble un ensemble de zones contiguës denses au nord et au sud-ouest de la commune de Santiago. Les déplacements en mode non motorisé (à pied et à bicyclette) sont surreprésentés. Dans ces zones vivent des populations modestes : les classes d'ICS 1, 2 et 3 (classe ouvrière traditionnelle) sont majoritaires. Il s'agit de secteurs qui se sont développés à partir des années 1950 ou 1960, ou qui ont intégré l'aire métropolitaine au cours des années 1970 et 1980. Depuis les années 1980, les gouvernements successifs ont construit là une part importante du logement social du Grand Santiago.

4.3. Typologie spatiale des mobilités quotidiennes et hiérarchie sociale à São Paulo

La classe A (figure 4a) isole trois zones centrales et le municpe São Caetano do Sul au centre-est de la région métropolitaine. Le taux de motorisation y est élevé et logiquement les déplacements se font plutôt en voiture, majoritairement vers des zones limitrophes. Ces zones se distinguent par les catégories d'ICS les plus aisées (ICS5 et ICS6, figure 4b), ce qui explique aussi le recours fréquent aux taxis.

La classe B rassemble une couronne à l'intérieur du municpe de São Paulo autour des zones centrales et quelques municpes isolés à l'ouest de la région métropolitaine. Les trajets intermédiaires (vers des zones limitrophes) sont surreprésentés, tout comme les déplacements en automobile. À l'intérieur du municpe de São Paulo, les zones sont caractérisées par la présence de catégories d'ICS moyennes et plutôt élevées (ICS4 et 5), à la différence des zones situées à l'extérieur où sont concentrées des catégories majoritairement modestes (ICS 1, 2, 3).

La classe C regroupe le reste de l'espace métropolitain en deuxième couronne. Les conditions de déplacements vers le lieu de travail y sont les plus difficiles. Elles reposent sur des trajets lointains (vers des zones non limitrophes), des durées longues, l'usage des transports en commun publics domine. Elles sont parmi les plus défavorisées de la région métropolitaine (ICS 1, 2, 3).

La classe D réunit quelques grands ensembles d'habitat non contigus qui s'étaient dans une couronne autour du municpe de São Paulo. Les transports d'entreprise et les trajets internes y sont beaucoup plus fréquents qu'ailleurs. Ces ensembles regroupent de grands bassins d'emplois liés au pôle industriel du secteur ABC au sud-est, au nouveau pôle industriel et tertiaire à l'ouest (Barueri et Osasco) et à l'aéroport international, au nord-est du municpe de São Paulo (municpe de Guarulhos). On retrouve là en majorité des catégories d'ICS modestes (ICS 1, 2, 3) et moyennes (ICS4).

La classe E regroupe les zones situées en périphérie de la région métropolitaine et,

²⁶ On peut citer notamment les chefs-lieux Lampa et Colina situés au centre des deux municipalités les plus au nord de l'aire métropolitaine de Santiago. Ils rassemblent

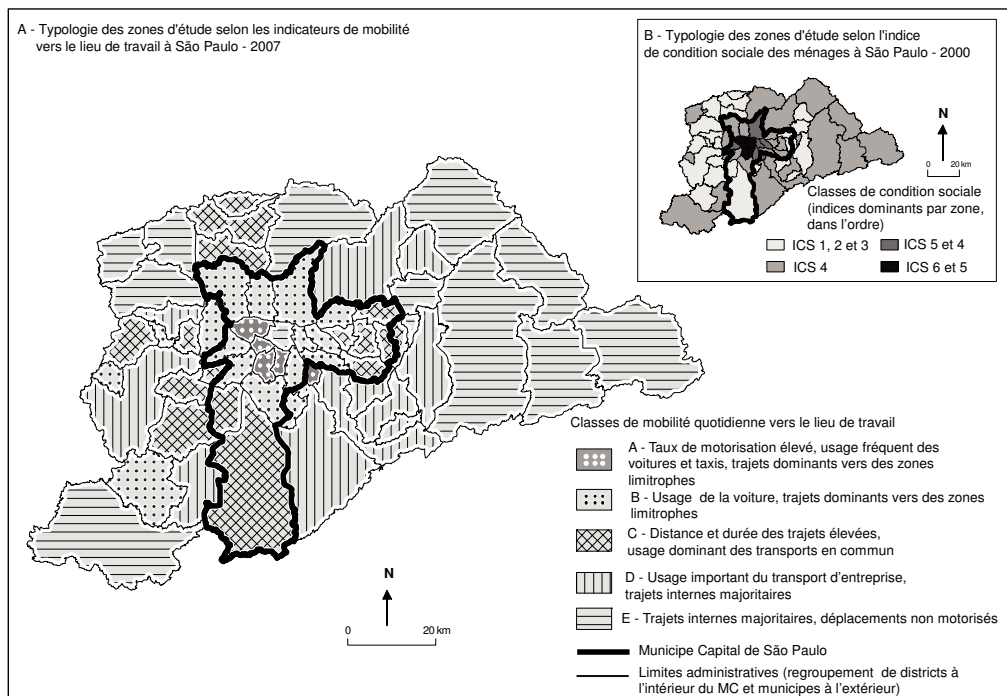
des services de proximité (nombreux commerces), des industries agro-alimentaires et des entreprises de logistique et de transport.



de manière un peu surprenante au premier abord, l'hypercentre. Les zones périphériques sont largement rurales alors que l'hypercentre rassemble les quartiers les plus anciens, construits pour la plupart avant 1950. Les déplacements non-motorisés (à pied et en bicyclette) et les trajets internes y sont surreprésentés par rapport aux autres zones. Pour la périphérie, cela s'explique par le fait que les zones sont vastes et que les petits centres urbains qu'elles comportent polarisent localement les activités. Dans l'hypercentre, beaucoup moins étendu, la présence d'une part importante d'em-

ploi (banques, sièges sociaux, universités, etc.) permet aux habitants de travailler à proximité de leur lieu de résidence. Si la périphérie et l'hypercentre se ressemblent du point de vue de leur profil de mobilité vers les lieux de travail, elles se différencient très nettement de par leur niveau de richesse. La périphérie est caractérisée principalement par des catégories d'ICS modestes (ICS 1, 2, 3 majoritaires) et moyennes (ICS4), alors que, dans l'hypercentre, la catégorie 6 est largement surreprésentée, ce qui explique aussi que le recours aux taxis y soit plus fréquent.

Figure 4. Typologie des déplacements vers le lieu de travail et hiérarchie sociale à São Paulo



Sources : Pesquisa Origem Destino 2007, recensement 2000 (IBGE).

Réalisation : Marie Piron, Florent Demoraes, Vincent Gouëset - ANR METAL - Logiciels SPAD et SavGIS.

5. APPROCHE TERRITORIALISÉE DES MOBILITÉS QUOTIDIENNES VERS LE LIEU DE TRAVAIL ET HIÉRARCHIE SOCIALE : SYNTHÈSE COMPARATIVE

L'analyse typologique a permis d'organiser, de hiérarchiser et de faire ressortir les principales structures qui sous-tendent l'organisation des espaces métropolitains. Elle fournit une vision globale des relations qui existent entre les déplacements domicile-travail, les lieux de résidence et les conditions sociales par zone. De cette analyse,

découlent cinq types que l'on retrouve de façon plus ou moins identique dans les trois villes, ce qui facilite la comparaison et permet de dégager des constantes. L'identification de ces cinq types peut paraître surprenante compte tenu des contrastes existant entre les trois villes. Elle est en partie liée au nombre d'unités géographiques qui est



plutôt restreint (61 zones au maximum à São Paulo) et au nombre d'indicateurs de mobilité quotidienne vers le lieu de travail qui est, lui aussi, limité (11).

Quels sont les types les mieux structurés et que l'on retrouve dans toutes les villes ? À l'inverse, quels sont les types les plus singuliers qui ne sont transposables qu'en partie sur les autres villes ? Comment se distribuent spatialement les types par ville ?

Pour rendre compte de la ressemblance qui existe entre un même type d'une ville à l'autre, nous avons considéré le nombre d'indicateurs caractéristiques communs et le nombre d'indicateurs dissemblables. À partir de là, nous avons défini schématiquement deux intensités de ressemblance (graphique 2)²⁷. Pour obtenir une idée concernant la part qu'occupe chaque type par ville, et pour pouvoir la comparer avec les autres villes, nous avons calculé le nombre de zones par type rapporté à l'ensemble. Enfin, pour évaluer la dispersion dans l'espace des zones appartenant à chaque type et pour la comparer d'une ville à l'autre, nous avons calculé la dispersion relative des zones par type²⁸, dispersion que nous avons ensuite classée.

Les zones définies par des conditions de mobilité difficiles (classe C : distance et durée longues, déplacements en transports collectifs publics) présentent les mêmes caractéristiques dans les trois villes (intensité de ressemblance forte) et sont globalement bien représentées (entre 19 et 28% des zones). En revanche, si la localisation de ces zones recouvre un mélange de lieux centraux et périphériques (vers le sud) à Santiago, elles ne concernent que des espaces périphériques dans les deux autres villes (figures 2a, 3a, 4a). De même, si ces zones sont caractérisées par des ICS 1, 2 et 3 à Bogotá et à São Paulo, aucune catégorie d'ICS ne se ressort clairement pour ces zones à Santiago, ce qui indique bien que l'usage massif des transports collectifs publics n'y est pas limité

à un ensemble socialement homogène de quartiers.

Les autres classes ne présentent pas toutes exactement la même structure dans les trois villes. Par exemple, les zones dans lesquelles se dégagent les déplacements non-motorisés et les trajets internes (classe E) s'observent aussi bien à Bogotá qu'à São Paulo alors qu'à Santiago cette classe est moins bien définie puisque seuls les déplacements non-motorisés y sont surreprésentés. Cette caractérisation moins nette explique le fait que près de 40% des zones soient rattachées à cette classe.

De leur côté, les zones présentant les conditions de mobilité les plus favorables (classe A : taux de motorisation élevés, trajets en voiture, déplacements intermédiaires) sont assez largement répandues à Santiago (17% des zones) alors qu'elles le sont beaucoup moins à Bogotá et à São Paulo (8%). Ces zones sont regroupées dans les espaces centraux des deux premières villes et dans le centre-est et sa prolongation nord-orientale à Santiago (figures 2a, 3a, 4a). Ces zones sont toutes caractérisées par des ICS 5 et 6.

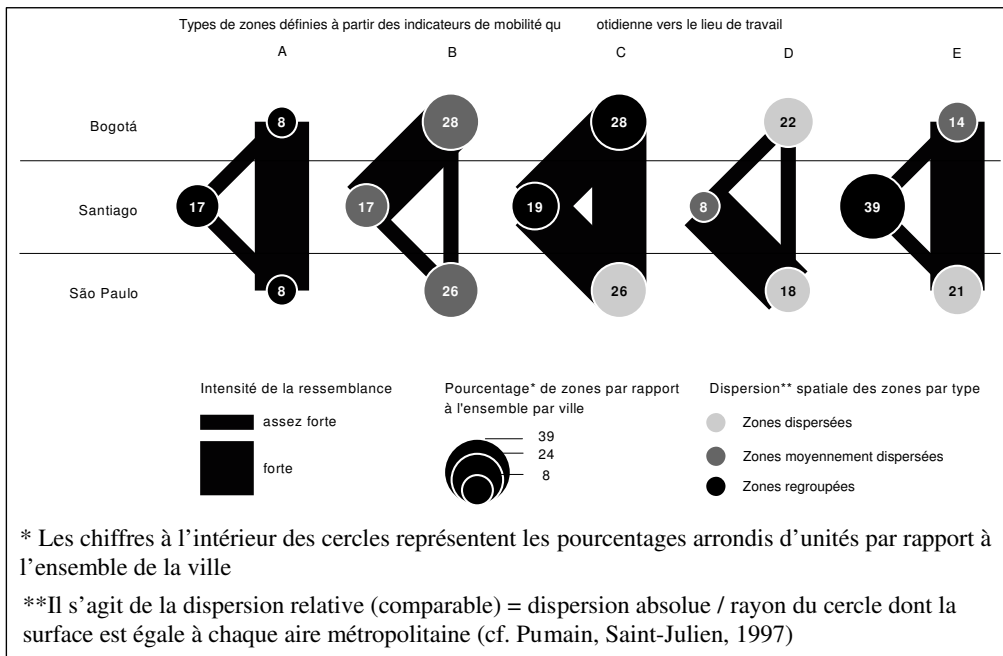
Enfin, près de 20% des zones à Bogotá et à São Paulo sont caractérisées par un usage important du transport d'entreprise (type D) contre seulement 8% à Santiago. Cette différence s'explique en partie par les caractéristiques des aires métropolitaines étudiées. L'aire métropolitaine de Bogotá englobe davantage de zones rurales dans lesquelles l'usage des transports d'entreprise associés à la floriculture est fréquent. L'aire métropolitaine de São Paulo comporte de grands secteurs industriels dans lesquels ce mode de transport est également bien présent. À Bogotá et à São Paulo, les zones appartenant à ce type sont très dispersées alors qu'elles ne concernent qu'un groupe de trois zones au nord de Santiago. À Bogotá et à Santiago, ces zones se caractérisent par les ICS 1 et 2. À São Paulo, aux ICS 1 et 2, s'ajoutent les ICS 3 et 4.

²⁷ Nous avons utilisé le qualificatif « ressemblance forte », lorsqu'un même type ne présente que des caractéristiques communes d'une ville à l'autre, et « ressemblance moyenne » dans les autres cas de figure.

²⁸ Cette dernière repose sur la dispersion absolue

(éloignement du centroïde de chaque zone au centre de gravité de chaque ensemble de zones appartenant à un type), rapportée au rayon du cercle dont la surface est égale à la surface de chaque aire métropolitaine [Pumain, Saint-Julien, 1997, pp. 56-59].

Graphique 2. Proportion, ressemblance et dispersion spatiale des types de zones définies à partir des indicateurs de mobilité.



CONCLUSION

En dépit des contrastes entre Bogotá, São Paulo et Santiago qui renvoient à leur différence de taille, notamment de leur ville-centre, à leur écart en termes de développement économique, à leur offre de transport, force est de constater que ces trois villes comportent des zones présentant des profils de mobilité vers le lieu de travail globalement similaires. Les différences s'observent avant tout quant à la répartition géographique et au nombre de zones par type. Un effet territorial (rapporté au lieu de résidence) joue de façon non négligeable, parallèlement à l'effet de la position sociale. On perçoit bien dans les trois villes – de façon moins marquée malgré tout à Santiago – qu'un effet de type gravitaire oppose globalement les parties centrales et péri-centrales des régions métropolitaines – mieux desservies en transports collectifs publics – aux espaces périphériques qui cumulent souvent les indicateurs les plus défavorables, sur le plan des mobilités comme sur le plan social. On note que les conditions de déplacement restent difficiles dans un grand nombre de

secteurs des trois villes. Dans plus du quart des zones (un peu moins à Santiago), les trajets réalisés en transports publics collectifs sont longs en temps et en distance.

À l'opposé, on voit bien se dessiner dans les trois villes des quartiers relativement centraux et favorisés socialement, dans lesquels la mobilité est rendue aisée par l'utilisation de véhicules particuliers, ce qui permet aux habitants d'avoir un large choix dans l'accès à l'emploi : qu'ils travaillent à proximité ou à une distance éloignée, dans les deux cas l'accès à l'emploi est possible. Santiago semble être l'agglomération où les zones présentant les meilleures conditions de déplacements domicile-travail sont proportionnellement les plus nombreuses (17%). Cet avantage doit cependant être nuancé par l'importante durée des trajets.

Entre les deux, se dégagent des espaces péri-centraux ou de première couronne périphérique (à l'intérieur du DC pour Bogotá et du municipe capital pour São Paulo), socialement hétérogènes et présentant aussi des conditions de mobilités plus contrastées,



ce qui génère des situations plus nuancées. C'est ici que l'effet différentiel de l'offre de transports collectifs publics est le plus décisif. On a vu en effet, et c'est un autre résultat de cette recherche, que l'usage des transports collectifs publics n'est pas spécifique d'une catégorie particulière d'ICS. Il est surtout lié à la distance du déplacement : il concerne les trajets lointains vers l'extérieur des zones d'étude. Dans ces espaces « intermédiaires », accéder à un système de transports collectifs dense et efficace est la garantie de meilleures conditions de circulation dans la ville. On a là un enjeu central pour les politiques publiques, qui se pose à une échelle métro-

politaine. Cela renvoie, pour São Paulo et Bogotá, à la fracture potentielle entre la ville-centre et les municipes périphériques, où la qualité de l'offre de transport collectif public décroît assez vite. À Santiago en revanche, le maillage communal est certes morcelé mais la planification des transports s'est toujours faite à une échelle métropolitaine, et les transports collectifs publics ont précisément joué un rôle important dans l'organisation de l'espace, avec un réseau très étendu (plus dense toutefois au centre et à l'est de la ville), un service assuré jusqu'aux limites physiques de la ville « formelle » et un tarif indépendant de la distance parcourue.

BIBLIOGRAPHIE

- AGERON P., SUTTON K. et VARLET J. (2009), Mobilités et transports. Orientation bibliographique, *Historiens et Géographes*, n° 407, pp. 242-244.
- BACCAÏNI B., SÉMÉCURBE F., THOMAS G. (2007), Les déplacements domicile-travail amplifiés par la périurbanisation, Pôle Analyse territoriale, Insee, <http://www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1129/ip1129.pdf>
- CHARDONNEL S., DUREAU F., TABAKA K., IMBERT C. et LÉVY J.-P. (2009), Les mobilités. Bibliographie de l'agrégation de géographie 2010, *Historiens et Géographes*, n° 407, pp. 232-241.
- DELAUNAY D., DUPONT V. et DUREAU F. (2002). « Travailler à domicile ou à l'extérieur : une comparaison internationale dans deux métropoles du Sud (Bogotá et Delhi) », in J.-P. Lévy, F. Dureau (dir.), *L'accès à la ville. Les mobilités en question*, Paris, L'Harmattan, coll. Habitat et sociétés, pp. 185-207.
- DONZELOT J. et MONGIN O. (2004), La ville à trois vitesses : gentrification, relégation, périurbanisation, *Esprit*, n° 303, (mars-avril).
- DUPONT V., DUREAU F. (1997), *Pratiques résidentielles et impact sur les dynamiques et la segmentation de grandes métropoles. Étude des formes de mobilité spatiale des populations de Bogotá et de Delhi. Rapport final*, Bordeaux et New Delhi, ORSTOM, 179 p.
- DUREAU F. (2006), « Habiter la ville : stratégies et mobilités résidentielles », in F. Dureau., V. Gouëset, E. Mesclier, *Géographies de l'Amérique latine*, Rennes, PUR, coll. Espace et territoires, pp. 263-292.
- DUREAU F., BARBARY O., LULLE T. (2004), « Dynamiques de peuplement et ségrégations métropolitaines », in F. Dureau et al (dir.), *Villes et sociétés en mutation. Lectures croisées sur la Colombie*, Paris, Anthropos, Collection Villes, pp. 123-182.
- DURAEU F., GOUËSET V. et MESCLIER E. (2006), *Géographies de l'Amérique latine*, Rennes, PUR, 374 p.
- DUREAU F., HOYOS M.C., FLOREZ C.E. (1994), Soacha : un barrio de Bogotá. Movilidad y acceso a la vivienda de la población de los sectores orientales del municipio, Bogotá, Universidad de Los Andes, *Desarrollo y Sociedad*, n° 34, pp. 95-147.
- FIGUEROA O. (2005), Transporte urbano y globalización. Políticas y efectos en América latina, Santiago du Chili, *Revista Eure*, vol. XXXI, n° 94, pp. 41-53.
- HENRY E. et HUBERT J.-P., (2001), "Enjeux territoriaux de la motorisation et contrastes de la mobilité", in Y. Bussière et J.-L. Madre (dir.), *Démographie et demande de transport : villes du Nord et villes du Sud*, Paris, Economica.
- LEBART L., PIRON M., MORINEAU A. (2006), *Statistique exploratoire multidimensionnelle : visualisation et inférence en fouille de données*, Dunod, 464 p.
- METRO (2007), Pesquisa Origem Destino, <http://www.metro.sp.gov.br/empresa/pesquisas/origem/teorigem.shtml>
- MONTEZUMA R. (2003), « Ciudad y transporte. La movilidad urbana », in M. Balbo et al., *La ciudad inclusiva*, Santiago du Chili, Cuadernos de la CEPAL, n° 88, pp. 175-191.
- NUNES APOLINÁRIO M. (2009), Los municipios en la constitución brasileña, en Contribuciones a las Ciencias Sociales. www.eumed.net/rev/cccss/06/mna2.htm.
- ORSTIF (2010), Enquête auprès des salariés d'Île-de-France sur les transports en commun domicile-travail, <http://www.lesechos.fr/medias/2010/0302//300413654.pdf>
- PUMAIN D., SAINT-JULIEN Th. (1997), *L'analyse spatiale*, Paris, Armand Colin, coll. Cours Géographie, 167 p.
- RODRÍGUEZ J. (2008), Movilidad cotidiana, desigualdad social y segregación residencial en cuatro metrópolis de América Latina, *Eure*, XXXIV, n° 103, pp. 49-71.
- SOURIS M., DEMORAES F., SERRANO T., HUBERT E. (2007), *Manuels de référence du logiciel SavGIS*, 870 p.
- VASCONCELLOS E. (1996), *Transporte urbano nos países em desenvolvimento*, São Paulo, Ed. Annablume.



ANNEXE 1. Indicateurs de mobilité quotidienne (déplacements domicile-travail) retenus pour la comparaison et calculés à partir des enquêtes OD de Bogotá (2005), Santiago (2006) et São Paulo (2007)

Indicateur	Description de l'indicateur	Libellé sur les plans factoriels
Durée des trajets	Durée moyenne des trajets vers le lieu de travail, tous modes de transport confondus, par zone d'origine	Durée
Taux de motorisation	Nombre de voitures pour 100 ménages, par zone d'étude	Motorisation
Trajets non motorisés	Déplacements vers le lieu de travail réalisés à pied ou en bicyclette, par zone d'origine	Non motorisé
Public collectif	Déplacements vers le lieu de travail réalisés en transport en commun public, par zone d'origine	Public collectif
Privé particulier	Déplacements vers le lieu de travail réalisés en voiture ou moto individuelle, par zone d'origine	Voiture
Privé collectif	Déplacements vers le lieu de travail réalisés en transport d'entreprise, par zone d'origine	Transport Entreprise
Taxi	Déplacements vers le lieu de travail réalisés en taxi, par zone d'origine	Taxi
Autres	Déplacements vers le lieu de travail réalisés par le biais d'un autre mode de transport ou combinant plusieurs modes, par zone d'origine	Autre mode
Trajets internes	Déplacements vers le lieu de travail réalisés à l'intérieur d'une même zone (origine = destination), tous modes de transport confondus, par zone d'étude	Déplacement local
Trajets intermédiaires*	Déplacements vers le lieu de travail réalisés vers des zones limitrophes de la zone d'origine, tous modes de transport confondus, par zone d'étude	Limitrophe
Trajets lointains*	Déplacements vers le lieu de travail réalisés vers des zones non limitrophes de la zone d'origine, tous modes de transport confondus, par zone d'étude	Déplacement lointain

* calculés au moyen d'un graphe de contiguïté dans *SavGIS* afin d'estimer les distances parcourues, non recensées lors des enquêtes.







4 - Travaux à caractère méthodologique

Cet axe non thématique, rassemble trois références (deux chapitres d'ouvrage, un article) dans lesquelles la dimension méthodologique constitue le fil conducteur. L'accent est tantôt mis sur le dispositif méthodologique échaudé dans un programme (**Réf. 11**), tantôt sur l'explicitation de la méthode mise au point pour mener l'analyse (les deux autres références).

Dans la première référence (**Réf. 11**), l'enjeu est de présenter le dispositif méthodologique conçu et appliqué pour traduire les objectifs scientifiques du programme de l'ANR METAL sur trois terrains qui diffèrent non seulement quant aux réalités observées, mais aussi quant à l'information disponible, aux conditions d'enquête et à la composition des équipes de chercheurs impliqués dans le programme. Il s'agit aussi de mettre en évidence les enseignements de l'expérience de recherche conduite dans le programme de l'ANR METAL, en identifiant les apports et les limites des solutions mises en œuvre.

Dans la deuxième référence (**Réf. 12**), c'est la méthode d'analyse de données mise au point dans le cadre de ma thèse qui est exposée. 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.

La troisième référence (**Réf. 13**), inspirée d'un chapitre de ma thèse, détaille la méthode élaborée pour évaluer l'accessibilité des différents secteurs de l'agglomération de Quito en temps habituel. Au regard des critères retenus, on constate que 52% du District Métropolitain de Quito est caractérisé par une accessibilité habituelle très mauvaise ce qui laisse présager de graves difficultés de circulation en cas de crise sismique ou volcanique.

Réf. 11 - F. DUREAU (coord.), Y. CONTRERAS, F. DEMORAES, G. LE ROUX, T. LULLE, M. PIRON, S. SOUCHAUD (2014). - *Une méthodologie de production et d'analyse de l'information commune aux 3 métropoles étudiées - Programme de recherche ANR METAL, Chapitre 2*, in DUREAU F., LULLE T., SOUCHAUD S., CONTRERAS Y., (Ed.), *Mobilités et changement urbain à Bogotá, Santiago et São Paulo*, coll. *Espaces et Territoires*, Presses Universitaires de Rennes, pp. 49-82.

Réf. 12 - F. DEMORAES, R. D'ERCOLE, P. METZGER, M. SOURIS. (2006). - *Enjeux, mobilité, accessibilité et risques - L'exemple du District Métropolitain de Quito (Equateur)* - *Revue Internationale de Géomatique* - Editions Hermès, Vol. 16/3-4, pp. 435-456.

Réf. 13 - F. DEMORAES, D'ERCOLE R., METZGER P. (2004). - *Accesibilidad de los espacios en el DMQ* - In D'ERCOLE R., METZGER P. (Dir.), *La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*, Coll. *Quito Metropolitano*, MDMQ-IRD (Ed.), pp. 35-50.



2

Une méthodologie de production et d'analyse de l'information commune aux trois métropoles

*Françoise DUREAU (coord.), Yasna CONTRERAS, Florent DEMORAES,
Guillaume LE ROUX, Thierry LULLE, Marie PIRON et Sylvain SOUCHAUD*

L'introduction générale a montré quels étaient les objectifs de cette recherche comparative et la posture théorique adoptée. Le premier chapitre a dressé un tableau général du contexte économique, de la dynamique démographique et des politiques en matière d'aménagement urbain, de logement et de transport dans les trois métropoles. L'enjeu de ce deuxième chapitre est de présenter le dispositif méthodologique conçu et appliqué pour traduire ces objectifs scientifiques sur trois terrains qui diffèrent non seulement quant aux réalités observées, mais aussi quant à l'information disponible, aux conditions d'enquête et à la composition des équipes de chercheurs impliqués dans le programme METAL. Il s'agit donc de fournir ici les éléments d'information nécessaires à la lecture des chapitres de résultats de cet ouvrage. Il s'agit aussi de mettre en évidence les enseignements de notre expérience de recherche, en identifiant les apports et les limites des solutions mises en œuvre.

Dans les trois métropoles et selon une méthodologie commune, nous avons articulé une analyse à l'échelle métropolitaine et des études de cas sur des quartiers illustratifs des mutations en cours. L'enjeu était de mettre systématiquement en perspective : le fonctionnement des espaces métropolitains; et celui de lieux – ou de processus – plus limités dans l'espace dont la logique ne peut être comprise qu'en menant une étude ciblée de ces lieux et en produisant de l'information originale sur des thèmes non appréhendés par les sources d'information disponibles. C'est pourquoi le système d'investigation mis en œuvre mêle l'exploitation d'informations existantes (recensements et, très ponctuellement, enquêtes origine-destination) et la production, par enquêtes, de données nouvelles sur les mobilités spatiales. À l'articulation des échelles spatiales, s'ajoute celle des échelles temporelles : les changements urbains sont appréhendés par les évolutions entre des observations transversales (les recensements), tandis que les mobilités spatiales sont abordées par les enquêtes dans une perspective biographique. Au niveau métropolitain comme au niveau des quartiers c'est bien la relation entre la dynamique des lieux et celle des habitants qui est au cœur de l'analyse; les trajectoires migratoires, les parcours

2

résidentiels et les mobilités quotidiennes se déroulent dans des territoires métropolitains en mouvement, qu'ils contribuent à transformer, au même titre que les interventions institutionnelles publiques ou privées¹.

Après une première section consacrée à l'exploitation des données censitaires, nous nous pencherons sur la question de la production de l'information sur les mobilités. Une troisième et dernière section portera sur les méthodes d'analyse employées pour produire les résultats présentés dans les différents chapitres de l'ouvrage. En conclusion, nous nous efforcerons de mettre en évidence les avancées méthodologiques produites dans le cadre de cette recherche. Le programme METAL a en effet accordé une place importante à la réflexion méthodologique et les solutions mises en œuvre dans les enquêtes s'inscrivent dans un processus d'amélioration progressive des méthodes de production de données sur les mobilités spatiales dont il importe de rappeler les grandes lignes².

Depuis les enquêtes biographiques pionnières des années 1960 réalisées en France, au Mexique et en Afrique de l'Ouest et, surtout, après l'enquête 3B (Triple biographie : familiale, professionnelle et migratoire) de l'Ined en 1981, le cadre théorique et les méthodes de l'analyse démographique des biographies ont sensiblement progressé; les collectes biographiques quantitatives se sont multipliées d'abord en Europe, puis à partir de la fin des années 1980 en Afrique, en Amérique latine et en Asie (figure 2-1). Le bilan dressé en 1997 dans le cadre d'une rencontre du Groupe de Réflexion sur l'Approche Biographique (GRAB, 1999) et son actualisation récente (Dureau, Imbert, 2014) permettent d'identifier les principales innovations apportées aux procédures de collecte, en lien avec l'évolution des objectifs des enquêtes, de leurs univers géographique et social et de la conceptualisation des comportements individuels de mobilité, des rapports des individus aux lieux et des trajectoires individuelles. L'ensemble de ces facteurs ont contribué à la production d'une information biographique à la complexité croissante sur le plan social, spatial et temporel.

Au fil des collectes biographiques, l'outil de base du recueil biographique, la « matrice biographique » ou « *life history calendar* » utilisée pour repérer selon un calendrier commun les événements ou les étapes des trajectoires migratoires, résidentielles, professionnelles, familiales, etc., depuis la naissance jusqu'au moment de l'enquête, se généralise et connaît des améliorations matérielles successives ainsi que des modifications liées aux évolutions de l'approche biographique elle-même : focalisation progressive des questionnaires sur le recueil de l'information biographique, diversification thématique du recueil biographique qui concerne

1. Ont également été réalisés dans chacune des trois villes des entretiens auprès d'acteurs représentant des institutions des secteurs public ou privé et de la société civile, à différents échelons territoriaux, qui interviennent dans les domaines de l'aménagement du territoire, de la gestion urbaine, du développement économique, de l'habitat, du transport, de la rénovation urbaine ou de la conservation du patrimoine. La majorité des entretiens réalisés (une quarantaine à Bogotá, une trentaine à São Paulo et un nombre plus restreint à Santiago) ont fait l'objet d'une transcription. Nous ne les évoquons pas ici en raison du caractère limité de l'usage de ces entretiens dans le présent ouvrage.

2. Pour plus de détails sur l'approche biographique de la mobilité, nous renvoyons le lecteur au chapitre « L'approche biographique des mobilités résidentielles » (DUREAU F., IMBERT C., 2014), sur lequel repose le panorama suivant, dressé de façon très sommaire.

50

2

Constitution et traitement des bases de données géographiques et censitaires

Le projet a démarré par la mise en place, pour chacune des métropoles, des bases de données géographiques et censitaires construites à partir des deux derniers recensements³. Un double objectif était visé : i) établir un diagnostic comparatif sur l'expansion urbaine, l'évolution du parc de logements, les recompositions du peuplement et l'évolution des formes de ségrégation résidentielle; ii) contribuer à orienter le choix des zones d'enquête. Dans un contexte de disparité des données censitaires entre les pays ou entre les recensements d'un même pays, la démarche comparative a nécessité un lourd investissement dans la conception et la mise en œuvre de procédures cohérentes entre les trois sites.

Délimitation des métropoles et définition des niveaux de découpage interne

L'enjeu était de définir de façon homogène les aires d'étude et des niveaux de découpage cohérents entre les trois métropoles pour l'analyse des données censitaires. Pour délimiter les espaces métropolitains, la démarche a été de considérer les délimitations officielles et les dynamiques démographiques et spatiales en cours entre les deux derniers recensements. L'espace ainsi défini devait permettre de capter l'expansion spatiale, même diffuse, des villes jusqu'en 2009, d'où une délimitation « étendue » de chaque métropole.

Les délimitations adoptées sont les suivantes (figure 2-2) :

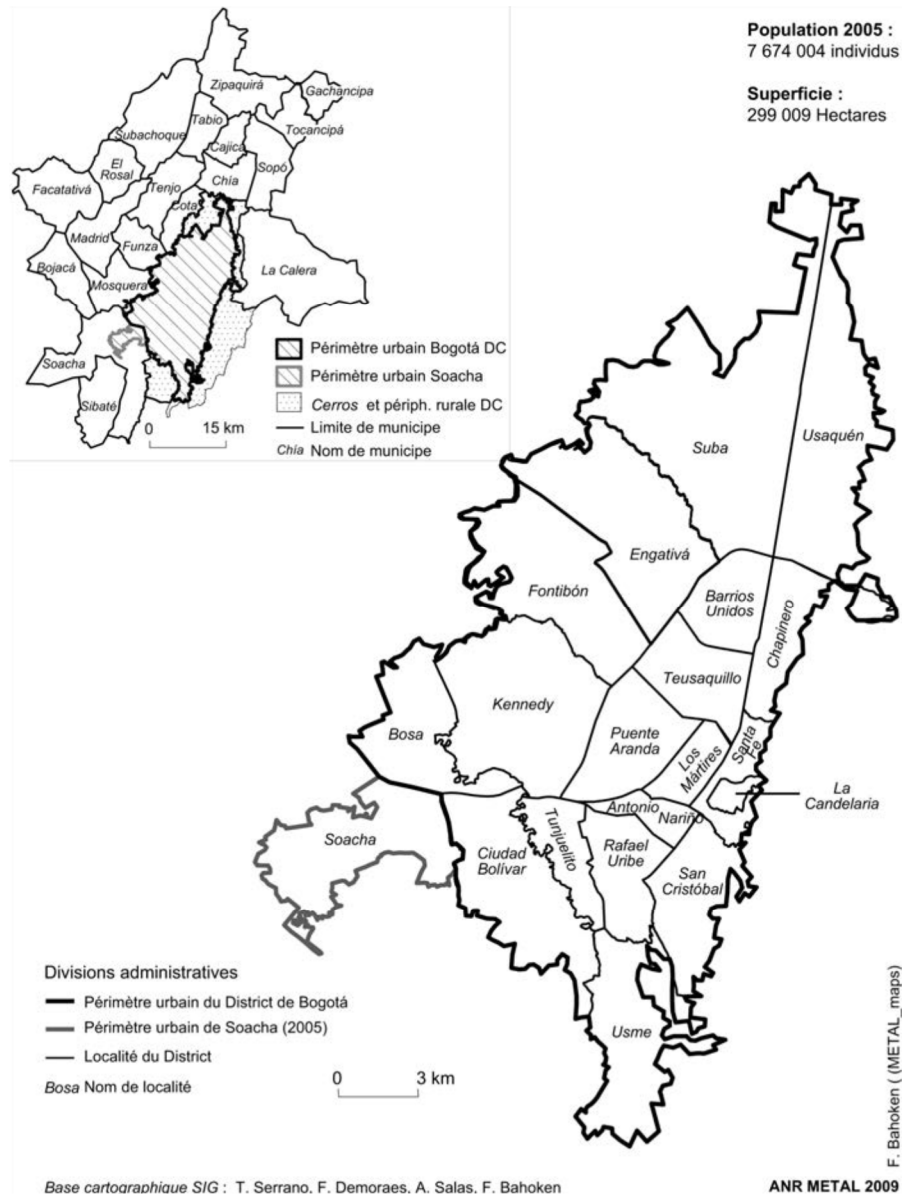
- Bogotá : 19 *localidades urbanas* du District de Bogotá (non inclus, donc, la *localidad rural* de Sumapaz) et 19 municipes de la périphérie;
- Santiago : 39 *comunas* (32 situées dans la province de Santiago et 7 situées en dehors; c'est-à-dire les 34 *comunas* considérées dans la définition du *Gran Santiago* par l'INE (*Instituto Nacional de Estadísticas*) et 5 en dehors de ce périmètre INE);
- São Paulo : 30 *municípios* (parmi les 39 que compte officiellement la région métropolitaine de São Paulo).

3. Bogotá (1993, 2005), Santiago (1992, 2002), São Paulo (1991, 2000). Depuis la réalisation du projet, de nouveaux recensements ont été réalisés au Brésil (2010) et au Chili (2012). L'accès aux données étant en cours au moment de rédaction de cet ouvrage, celles-ci ont fait l'objet d'analyses ponctuelles dont les résultats sont restitués dans certains chapitres. En revanche, nous ne leur avons pas appliqué l'ensemble de la procédure d'exploitation de l'information censitaire mise en œuvre sur les recensements précédents : nous ne les évoquerons donc pas dans cette section.



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

Figure 2-2a : Découpage politico-administratif de Bogotá.



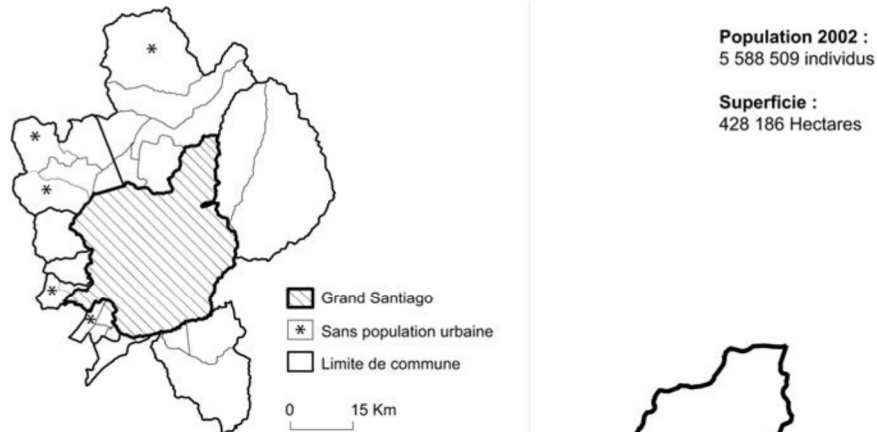
FRANÇOISE DUREAU ET AL.



MOBILITÉS ET CHANGEMENT URBAIN

2

Figure 2-2b : Découpage politico-administratif de Santiago.



Districts avec des aires urbanisées selon l'image Landsat 2001
 Ne sont pas pris en compte les districts dont les aires urbanisées sont isolées de la tache urbaine ou limitées aux axes de communication.



Source : CELADE, base cartographique et micro-données du recensement de 2002
 Intégration dans le SIG : T. Serrano, F. Demoraes

ANR METAL 2009

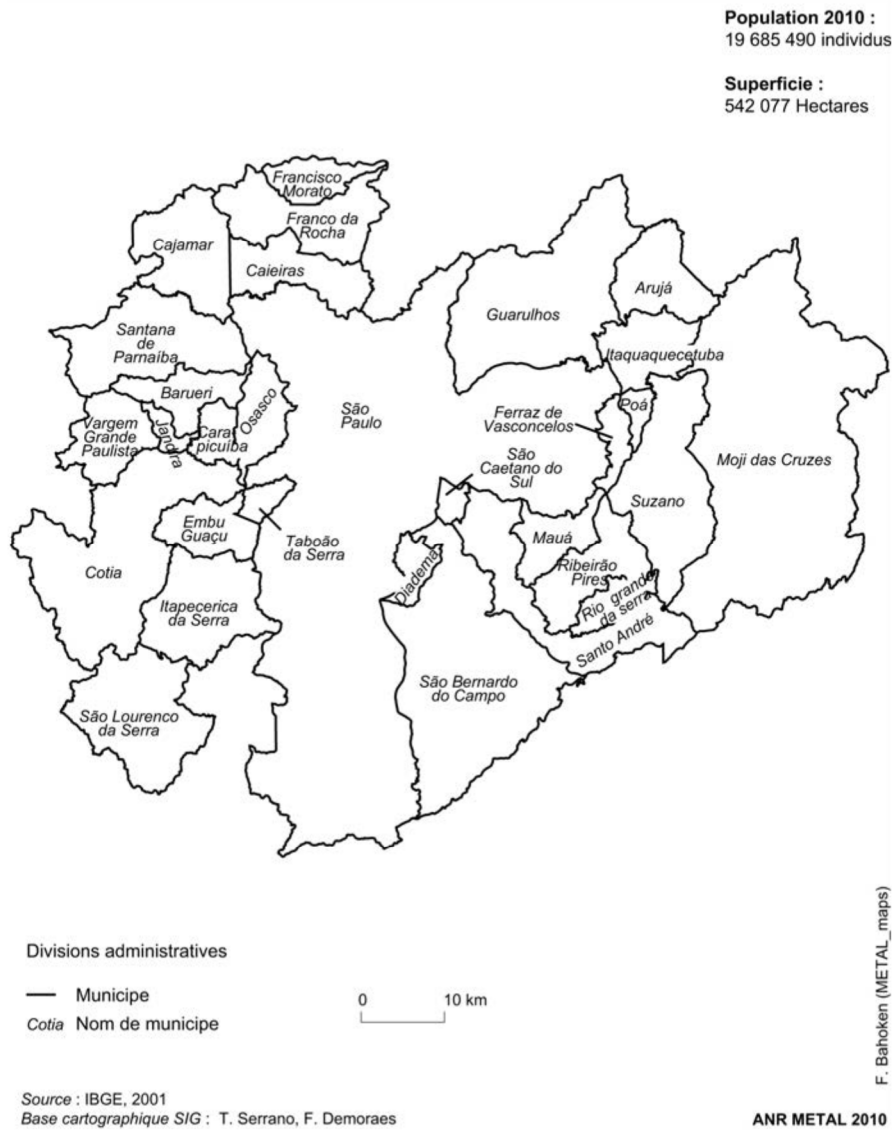
F. Bahoken (Metal_maps)

54



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

Figure 2-2c : Découpage politico-administratif de São Paulo.



FRANÇOISE DUREAU ET AL.



MOBILITÉS ET CHANGEMENT URBAIN

2

Les données qui figurent en haut des trois cartes de la figure 2-2 mettent bien évidence les différences de taille des métropoles étudiées, que ce soit en termes de superficie ou de nombre d’habitants, São Paulo se distinguant très nettement de Bogotá et de Santiago. Outre les difficultés d’analyse posées par cette différence de taille, doit également être évoquée la spécificité de São Paulo sur le plan du découpage politico-administratif : le *município* central de São Paulo, d’une taille beaucoup plus importante que les autres *municípios* de l’aire métropolitaine, concentre en 2000 19 % de la superficie et 58 % de la population de l’aire métropolitaine, alors que ces proportions sont respectivement de 0,5 % et 4,4 % pour la *comuna* de Santiago et de 1,5 % et 1,3 % à Bogotá pour la *localidad* centrale de Bogotá (Santa Fé). Cette double spécificité de São Paulo complique incontestablement la comparaison entre villes à l’échelle municipale.

Tableau 2-1 : Disponibilité des données censitaires par échelon géographique et choix opérés.

	Bogotá		Santiago		São Paulo	
	1993	2005	1992	2002	1991	2000
Niveau 1	Localité/ municipe (37)	Localité/ municipe (38)	Commune (39)	Commune (39)	Municipe (29)	Municipe (30)
Niveau 2	Secteur (656)	Secteur (692)	District (302)	District (393)	District	District (151)
Niveau 3	Section (2 951)	Section (3 166)	Zone de recensement	Zone de recensement	Aire de pondération	Aire de pondération (802)
Niveau 4	Ilot (44 116)	Ilot (43 566)	Ilot (41 373)	Ilot (54 746)	Ilot	Ilot
Accès aux micro données géo- référencées	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non

En gris : données non disponibles.

En gras : les niveaux de découpage utilisés pour la production d’indicateurs et les représentations cartographiques.

Source : Programme METAL, d’après les données DANE, INE et IBGE.

Les échelons géographiques auxquels étaient disponibles les données censitaires ainsi que la disponibilité des fonds cartographiques correspondants, ont fortement conditionné le choix des échelles d’analyse. Pour chaque niveau de découpage, nous avons pris en considération le nombre d’unités et sa population moyenne. Le tableau 2-1 rend compte des niveaux de découpage existants dans

56



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

les trois villes et du choix opéré pour chacune d'elles. Dans le cas de São Paulo, les données à notre disposition n'ont pas permis de travailler à un niveau de désagrégation géographique satisfaisant en 1991 : nous avons été contraints d'utiliser le découpage en municipes bien que trop sommaire pour mener des analyses spatiales satisfaisantes, en particulier au sein du Municipio de São Paulo.

Mise en place des bases de données géographiques et censitaires

Sur chacune des trois villes, ont été créées des bases de données cohérentes, géoréférencées et documentées avec des métadonnées⁴. Pour cette étape, tout comme pour l'exploitation ultérieure de ces bases, deux outils SIG ont été utilisés (SavGIS et ArcGIS). Ces bases, conçues suivant la même logique sur les trois villes, comportent des couches géographiques organisées par thèmes : divisions territoriales (dont les unités spatiales des recensements : secteurs, sections, aires de pondération, îlots) ; îlots ; voirie et transport ; environnement et topographie ; imagerie satellitale et aérienne ; localisation des zones d'enquête et des îlots enquêtés lors des enquêtes Mobilité réalisées par notre équipe en 2009.

Les micro-données censitaires constituent un gisement d'information particulièrement riche pour procéder à des représentations cartographiques et mener des analyses spatiales comparatives et diachroniques du peuplement et du parc de logements. Les changements de découpage d'un recensement à l'autre (changements de codes et, surtout, modifications des limites des unités spatiales) sont d'autant plus fréquents que l'on travaille à un niveau fin (secteurs, sections, îlots), comme cela a été le cas pour Bogotá : afin de pouvoir mener à bien les analyses d'évolution entre recensements, il a donc été nécessaire de procéder au préalable à un long travail d'homogénéisation des découpages en secteurs censitaires des recensements de 1993 et de 2005.

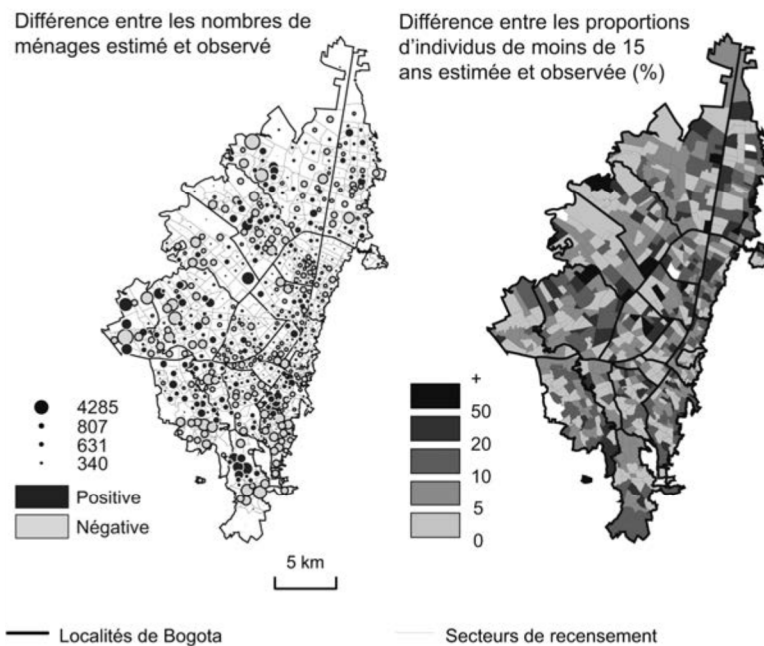
Encadré 2-1 : Les problèmes d'exploitation du recensement colombien de 2005.

Le recensement colombien de 2005 pose des problèmes spécifiques d'exploitation. Le questionnaire « *básico* » appliqué à l'ensemble des ménages recensés, ne comporte qu'un nombre réduit de questions. Le questionnaire complet, appelé « *ampliado* », n'a été appliqué qu'à un échantillon des ménages recensés (environ 4 % dans le District, et 10 % en périphérie), selon un taux de sondage variable. L'objectif du plan de sondage étant la production de résultats au niveau de chacune des localités composant le District, les taux de sondage ont varié selon la localité : ils sont nettement plus élevés dans les localités centrales (41 % à La Candelaria, 24 % à Santa Fé) que dans les localités périphériques, plus peuplées (2 % ou moins). Dans chacune des localités du District comme dans les municipes de la périphérie, la sélection des ménages a été réalisée selon la méthode de Bernoulli.

4. Le travail de mise en place et de maintenance des bases de données géographiques a été réalisé principalement par Florent Demoraes, Tania Serrano et Arnaud Lepetit (laboratoire ESO-Rennes, UMR 6590 CNRS).

2

Les pondérations associées correspondent à l'inverse des probabilités de sélection du ménage dans la localité; ces pondérations ont ensuite été ajustées sur plusieurs caractéristiques de la population saisies de façon exhaustive (DANE, 2009). Certains indicateurs importants pour le projet METAL tels que l'indice de condition sociale des ménages (ICS, cf. section suivante) ne peuvent être calculés que sur l'échantillon ayant fait l'objet du questionnaire *ampliado*, ce qui pose la question de la fiabilité des estimations issues de cet échantillon au niveau des secteurs de recensement.



Source : traitements réalisés à partir des données de recensement du DANE (2005)
Base cartographique SIG : T.Serrano, F.Demoraes, A.Salas, A.Lepetit Guillaume Le Roux, 2014

Dans les localités centrales et péri-centrales du District, les estimations du nombre de ménages par secteur issues de l'échantillon diffèrent peu des valeurs issues du recensement exhaustif; en revanche, dans les localités périphériques, les différences sont plus marquées, ce qui peut conduire à certains biais dans les cartes représentant des effectifs. Néanmoins, la carte de la proportion d'individus de moins de 15 ans montre que l'estimation d'une proportion est sensiblement meilleure que celle d'un effectif : dans la grande majorité des secteurs du District, les écarts entre les valeurs estimées sur l'échantillon et celles observées sur l'exhaustif sont inférieures à 20 %. Pour des analyses portant sur l'ensemble de l'aire métropolitaine, on peut considérer raisonnable d'exploiter les données issues du questionnaire *ampliado* au niveau des secteurs, sous réserve d'une exigence de précision des estimateurs par secteur modérée. En revanche, en dehors de certains îlots situés dans les localités centrales qui ont bénéficié d'un échantillonnage plus favorable, il est impossible de travailler à partir de cet échantillon au niveau des îlots.

Source : DUREAU F., LE ROUX G., PIRON M., 2012 : 4; LE ROUX G., 2012c.

58



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

La mise en place des bases de données censitaires sur les trois villes (Bogotá 1993 et 2005 ; Santiago 1992 et 2002 ; São Paulo 1991 et 2000) a été menée en plusieurs étapes : récupération des fichiers de micro-données et de la documentation méthodologique correspondante ; comparaison de l'information disponible dans les six recensements ; proposition d'une liste de variables et de leurs modalités ; homogénéisation des variables à utiliser. Outre les différences existant dans les données disponibles entre les trois villes, il existe également une certaine hétérogénéité des données, pour une même ville, d'un recensement à l'autre. Ce n'est donc qu'après une phase d'homogénéisation des bases de données censitaires qu'ont pu être réalisés les traitements. Il faut également signaler les problèmes posés par le recensement colombien de 2005. D'une part, contrairement aux recensements antérieurs, il n'est pas possible d'avoir accès aux fichiers des micro-données du recensement colombien de 2005 ; nous avons été contraints de travailler avec des données agrégées au niveau des îlots. D'autre part, la méthodologie spécifique qui a été employée en 2005, avec application du questionnaire complet à seulement un échantillon de ménages complique nettement les analyses à un niveau géographique très désagrégé (encadré 2-1). Cette procédure de « recensement par sondage » hypothèque, de fait, le principal avantage des recensements traditionnels, liés à leur caractère exhaustif.

Calcul et représentation cartographique d'indicateurs à partir des données censitaires

L'objectif était de produire une description homogène des trois villes à travers une série d'indicateurs simples calculés à partir des données censitaires. Cette description constituait la base du diagnostic comparatif en matière d'expansion urbaine, d'évolution du parc de logements, de redistribution des densités et d'évolution des divisions sociales de l'espace. Cette base a également contribué à la sélection des zones d'enquête. Les indicateurs calculés couvrent les thématiques suivantes : distribution spatiale de la population ; composition par sexe et âge ; taille et type de ménage ; catégories ethniques ; migration ; éducation et activité économique ; mobilité quotidienne et équipement de transport ; niveau socio-économique des ménages.

Les indicateurs censitaires ont fait l'objet d'une représentation cartographique systématique. Les cartes ainsi produites ont été mises à disposition du public sur le web⁵, avec un utilitaire de consultation développé par D. Chesnet (Migrinter) qui facilite la comparaison des cartes entre villes, entre dates, ou entre indicateurs. La collection de cartes thématiques (plus de 350) et l'utilitaire peuvent être utilisés directement en ligne ou être téléchargés pour une utilisation sur son propre poste de travail. Pour chaque indicateur cartographié, l'utilisateur a accès à une notice sur son mode de calcul.

5. METAL_maps : [<http://www.mshs.univ-poitiers.fr/migrinter/metal/webmaps.html>].



2

Face à l'absence de données sur le niveau de revenus des ménages dans les recensements chiliens et colombiens⁶, il a été nécessaire, pour travailler la question des divisions sociales de l'espace, de concevoir un indicateur qui rende compte de la hiérarchie sociale des ménages. Les analyses statistiques menées sur des sources disposant d'une information sur les revenus des ménages dans les trois villes du projet⁷ (Piron, Rodríguez, Salas Vanegas, 2009) ont montré qu'un indicateur efficace et reproductible à partir de tous les recensements considérés (à l'exception toutefois du niveau îlot pour le recensement de Bogotá 2005), est l'indice de condition sociale des ménages (ICS), déjà utilisé dans des travaux antérieurs⁸ (Barbary *et al.*, 1999; Dureau *et al.*, 2004; Salas Vanegas, 2008). Il est défini comme suit :

ICS = climat éducatif du ménage/indice de promiscuité du ménage
 Climat éducatif = nombre moyen d'années d'éducation des membres du ménage de 15 ans ou plus.
 Indice de promiscuité = nombre de personnes du ménage/nombre de pièces (salon et salle à manger inclus).

L'ICS a été calculé pour tous les ménages de chacune des villes, aux deux dates de recensement. Pour chaque recensement, six catégories d'ICS ont été définies à partir de quantiles, selon les seuils définis dans le tableau 2-2. En fonction de sa valeur d'ICS, chaque ménage a été classé dans une de ces catégories, qui reflète sa position dans la hiérarchie sociale de l'époque⁹.

Tableau 2-2 : Définition des 6 catégories d'ICS.

ICS 1	Très pauvre	10 % des ménages ayant les ICS les plus bas
ICS 2	Pauvre	15 %
ICS 3	Moyen bas	25 %
ICS 4	Moyen haut	25 %
ICS 5	Aisé	15 %
ICS 6	Très aisé	10 % des ménages ayant les ICS les plus hauts

Source : DEMORAES F, DUREAU F, PIRON M., 2011 : 2; DUREAU F, LE ROUX G., PIRON M., 2012 : 4.

La production d'information sur la migration et la mobilité

La production de connaissances sur les migrations et les mobilités résidentielles et quotidiennes des habitants de Bogotá, Santiago et São Paulo était un

6. En revanche, les recensements brésiliens de 1991 et de 2000 collectent une information sur le revenu mensuel des individus âgés de 10 ans et plus.

7. Enquête *Calidad de vida*, 2003, Bogotá; Enquête CASEN, 2006, Santiago; recensement, 2000, São Paulo.

8. Les travaux relatifs à Bogotá sur la période 1973-1993 offrent l'intérêt de pouvoir réinscrire les tendances observées sur 1993-2005 dans une temporalité plus longue. Dans ces travaux, les classes d'ICS reposaient sur un seuillage en quatre catégories, correspondant à des quartiles (25 % de ménages dans chaque classe).

9. Cette classification selon des quantiles se fait de façon indépendante pour chaque recensement. Ce qui signifie que les valeurs d'ICS qui correspondent à chacune des six catégories ne sont pas constantes d'un recensement à l'autre. Il s'agit de quantiles propres à chaque ville et à chaque date.

60



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

des enjeux centraux du projet. Dans cette perspective, des enquêtes, par questionnaires et par entretiens approfondis, ont été menées en 2009-2010 dans des quartiers illustratifs des mutations en cours. La stratégie de sélection des zones d'enquête, le plan de sondage et le questionnaire sont communs aux trois villes, en dehors d'adaptations mineures liées aux contextes locaux. Le tableau 2-3 résume les principales caractéristiques des enquêtes réalisées, présentées de façon plus détaillée dans les sections qui suivent.

Choix et présentation des zones d'enquête

À l'issue de l'analyse menée à l'échelle métropolitaine à partir des données censitaires, nous avons sélectionné dans chaque ville un échantillon de sites d'étude (figure 2-3). Pour la sélection de ces zones d'enquête (12 à Bogotá, 10 à Santiago et 10 à São Paulo), nous avons considéré plusieurs critères : la localisation au sein de la métropole ; la dynamique démographique et la composition sociale de la population ; la présence de migrants internationaux ; les caractéristiques du marché du logement et le potentiel de transformation du bâti ; l'intervention urbanistique (opérations de requalification urbaine, grands projets urbains ou modification de l'accessibilité suite aux changements du système de transport).

En outre, à Bogotá, nous avons pris en compte l'existence d'une étude plus ancienne : le projet « *La movilidad de las poblaciones y su impacto sobre la dinámica metropolitana de Bogotá* », réalisé dans le cadre d'une coopération entre le CEDE de la *Universidad de los Andes* et l'Orstom/IRD, sous la direction de F. Dureau et C. E. Flórez. Dans le cadre de ce projet, une enquête biographique sur les mobilités avait été réalisée en 1993 auprès de 1031 ménages répartis dans onze zones d'enquête¹⁰. Afin de privilégier la possibilité de saisir dans de bonnes conditions les changements survenus entre 1993 et 2009, nous avons décidé de garder dix de ces zones, et d'en ajouter deux nouvelles : l'une (*Calle 80*) pour capter les effets du *Transmilenio* dans des quartiers périphériques ; l'autre (*Ciudad Salitre*) pour rendre compte d'une nouvelle option résidentielle pour les classes moyennes offerte dans un quartier récemment urbanisé.

L'univers d'enquête pris en considération à travers les zones d'enquête est de taille très variable selon les métropoles : 29 000 ménages à Santiago et 43 000 à São Paulo, pour près de 250 000 à Bogotá (figure 2-3). La localisation des zones d'enquête montre une relative concentration spatiale sur le centre et la moitié nord de la ville dans le cas de Santiago, tandis qu'elle est plus dispersée sur l'ensemble du territoire métropolitain à Bogotá et à São Paulo. Dans les trois métropoles, l'univers des zones d'enquête offre une diversité importante de quartiers, tant sur le plan des conditions de logement que sur celui du niveau social des habitants. On note toutefois une présence particulièrement marquée (plus de 40 %) de ménages de niveau moyen-bas dans les échantillons enquêtés à Bogotá et à São Paulo, soit une proportion sensiblement plus élevée que dans l'échantillon de Santiago (29 %).

10. Pour une présentation détaillée de la méthodologie de l'enquête Cede-Orstom 1993, voir : F. DUREAU *et al.*, 1994.



2

MOBILITÉS ET CHANGEMENT URBAIN

Tableau 2-3 : Caractéristiques générales des enquêtes sur les mobilités (METAL, 2009).

	Bogotá	Santiago	São Paulo
Enquête par questionnaires			
Nombre de zones d'enquête	12	10	10
Taille de l'échantillon	881 ménages (3 256 individus)	1 004 ménages (3 513 indiv.)	907 ménages (2 956 indiv.)
Dates de réalisation de la collecte	mai-juin 2009	juin-septembre 2009	de juin à septembre 2009
Réalisation de la collecte	10 enquêtrices, 2 superviseuses, ss la dir. de F. Dureau et A. Salas, avec la collab. de T. Lulle	30 enquêteurs, 2 superviseurs, ss la dir. de SUR Corporacion avec la collab. de J. M. Fournier	Application du plan de sondage : S. Souchaud Collecte : Société Projectiva
Traitement et analyse	F. Dureau, G. Leroux avec la collab. de J. Silva, étudiants du master 2 SIGAT sous la direction de F. Demoraes	D. Delaunay, P. Valdés, Y. Contreras, O. Figueroa, F. Dureau, F. Demoraes, M. Piron, étudiants du master 2 SIGAT	A.-P. Rocha, S. Souchaud, W. Fusco, F. Demoraes, M. Piron, F. Dureau
Entretiens auprès d'un sous-échantillon d'habitants			
Taille de l'échantillon	89	102	44
Critères de sélection de l'échantillon	10 % des ménages de chaque zone d'enquête, sélectionnés selon thématiques privilégiées dans chaque zone	10 % des ménages de chaque zone d'enquête, sélectionnés selon critères thématiques	Choix raisonné selon critères thématiques et socio-démographiques dans les 10 zones de l'enquête
Dates de réalisation de la collecte	juin-septembre 2009	juin 2009-mars 2010	octobre 2009-mars 2010

62



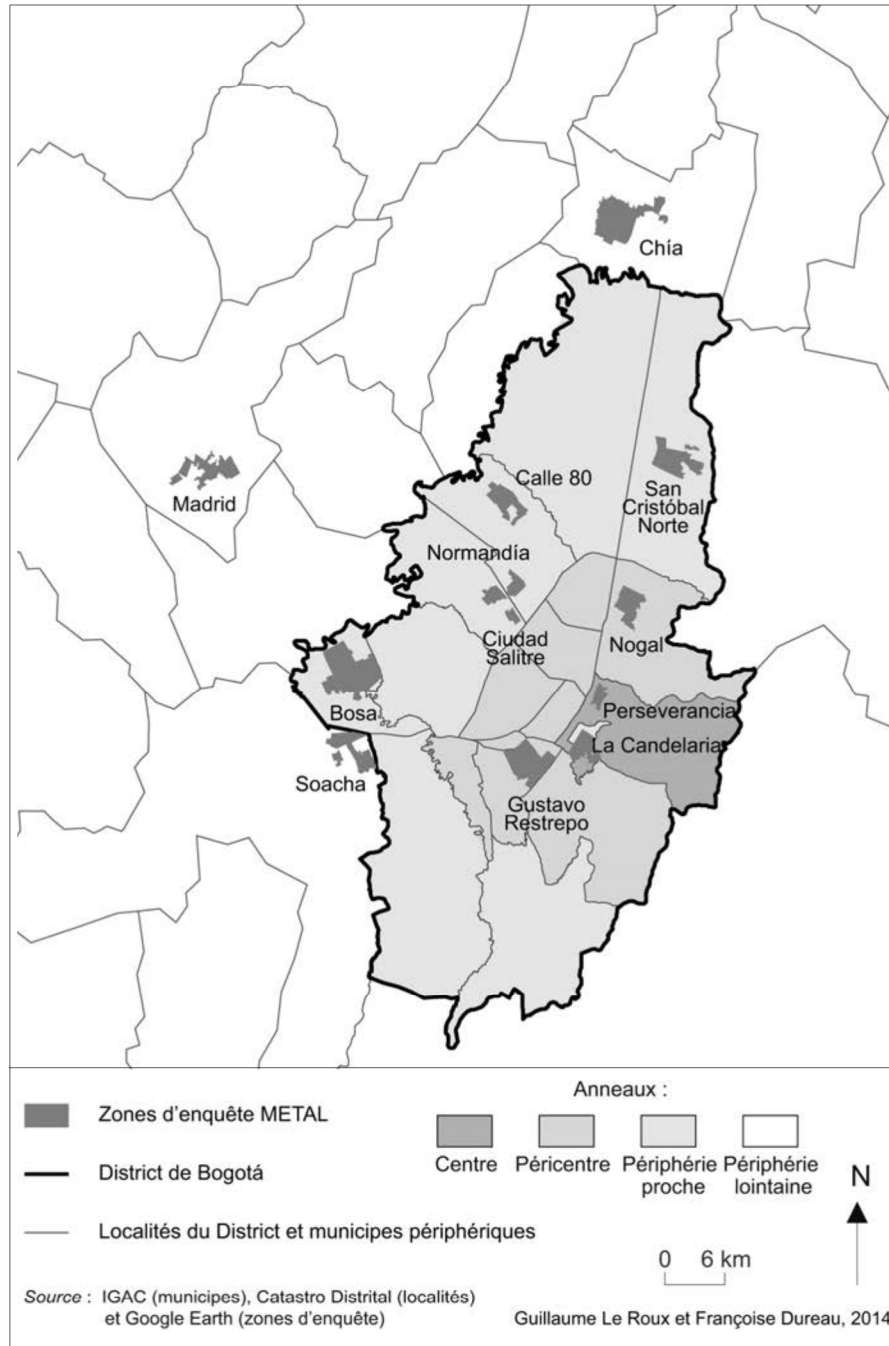
UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

Entretiens auprès d'un sous-échantillon d'habitants		
Réalisation des entretiens	H. Córdoba, H. Sáenz sous la direction de T. Lulle	S. Souchaud, I. Rolnik, R. Cymbalista, S. Zioni
Analyse des entretiens	H. Córdoba, T. Lulle, V. Gouëset	S. Souchaud, I. Rolnik, R. Cymbalista, S. Zioni
Entretiens auprès d'émigrés en Europe		
Dates de réalisation de la collecte	juin 2009-novembre 2009	octobre 2009-janvier 2010
Taille de l'échantillon	30 (23 à Barcelone; 7 à Paris)	23 (à Paris)
Mode de sélection de l'échantillon	10 personnes identifiées à partir de l'enquête de Bogotá 20 par « boule de neige »	2 personnes identifiées à partir de l'enquête de Santiago 20 par « boule de neige », en recherchant une diversification des profils
Réalisation et analyse des entretiens	H. Córdoba, N. Miret, M. Guillon	M. Guillon M. Giroud



2

Figure 2-3a : Les zones d'enquête de Bogotá (METAL, 2009).



Note : sm salaire minimal (environ 500 000 pesos colombiens en 2009).
 Source : CEPAL, 2012 : Cuadro A-1 (p. 209).

64



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

FRANÇOISE DUREAU ET AL.

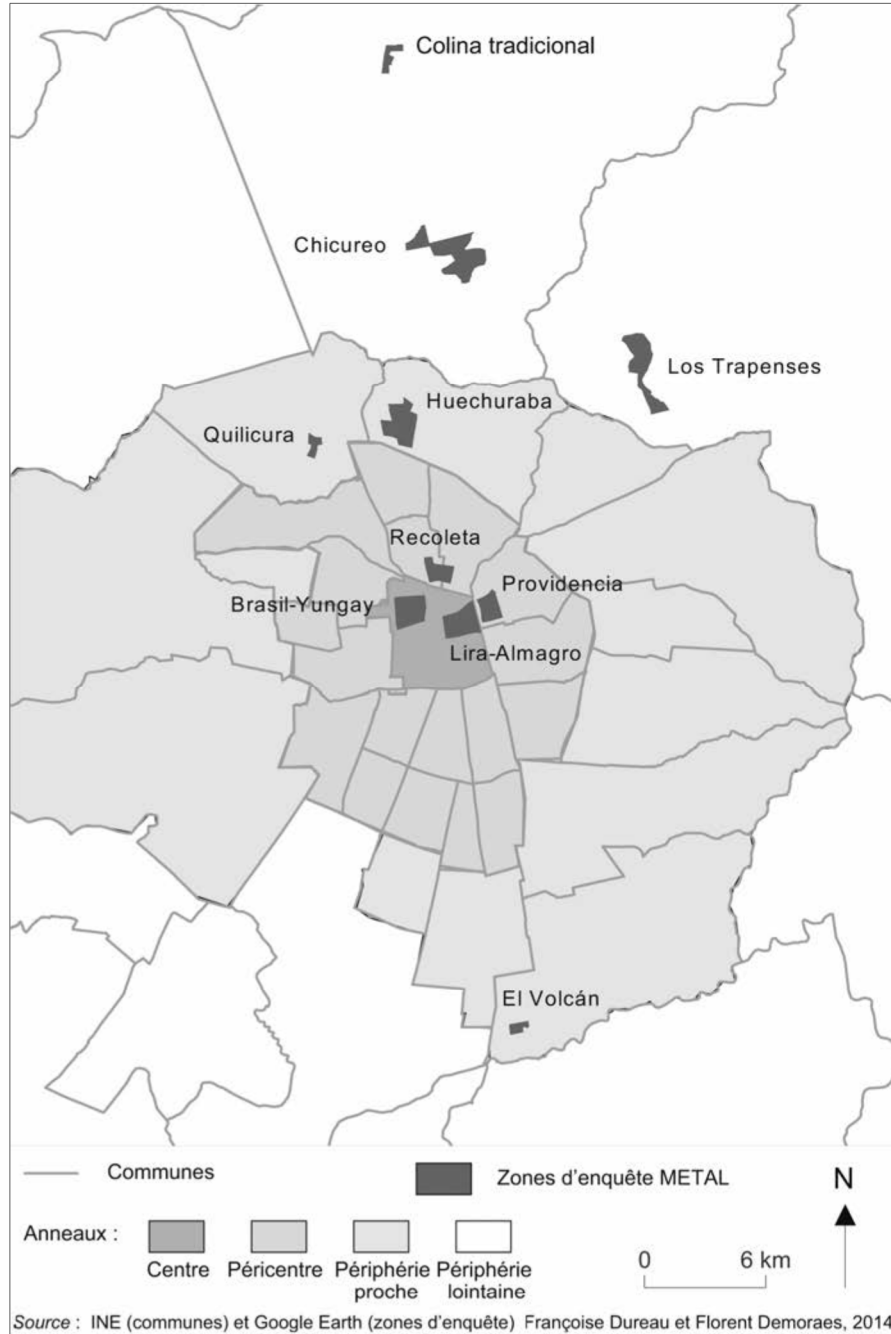
BOGOTÁ	Centre		Péricentre			Périphérie proche (interne au District)			Périphérie lointaine (externe au District)			Total zones d'enquête
	La Candelaria	Perseverancia	Gustavo Restrepo	Ciudad Salitre	Nor-mandia	Bosa	Calle 80	San Cristóbal	Soacha * Madrid	Chia		
DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON												
Nombre de ménages enquêtés	95	80	92	43	56	90	76	92	95	86	57	862
Nombre d'individus enquêtés	323	230	351	128	208	379	277	317	391	352	224	3180
Nombre d'entretiens approfondis	8	8	9	5	6	8	8	9	9	9	6	85
Nombre de ménages (extrapolé)	9979	7820	26129	4722	10946	66024	30725	33558	27555	14631	14354	246443
Nombre d'individus (extrapolé)	36341	20198	99210	13962	35817	275496	106350	111794	114240	60995	54670	929072
CONDITIONS DE LOGEMENT												
% logements construits avant 1980	84,9	78,5	76,7	17,4	50,2	5,9	32,3	23,7	4,1	15,2	18,4	27,5
% logements construits 1980-1989	0,0	6,5	2,3	43,3	29,2	6,1	44,6	36,1	14,2	16,1	26,9	19,8
% logements construits 1990-1999	12,9	5,0	17,8	39,3	20,6	44,4	23,1	12,7	64,7	28,5	37,0	31,6
% loge. construits en 2000 ou après	2,2	10,0	3,2	0,0	0,0	43,6	0,0	27,5	17,0	40,2	17,8	21,1
% maison	63,9	19,5	41,6	0	44,1	62,6	23,5	59,9	49,8	56,4	85,3	51,3
% appartement	25,3	70,5	53	100	55,9	34,5	76,1	33,6	40,3	31,9	10	43,6
% <i>cuarto</i>	10,8	10	5,4	0	0	2,9	0,4	6,6	9,9	11,6	4,7	5,1
% ménages propriétaires	38,1	40,5	42,3	65,5	68,6	64,3	65,7	55,6	57,9	60,9	60,1	58,2
% ménages en location ou sous-location	48,9	42,6	45,1	33	29,7	28,8	33,2	41,6	36	38,1	36,1	36
% ménages occupants de fait ou en usufruit	13	16,9	12,6	1,5	1,7	6,8	1,1	2,8	6,1	1	3,8	5,8
% ménages qui partagent leur logement	17,1	3,5	4,2	2,1	1,7	11,2	2,7	4,2	10,3	14	1,3	7,3
Nombre personnes / pièce (moyenne)	2,1	1,5	1,7	1,2	1,1	2,1	1,4	1,8	2,2	2,1	1,5	1,8
CONDITIONS DE TRANSPORT (% Individus qui font usage de)												
Véhicule particulier (>= 1 fois / semaine)	18,7	38,9	34,4	65,9	64,4	23,1	40,1	35	19,4	37,2	64,6	33
Transport public (>= 2 fois / semaine)	57,8	69,5	67,9	82,6	76,1	60	73,4	72,5	64,6	46,9	52,1	64,2
CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES DE LA POPULATION												
Taille moyenne des ménages	3,6	2,6	3,8	2,9	3,2	4,2	3,5	3,3	4,1	4,1	3,7	3,8
% ménages unipersonnels	12,2	14,9	6,5	8,4	14,4	5,5	8,1	10,5	4,4	8,4	2,4	7,5
% ménages >= 6 personnes	12,2	5,2	8,1	0	4,1	17,5	9,9	5,4	16,3	21,2	4,9	11,7
% individus < 15 ans	29,1	12,9	21,1	17,2	8,5	33,2	18,3	22	29,3	28,5	26,4	25,9
% individus 15-59 ans	61,6	72,2	68	68,7	76,4	63,2	71,4	66,5	62,5	63,8	60,5	65,6
% individus 60 ans ou plus	9,6	15	10,9	14,2	15,2	3,6	10,3	11,6	8,1	7,4	13,1	8,7
% individus nés dans l'aire métropolitaine	76,5	53,3	62,9	48,5	53,1	57,9	69,2	61,7	54,4	58,2	65,4	60,6
% individus nés dans le reste de Colombie	23,5	37,7	37,1	49,8	40,3	41,5	30,8	37,7	45,6	41,8	34,5	38,7
% individus nés hors de Colombie	0,0	9,0	0,0	1,7	6,5	0,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,1	0,7
NIVEAU DE REVENU DES MÉNAGES (% ménages)												
Bas (< 1 sm)	42,0	20,2	12,0	0,0	0,0	23,0	11,1	19,8	38,0	29,6	3,0	20,2
Moyen-bas (1-2 sm)	36,0	27,3	56,0	3,1	11,1	62,0	22,2	24,0	42,0	60,2	42,0	42,4
Moyen (2-5 sm)	18,0	20,2	23,0	13,3	24,4	14,0	51,5	33,3	17,0	10,2	22,0	23,2
Moy.-haut et haut (> 5 sm)	3,0	32,3	9,0	82,7	63,3	0,0	14,1	22,9	3,0	0,0	34,0	14,1

Source : Enquête METAL, Bogotá, 2009. Note : sm salaire minimal (environ 500 000 pesos colombiens en 2009)



2

Figure 2-3b : Les zones d'enquête de Santiago (METAL, 2009).



Note : sm salaire minimal (environ 165 000 pesos chiliens en 2009).
 Source : Enquête METAL, Santiago, 2009.

66



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

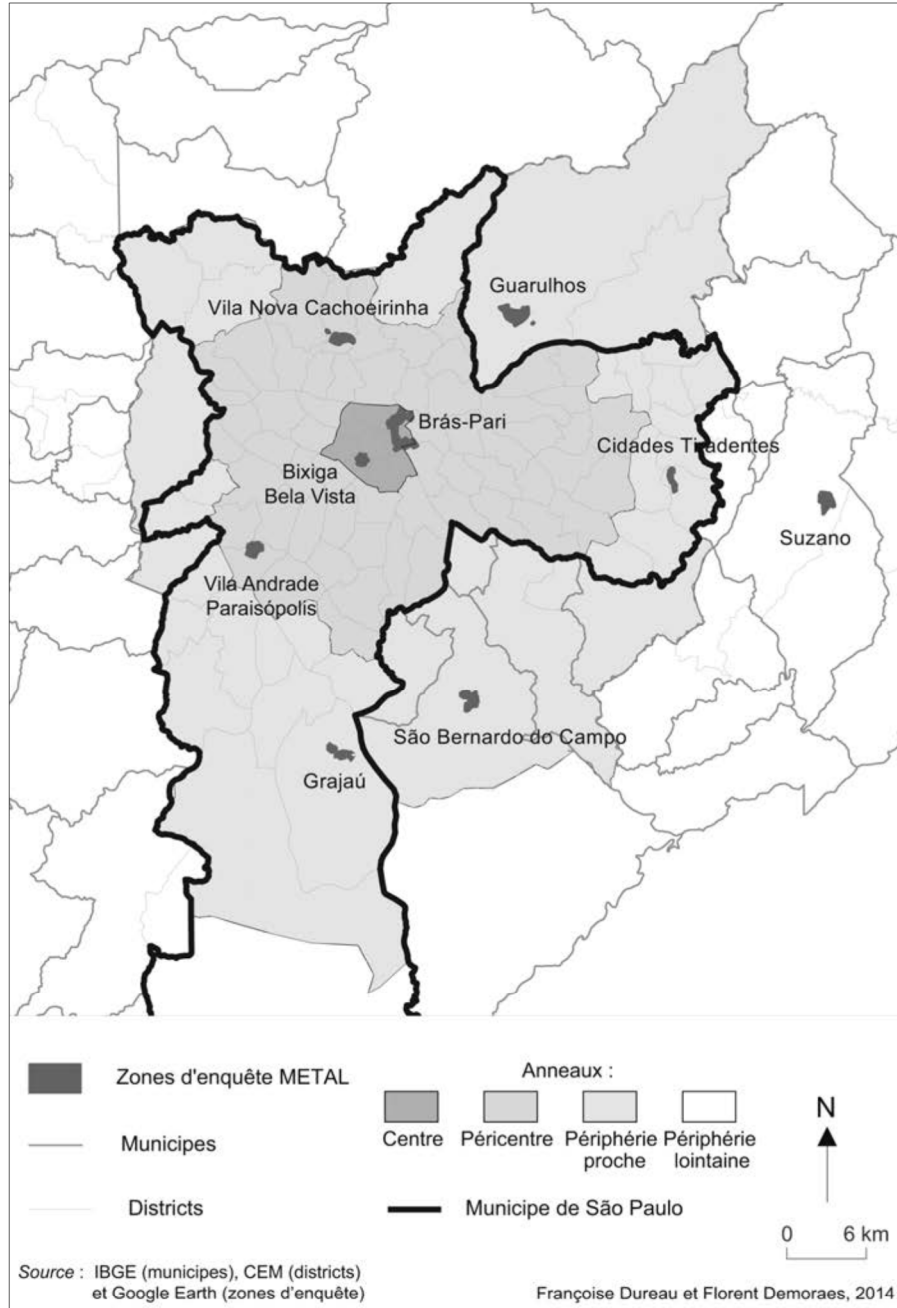
SANTIAGO	Centre commune de Santiago)		Péricentre		Périphérie proche			Périphérie lointaine			Total zones d'enquête
	Brasil-Yungay /Almagro	Lira	Provi-dencia	Reco-leta	El Volcán	Quili-cura	Huechu-raba	Chicuelero	Colina tradicional	Los tra-penses	
DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON											
Nombre de ménages enquêtés	140	121	90	132	82	132	89	60	98	60	1004
Nombre d'individus enquêtés	420	346	256	425	297	523	351	227	378	290	3513
Nombre d'entretiens approfondis	11	9	10	13	12	8	11	2	10	6	92
Nombre de ménages (extrapolé)	6998	5814	3462	2486	2216	2717	1261	780	1814	1044	28592
Nombre d'individus (extrapolé)	20508	16613	10011	8114	8211	10332	4868	2951	6815	4402	92825
CONDITIONS DE LOGEMENT											
% logements construits avant 1980	68,9	71,5	62,6	91,2	2,1	26,2	1,4	8,6	9,8	0,9	51,1
% logements construits 1980-1989	1,7	1,0	22,3	3,2	0,0	18,8	33,7	11,4	45,5	40,9	10,9
% logements construits 1990-1999	25,9	8,4	9,1	4,6	97,4	24,8	60,4	22,9	34,5	40,6	27,4
% loge. construits en 2000 ou après	3,5	19,1	6,0	0,0	0,6	30,2	4,5	57,1	10,2	8,7	10,6
% maison	40	35,9	39,2	59,9	57	96,6	99	100	68,2	99,9	55,8
% appartement	51,3	55	58,9	7,8	42,8	0	0	0	31,7	0,1	36,8
% <i>pieza en casa antigua o coventillo</i>	4,4	9,1	1,2	30,8	0,2	0	0,2	0	0	0	5,8
% ménages propriétaires	37,3	53,9	46,4	31,3	77,1	90,6	80,7	85	66,8	98,6	56,7
% ménages en location ou sous-location	59,1	41,3	49	63,8	21,7	8,9	14,9	13,3	31,4	0,7	40
% ménages occupants de fait ou en usufruit	3,5	4,8	4,6	4,9	1,2	0,5	3,6	1,7	1,8	0,3	3,3
% ménages qui partagent leur logement	1,9	6,1	7,2	8,3	0	0,5	0	1,7	3,7	0,7	3,7
Nombre de personnes / pièce (moyenne)	2	2,6	1,2	2,2	1,9	1,6	1,7	1,6	1,9	2,1	2
CONDITIONS DE TRANSPORT (% individus qui font usage de											
Véhicule particulier (>= 1 fois / semaine)	40	30	47,6	21,1	16,2	56,7	50,5	91,7	38,3	84,7	41,4
Transport public (>= 2 fois / semaine)	77,5	83,2	66,4	60,8	85,9	73	77,7	23,6	44,4	38,8	70,1
CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES DE LA POPULATION											
Taille moyenne des ménages	2,9	2,9	2,9	3,3	3,7	3,8	3,8	3,8	3,7	4,2	3,2
% ménages unipersonnels	19	18,9	18,5	9,9	9,5	1,4	3,1	5	1,4	0	12,1
% ménages >= 6 personnes	2,9	1,6	3,8	2,1	7,6	1,8	10,1	8,3	4,5	7,4	3,7
% individus < 15 ans	15,9	17,4	10,2	19	23,7	18,9	19,8	31,4	23,2	21,3	18,3
% individus 15-59 ans	74,5	65	74,5	67,1	72,9	71,5	71	61,1	65,8	67,3	70,1
% individus 60 ans ou plus	9,6	17,6	15,3	13,9	3,4	9,6	9,2	7,5	11	11,4	11,6
% individus nés dans l'aire métropolitaine	66,2	60,2	69,0	49,4	80,3	71,1	77,0	74,1	84,7	77,1	68,4
% individus nés dans le reste du Chili	28,4	29,7	26,5	12,6	19,7	27,5	19,7	20,4	14,7	20,9	24,1
% individus nés hors du Chili	5,4	10,1	4,5	38,0	0,0	1,5	3,3	5,5	0,6	2,0	7,5
NIVEAU DE REVENU DES MENAGES (% ménages)											
Bas (< 2 sm)	17,3	34,0	19,8	42,3	61,2	20,1	20,8	8,3	47,7	0,0	28,1
Moyen-bas (2-3 sm)	30,6	30,1	28,0	41,0	27,8	28,4	38,9	10,0	20,7	0,8	28,8
Moyen (3-4,8 sm)	28,8	16,6	25,4	7,2	8,2	45,4	20,1	5,0	7,0	0,0	20,5
Mo.-haut et haut (> 4,8 sm)	23,3	19,3	26,8	9,4	1,8	6,1	20,3	76,7	24,5	99,2	22,6

Source : Enquête METAL, Santiago, 2009. Note : sm salaire minimal (environ 165 000 pesos chiliens en 2009)



2

Figure 2-3c : Les zones d'enquête de São Paulo (METAL, 2009).



Note : sm salaire minimal (environ 505 reales en 2009).
 Source : Enquête METAL, São Paulo, 2009.

68



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

SÃO PAULO	Centre		Péricentre		Périphérie proche				Périphérie lointaine	Total zones d'enquête
	Bras - Pari	Bixiga-Bela Vista	Vila Andrade - Paraisópolis	Vila Nova - Cachoeirinha	Grajaú	Cidades Tiradentes	Guarulhos	Sao Bernardo do Campo	Suzano	
DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON										
Nombre de ménages enquêtés	131	63	60	90	100	100	100	96	90	830
Nombre d'individus enquêtés	397	187	203	290	340	361	332	343	310	2763
Nombre d'entretiens approfondis	12	0	6	3	6	5	3	5	4	44
Nombre de ménages (extrapolé)	9769	3122	9446	5148	9315	1557	4780	3865	1733	43335
Nombre d'individus (extrapolé)	29834	9482	30404	16019	13083	5504	15431	14147	6115	140019
CONDITIONS DE LOGEMENT										
% logements construits avant 1980	60,9	84,3	10,0	76,3	32,0	1,5	26,7	18,1	32,4	40,3
% logements construits 1980-1989	26,3	6,7	17,9	14,3	22,0	31,8	0,0	6,4	19,6	17,6
% logements construits 1990-1999	6,8	9,0	52,6	5,5	20,5	51,6	69,9	9,4	32,4	30,3
% loge. construits en 2000 ou après	6,0	0,0	19,5	3,8	25,5	15,1	3,4	6,1	15,6	11,8
% maison	66,6	75,2	100	76	100	27,7	61	97,5	100	80,7
% appartement	29,5	7,2	0	24	0	69,7	39	2,5	0	17,1
% cômodo o barraco	3,9	17,6	0	0	0	2,6	0	0	0	2,2
% ménages propriétaires	43,1	18,4	65,8	61,3	74,8	83,1	71,6	79,5	59	59,8
% ménages en location ou sous-location	50,7	77,1	23,5	33,7	17,1	5,3	23,4	13,5	18,9	32,4
% ménages occupants de fait ou en usufruit	6,2	4,5	10,7	5	8,1	11,6	5	7	22,1	7,9
Nombre de personnes / pièce (moyenne)	1,6	2,4	2,2	1,7	2,5	2	1,4	1,8	2	1,9
CONDITIONS DE TRANSPORT (% individus qui font usage de)										
% véhicule particulier (>= 1 fois / semaine)	41,2	12,9	19,1	49,3	28,4	23,2	75,5	69,3	50,8	40,5
% transport public (>= 2 fois / semaine)	34	35	52,4	55,5	65,6	63,7	32,9	43,9	49,4	46,2
CARACTERISTIQUES DÉMOGRAPHIQUES DE LA POPULATION										
Taille moyenne des ménages	3,1	3	3,2	3,1	3,3	3,5	3,3	3,7	3,5	3,2
% ménages unipersonnels	12,6	15,5	10,6	10,2	3,9	9,8	6,1	4,1	6,2	9,5
% ménages >= 6 personnes	5,7	6,1	3,4	6,2	3	5,8	5,7	12,8	6,8	5,7
% individus < 15 ans	21,1	20,4	31,7	13,1	22,3	26,9	20,3	16,4	26,2	22,4
% individus 15-59 ans	59,1	71,4	64,9	69,8	72,8	66,7	64,5	70,7	62,6	65,9
% individus 60 ans ou plus	19,8	8,2	3,4	17,1	4,9	6,4	15,2	12,9	11,2	11,7
% individus nés dans l'aire métropolitaine	59,5	40,9	40,3	64,5	59,2	61,3	72,5	66,3	66,2	57,1
% individus nés dans le reste du Brésil	32,3	59,1	59,7	32,4	40,8	38,7	26,6	33,0	32,7	40,6
% individus nés hors du Brésil	8,2	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,9	0,7	1,1	2,3
NIVEAU DE REVENU DES MENAGES (% ménages)										
Bas (< 1 sm)	2,7	4,7	13,8	7,9	14,0	21,1	0,0	9,0	11,7	8,5
Moyen-bas (1-3 sm)	34,6	68,2	71,9	37,4	64,0	64,7	29,1	23,4	65,7	49,4
Moyen (3-5 sm)	39,7	22,2	7,7	27,7	17,8	8,2	18,4	32,2	15,3	22,4
Moy.-haut et haut (> 5 sm)	23,0	4,9	6,6	27,0	4,3	6,0	52,5	35,4	7,4	19,7

Source : Enquête METAL, São Paulo, 2009. Note : sm salaire minimal (environ 505 reales en 2009)

FRANÇOISE DUREAU ET AL.



2

Un système d'enquêtes articulant questionnaires et entretiens approfondis

Dans chacune des zones sélectionnées, nous avons appliqué un système d'enquêtes sur les mobilités, qui a associé une approche statistique, auprès d'un échantillon conséquent de ménages, et une approche qualitative par des entretiens semi-directifs menés auprès d'un sous-échantillon de l'enquête statistique et d'un échantillon d'émigrants résidant en Europe (figure 2-4). Ce système d'enquêtes intègre trois caractéristiques principales : i) une approche globale des pratiques de mobilité quelles que soient la distance (mouvements intra-urbains et avec le reste du territoire national ou l'étranger) ou la durée du déplacement (des déplacements quotidiens aux migrations); ii) une approche biographique, afin de comprendre comment les individus jouent des différentes formes de mobilité au cours de leur vie, en relation avec leurs parcours professionnels et familiaux; iii) une approche replaçant l'individu dans sa famille et son réseau social.

Le premier volet du système d'enquêtes, statistique, est appliqué à des échantillons faisant sens au niveau de chacune des zones d'enquête. Le second volet, à visée anthropologique, permet d'approfondir la compréhension des comportements de mobilité et des stratégies résidentielles, d'identifier plus finement les réseaux de solidarité intervenant dans les comportements migratoires et les choix résidentiels, et les systèmes de lieux investis par les individus et leurs familles (systèmes résidentiels et territoires du quotidien des individus et des familles). La troisième composante du système d'enquêtes consiste en des entretiens semi-directifs menés auprès d'un échantillon d'émigrants des métropoles étudiées résidant en Europe, à Barcelone, Lisbonne ou Paris, visant à cerner leurs rôles directs ou indirects dans les transformations des métropoles latino-américaines d'origine.

Figure 2-4 : Les composantes du système d'observation des mobilités (METAL, 2009).

Type d'observation	Méthode	Objectif
Quantitative	Enquête statistique (échantillon d'environ 1000 ménages habitant dans 10 à 12 zones d'enquête)	Connaître les pratiques de mobilité des habitants de Bogotá / Santiago / São Paulo
	Entretiens approfondis (sous-échantillon d'environ 100 personnes)	
Qualitative	Entretiens approfondis en Europe (échantillon d'émigrés, originaires de Bogotá / Santiago / São Paulo qui habitent à Barcelone, Lisbonne ou Paris)	Identifier le rôle des émigrés résidant en Europe dans les transformations de Bogotá / Santiago / São Paulo

L'enquête par questionnaires

Conception du questionnaire

Tirant parti de l'expérience accumulée en matière de collecte de données biographiques sur la mobilité depuis plusieurs décennies rappelée en introduction de ce chapitre (GRAB, 1999; Dureau, Imbert, 2014), et de production de données sur la mobilité quotidienne (Armoogun *et al.*, 2007; Dureau, Giroud, 2014), nous avons mis au point fin 2008 une première version du questionnaire et du manuel de collecte. Une première enquête pilote a été menée en février 2009 à Bogotá. Après quelques ajustements, d'autres enquêtes pilotes ont été réalisées à Bogotá, Santiago et São Paulo en avril 2009. À l'issue de ces nouveaux tests, la version définitive du questionnaire a été établie pour chacune des villes (en annexe de cet ouvrage). Le questionnaire est identique pour les trois villes, à l'exception de quelques différences mineures qui correspondent à des adaptations aux découpages géographiques et aux réalités locales en matière de logement (types, statuts d'occupation) ou de transport (modes de transport).

Le questionnaire permet de recueillir des informations sur les conditions de logement et de transport des ménages; les caractéristiques socio-démographiques générales de leurs membres; les systèmes résidentiels complexes et les mobilités résidentielles temporaires ou circulaires au cours de l'année précédant l'enquête de certains d'entre eux; les trajectoires migratoires de tous les membres du ménage depuis leur naissance, ainsi que leurs navettes vers les lieux d'étude ou de travail, leur accès aux différents modes de transport et l'usage qu'ils font de ceux-ci; l'ensemble des déplacements réalisés par un des individus du ménage pendant la semaine précédant l'enquête. En outre, un module permet de collecter les éléments biographiques d'une personne du ménage (nommée Ego), depuis sa naissance jusqu'au moment de l'enquête. Sa trajectoire migratoire et résidentielle, son parcours d'éducation, son parcours professionnel et l'ensemble des événements familiaux le concernant sont ainsi explorés; ce module permet aussi de recueillir le lieu de résidence et l'activité de ses parents et enfants non co-résidents du ménage enquêté.

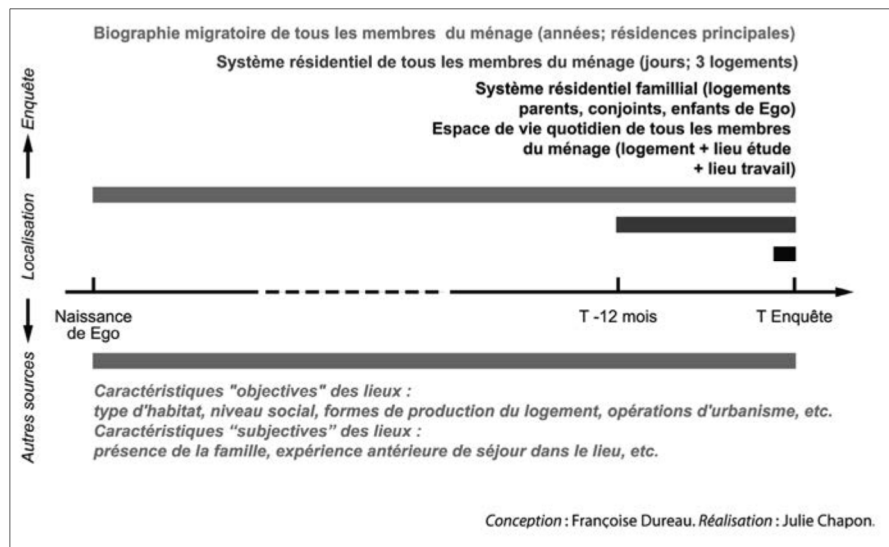
La figure 2-5 résume les données collectées sur les différentes formes de mobilité pour Ego, ses ascendants, descendants et conjoints et les autres membres du ménage. Trois profondeurs d'observation (traduites en grisés dans la figure 2-5) sont en jeu : l'ensemble de la vie (depuis la naissance de Ego jusqu'à l'enquête; les douze mois précédant l'enquête; la semaine précédant l'enquête. Selon la profondeur de l'observation, la nature de l'information collectée, l'échelle temporelle employée et les individus concernés par l'observation varient. Sur l'ensemble de la vie, on recueille, pour Ego et les autres membres du ménage, avec une échelle annuelle, toutes les résidences « principales » (au sens de là où l'individu séjournait la majeure partie du temps) et les dates de changement de résidence. Sur les douze mois précédant l'enquête, on recueille le système de résidence de tous les membres du ménage, avec une mesure en jours de présence dans les différents



2

logements fréquentés. Au moment de l'enquête, on recueille : le lieu de résidence des membres du ménage, mais aussi des ascendants, descendants et conjoints d'Ego n'habitant pas dans le logement; les navettes depuis le logement vers le lieu d'étude et le lieu de travail et les modes de transport utilisés de tous les membres du ménage, ainsi que l'ensemble des déplacements d'un individu du ménage. Si les différentes échelles de mobilité sont bien considérées dans le questionnaire, il demeure une certaine segmentation de l'observation des mobilités spatiales et des lieux fréquentés par les individus : l'information recueillie n'est pas la même pour l'ensemble de la vie de l'individu, pour l'année précédant l'enquête, et au moment de l'enquête. Cette segmentation est en partie inévitable; elle est, pour l'essentiel, imposée par les limites de l'information que l'on peut collecter, dans un temps raisonnable, avec un questionnaire.

Figure 2-5 : L'observation des mobilités dans le questionnaire METAL (2009).



Extrait de : DUREAU F., 2006a; DUREAU F., IMBERT C., 2014 : 57.

D'autres limites pourraient être évoquées, mais nous insisterons plutôt sur les possibilités offertes par l'information collectée à travers ce questionnaire. Celui-ci fournit un ensemble d'informations offrant des éclairages complémentaires qui contribuent à mieux comprendre les situations résidentielles, leurs dynamiques et leurs logiques. La précision du recueil d'information sur la localisation des logements permet en effet de rattacher aux lieux pratiqués par les individus des données importantes pour l'analyse des situations résidentielles : des données issues de l'enquête elle-même (caractéristiques propres à l'individu interrogé : expérience antérieure de résidence en ce lieu, présence ou non de membres de la famille, par exemple); et des données issues d'autres sources (en particulier les recensements).

72



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

La localisation précise permet en effet d'accéder à des caractéristiques « objectives » des lieux (la taille de la ville, le type d'habitat ou le niveau social du quartier). Autant d'informations qui qualifient les lieux et l'expérience associée à leur pratique et permettent de mieux comprendre la fonction des lieux pour les individus, les relations que les individus entretiennent avec les lieux et les personnes qui y habitent.

De la collecte à la production de résultats

Dans chacune des zones d'enquête, la sélection des échantillons a reposé sur un plan de sondage aréolaire, stratifié, à deux degrés, en application de la méthode mise au point dans les années 1980 par une équipe de l'IRD (Dureau *et al.*, 1989). Au premier degré, les unités sélectionnées sont des îlots : ils sont sélectionnés à l'aide d'une grille superposée à des images *GoogleEarth*, sur lesquelles on a identifié au préalable des strates en fonction de la morphologie urbaine. Au deuxième degré, dans chacun des îlots retenus, on sélectionne des ménages selon un tirage systématique sur la liste des ménages recensés dans l'îlot. Ce mode de tirage garantit une sélection aléatoire et sans biais d'un échantillon de ménages représentatif de chacune des zones d'étude.

Le suivi de la collecte, les étapes de contrôle et de correction de l'information saisie, la comparaison avec les entretiens approfondis et les premiers résultats produits ont permis de tirer de premières conclusions sur la qualité de l'information collectée; une évaluation précise de l'enquête par questionnaires est disponible dans le rapport méthodologique relatif à Bogotá (Dureau *et al.*, 2011a; 45-50). Deux points méritent d'être abordés : l'un a trait au questionnaire proprement dit, l'autre à l'échantillon enquêté.

Sous réserve d'une formation correcte des enquêteurs et d'un suivi continu de leur travail pendant toute la phase de collecte, l'efficacité du questionnaire a été démontrée sur les trois sites : il a permis de recueillir l'information recherchée, avec de très faibles taux de non-réponse. En dehors de quelques exceptions, la séquence des questions, leur formulation et les techniques de recueil étaient bonnes. Les parties du questionnaire dédiées à la collecte des données sur la migration et la mobilité résidentielle ont bien fonctionné, qu'il s'agisse du module *Système de résidence* ou du module *Biographie*, de même que les questions portant sur les navettes depuis le domicile vers le lieu d'étude ou le lieu de travail, ou la fréquentation d'une série de lieux polarisants (4-E-5). En revanche, l'observation des autres déplacements quotidiens (modules 4-E-3 et 4-E-4 appliqués à l'adulte du ménage sélectionné pour le module biographique) est moins satisfaisante : au vu des résultats, il est manifeste que les déplacements des autres membres du ménage sont affectés d'un sous-enregistrement important.

Concernant l'échantillon enquêté, il faut mentionner les difficultés rencontrées pour la réalisation des enquêtes, en particulier dans les quartiers habités par des populations aisées. Sur cette question, la comparaison des refus d'enquête observés en 2009 à Bogotá avec ceux observés en 1993 dans les mêmes quartiers

2

est instructive : dans tous les types de quartier, les refus ont été plus fréquents en 2009 que seize ans plus tôt. Les difficultés se sont concentrées, en 2009 comme en 1993, dans les quartiers habités par les populations les plus aisées. La situation était devenue telle en 2009 dans la zone d'enquête de plus haut standing (*El Nogal*) que même le recensement des ménages dans les îlots sélectionnés a posé problème : en dépit des efforts fournis par des superviseuses et des enquêtrices particulièrement expérimentées, il s'est avéré impossible d'appliquer le plan de sondage et d'atteindre le nombre d'enquêtes prévu. L'équipe de São Paulo a affronté exactement le même type de difficulté dans la zone d'enquête de *Tamboré* et dû renoncer à enquêter dans cette zone. Dans le quartier de *Jardins*, autre quartier aisé de l'enquête, le questionnaire a bien été appliqué, mais au prix de très nombreux efforts et moyennant l'abandon du plan de sondage : devant l'impossibilité d'obtenir l'autorisation des syndicats pour pénétrer dans les immeubles et y poursuivre l'enquête, le questionnaire a été appliqué dans la rue, de façon aléatoire. Les informations recueillies ne sont bien entendu pas représentatives de l'ensemble de cette zone d'enquête de São Paulo ; elles composent néanmoins un tableau de la population et de son quartier, qui se révèle d'autant plus précieux compte tenu des difficultés que l'enquête dans ce genre de quartier suscite. Au final, il s'est donc avéré impossible d'atteindre l'objectif que nous nous étions fixé de disposer d'observations rendant compte de l'ensemble de la hiérarchie sociale : les ménages les plus aisés n'ont pas pu être observés de façon satisfaisante.

À Santiago, la composition de l'équipe nous a conduit à confier la réalisation de l'enquête à un bureau d'études, qui avait certes l'expérience d'enquêtes par questionnaires sur de gros échantillons mais pas d'expérience des questionnaires biographiques ni de ce type de plan de sondage. Si cette solution a permis la réalisation de l'enquête dans un contexte difficile, elle a sans aucun doute eu des répercussions sur les modalités de réalisation de la collecte et les procédures adoptées pour le contrôle et la codification de l'information. L'investissement dans la formation initiale d'une équipe d'enquêteurs a été mis à mal par de nombreuses défections, imposant de former à nouveau, plus rapidement, des enquêteurs recrutés en remplacement de ceux de l'équipe initiale. L'importance des refus d'enquête a conduit les enquêteurs à ne pas respecter le plan de sondage prévu, d'où des procédures d'extrapolation des résultats calées sur les compositions de la population issues du recensement de 2002, qui sont plus approximatives que celles employées dans les deux autres villes.

Le second semestre 2009 a été consacré aux étapes de contrôle, codification et saisie de l'information, puis au début de l'apurement des fichiers. L'année 2010 a été marquée par la fin de l'étape d'apurement des fichiers et la production de tableaux de résultats par zone d'enquête pour chacune des villes. À Bogotá, la publication des tableaux produits à partir des questionnaires (Dureau *et al.*, 2011b) a permis de mettre à disposition du public les résultats de l'enquête. Les 70 tableaux rassemblés dans cette publication ont trait aux différents thèmes abordés dans l'enquête : caractéristiques démographiques générales, accès au logement, mobilité résidentielle, mobilité quotidienne, éducation et activité

74

UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

économique. La disponibilité de deux enquêtes biographiques réalisées à seize ans d'intervalle à Bogotá, au cœur de la recherche doctorale de G. Le Roux, a donné l'occasion d'avancer dans la réflexion sur les problèmes soulevés par l'analyse conjointe de ces deux enquêtes : un document de travail (Le Roux, 2012a) présente les solutions adoptées pour rendre compatibles les deux sources d'information et ainsi pouvoir travailler de façon rigoureuse sur l'évolution des pratiques de mobilité entre 1993 et 2009.

Les entretiens approfondis en Amérique latine

La réalisation de ces entretiens approfondis (tableau 2-3) répondait à trois objectifs : i) approfondir la compréhension des comportements de mobilité et des stratégies résidentielles; ii) identifier finement les réseaux qui interviennent dans les comportements migratoires et les choix résidentiels; iii) appréhender en détail les systèmes de lieux des individus et de leurs familles : systèmes résidentiels et territoires du quotidien.

Pour la sélection des individus devant faire l'objet d'un entretien au sein de l'échantillon d'individus ayant répondu aux questionnaires, les critères ont été définis en fonction des situations à approfondir dans chacune des villes. À Bogotá, onze thématiques ont été identifiées; en fonction de la pertinence de ces thématiques pour chacune des zones d'enquête et des informations fournies dans les questionnaires, 339 ménages ont été repérés, 126 ont été contactés par téléphone, pour finalement réaliser 89 entretiens. La comparaison de la structure de ce sous-échantillon par rapport à la population adulte ayant répondu aux questionnaires met en évidence des compositions très voisines en termes de sexe, âge, lieu de naissance et niveau de revenus. À Santiago, les critères de sélection, assouplis en raison de la fréquence des refus, concernaient : la composition des ménages, l'âge, la catégorie socio-professionnelle, la mobilité résidentielle, la mobilité quotidienne et la mobilité internationale. Deux nouvelles zones ont été ajoutées (8 entretiens) afin d'appréhender le cas de ménages de classe moyenne habitant à proximité de centres secondaires. À São Paulo, les critères de sélection des individus interrogés ont également dû être assouplis en raison des difficultés rencontrées. Mais, dans la mesure du possible, l'équipe a essayé d'approfondir, seules ou combinées, certaines thématiques générales (la composition socio-démographique) ou propres aux zones d'enquête (le lieu de vie à distance du centre; la migration internationale; l'activité; le statut résidentiel, par exemple).

Les entretiens ont été menés avec un guide d'entretien préalablement mis au point par trois des chercheurs directement concernés par ce volet du système d'enquêtes (J.-M. Fournier, T. Lulle, S. Souchaud). Le guide (annexe 2 de Dureau *et al.*, 2011a) est structuré autour de trois thèmes : histoire de vie; espace de vie; représentations urbaines. À la fin des entretiens réalisés à Bogotá et à Santiago, des cartes mentales ont été recueillies afin de saisir les représentations de la ville par les individus enquêtés. À Bogotá comme à Santiago et à São Paulo,

2

les entretiens ont systématiquement fait l'objet d'un enregistrement et d'une retranscription intégrale.

Les entretiens réalisés sont d'une durée très variable (entre 30 mn et 2h40 à Bogotá; 30 mn et 2h30 à Santiago; 25 mn et 1h20 à São Paulo). Leur analyse a été menée selon des procédures propres à chaque équipe. À Bogotá, pour chaque entretien, deux fiches (annexe 2 de Dureau *et al.*, 2011a) ont été élaborées : une fiche descriptive qui comporte un résumé de l'histoire de vie de l'individu, les principales caractéristiques du logement, les photos du logement, l'éventuelle carte mentale et les conditions de réalisation de l'entretien; une fiche thématique où les extraits les plus pertinents des entretiens sont organisés en fonction des rubriques du guide d'entretien et sont accompagnés de quelques commentaires. À partir de ces fiches, un document de synthèse est élaboré pour chacune des 12 zones d'enquête. À Santiago, des résumés ont été effectués en gardant les passages les plus saillants des entretiens, éliminant les éléments factuels, sans importance ou répétitifs par rapport aux autres entretiens de la zone considérée. Photographies et cartes mentales accompagnent ces entretiens. À São Paulo, l'équipe a tenu un carnet de terrain et a pris des photos des lieux d'enquête (domicile et voisinage).

Les entretiens approfondis en Europe

Des entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès d'un échantillon d'émigrants des métropoles étudiées résidant en Europe, à Barcelone, Lisbonne ou Paris (tableau 2-3). À travers un système d'enquêtes combinant des observations en Amérique latine et en Europe, l'enjeu était de contribuer à comprendre les transformations territoriales de Bogotá, Santiago et São Paulo liées à l'émigration internationale vers l'Europe. Les trois villes européennes ont été choisies parce qu'elles comptaient un nombre important de migrants en provenance des pays latino-américains impliqués dans le projet et sur lesquelles les chercheurs de l'équipe disposaient d'une expérience de recherche importante : cette connaissance de trois contextes urbains européens était en effet essentielle pour comprendre les pratiques individuelles.

À travers ces entretiens, il s'agissait d'appréhender l'itinéraire migratoire des individus, la place du séjour en Europe dans ces parcours pour les individus et leurs familles, les modifications des pratiques urbaines quotidiennes ou des modèles résidentiels familiaux en lien avec la migration internationale, ainsi que les relations avec les membres de la famille présents dans la ville d'origine. On a aussi cherché à capter les transferts directs ou indirects de ces personnes dans la ville d'origine, en termes d'acquisition de logement ou de mise en location par exemple, mais aussi en termes de transformation des pratiques spatiales des membres de l'entourage qui y sont restés. Un guide d'entretien a été défini préalablement aux phases de terrain par H. Córdoba, M. Giroud, M. Guillon et N. Miret. Ce guide (annexe 3 de Dureau *et al.*, 2011a) est structuré autour de quatre thématiques : biographie; pratiques urbaines; relations avec le lieu d'origine; projets personnels.

76



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

Il était initialement prévu d'identifier l'échantillon d'émigrants à partir des questionnaires passés dans les métropoles latino-américaines : l'idée était de développer un système d'enquêtes aux deux extrémités de la filière migratoire, afin d'observer, par le biais des membres du ménage demeurés à Bogotá, Santiago ou São Paulo, les transformations pouvant être imputées à la migration internationale. Cette méthode s'est révélée difficile à mettre en œuvre, d'où la décision de recourir également à un échantillon indépendant, sans relation avec les individus enquêtés en Amérique latine. Deux règles avaient été définies pour cet échantillon indépendant : diversifier au maximum les profils et privilégier les individus dont le lieu de résidence (ou celui de leur famille) était situé dans les zones d'enquête de Bogotá, Santiago et São Paulo. Pour les émigrés de Bogotá, 42 contacts avec coordonnées (27 à Barcelone, 15 à Paris) ont été identifiés à partir des questionnaires, qui ont permis de réaliser 10 entretiens ; le reste de l'échantillon (20 entretiens), sans relation directe avec l'échantillon enquêté à Bogotá, compte une forte proportion d'individus de classes aisées, venus en Europe pour étudier. Pour les émigrés de Santiago, 23 contacts ont été identifiés dans les questionnaires (16 à Barcelone, 7 à Paris), mais seulement 5 avec leurs coordonnées : l'échantillon est donc aussi quasi intégralement composé d'individus sans relation avec l'échantillon enquêté à Santiago. Le très faible nombre de contacts identifiés dans les questionnaires de São Paulo a conduit à prendre dès le départ le parti d'un échantillon indépendant : 27 personnes ont été interrogées, la multiplicité des canaux utilisés (réseaux personnels, lieux communautaires et lieux d'emploi) ayant permis une certaine diversité des profils.

Les entretiens, d'une durée très variable (entre 23 mn et plus de 2h30 pour les originaires de Bogotá ; entre 28 mn et 1h25 pour ceux de Santiago ; entre 35 mn et 1h20 pour ceux de São Paulo) ont systématiquement fait l'objet d'un enregistrement et d'une transcription intégrale. Comme pour les entretiens réalisés en Amérique latine, une fiche thématique a été mise au point pour analyser les entretiens (annexe 3 de Dureau *et al.*, 2011a) : elle comprenait à la fois une synthèse de la biographie de l'individu, ainsi que les extraits les plus pertinents des entretiens organisés en fonction des rubriques du guide d'entretien.

L'analyse des données

Dans quelle mesure le corpus de données multi-sources décrit dans les sections antérieures permet-il de répondre à nos interrogations sur les recompositions socio-spatiales et les pratiques de mobilité spatiale dans les trois métropoles étudiées ? Le tableau 2-4 synthétise l'apport de chaque source aux thématiques abordées dans chacun des chapitres de l'ouvrage. Il informe également, de façon succincte, sur les méthodes mobilisées ; celles-ci font l'objet de présentations plus développées dans les chapitres concernés¹¹.

Outre leur contribution à la sélection des zones d'enquête, les données censitaires et leur intégration dans des systèmes d'information géographique ont joué

11. Il est important de rappeler que cet ouvrage ne restitue qu'une partie des résultats produits à partir du corpus de données secondaires et primaires réuni pour le programme METAL.

2

un rôle central dans l'analyse comparative, au niveau métropolitain, des modèles de peuplement (chapitre 3) et de la ségrégation résidentielle (chapitre 4). Dans un cas comme dans l'autre, le traitement des données a associé l'analyse exploratoire et visuelle de cartographies d'indicateurs simples, le calcul d'indices (indices de ségrégation), des analyses typologiques (compositions de la population et du parc de logements), des analyses relevant de l'analyse spatiale (analyses centrographiques caractérisant la distribution spatiale des différentes catégories de population pour l'étude de la ségrégation, ou synthétisant les lieux fréquentés au quotidien) et des analyses statistiques (variation de la densité en fonction de la distance au centre pour l'étude du peuplement; décomposition de la variance pour l'étude de la ségrégation). Les méthodes mises en œuvre permettent une appréhension des territoires métropolitains à la fois fine (cf. les niveaux de découpage retenus : secteurs, districts et aires de pondération) et globale, qui inclut tant les espaces centraux et la périphérie récente que l'ensemble des espaces intermédiaires produits au fil de plusieurs décennies d'expansion spatiale de métropoles multimillionnaires.

Les données censitaires ont aussi été mobilisées pour identifier, au niveau des trois métropoles, les principales caractéristiques des rythmes et des composantes de la croissance démographique (chapitre 1), des migrations internes et internationales (chapitre 5), des conditions de logement (chapitre 7), ainsi que des navettes vers les lieux d'étude ou de travail et de l'équipement des ménages en moyens de transport (chapitre 8). L'information fournie par les recensements sur ces différentes thématiques est, certes, très limitée; mais il était essentiel de replacer dans leurs contextes métropolitains respectifs les observations approfondies issues de nos propres enquêtes, qui ne renseignent que sur les quartiers inclus dans les zones d'enquête.

Les données censitaires ont également contribué à l'analyse du changement urbain à l'œuvre dans les espaces centraux (chapitre 9) et dans les périphéries populaires (chapitre 10). L'analyse des données des deux derniers recensements disponibles dans chacune des trois métropoles étudiées permet de caractériser les mutations de l'offre résidentielle et leurs effets sur la composition sociale des différentes zones d'enquête.

Enfin, le dernier apport des données censitaires est leur contribution à la caractérisation des lieux pratiqués par les individus enquêtés au cours de leur trajectoire résidentielle ou de leurs déplacements quotidiens. Comme cela a été évoqué page 72, tous les lieux recueillis dans les enquêtes par questionnaire ont été codés de façon précise. Les données issues de ces enquêtes ont été intégrées dans un système d'information géographique comportant également les données censitaires sur la composition sociale et les logements. Il est ainsi possible d'intégrer, aux côtés des caractéristiques individuelles, des données contextuelles locales, et de caractériser les parcours des individus par des descripteurs des lieux qu'ils ont habités ou pratiquent au quotidien au moment de l'enquête : on est ainsi en mesure de développer une analyse contextuelle des trajectoires et de considérer simultanément les dynamiques individuelles et les dynamiques des lieux (Dureau *et al.*, 2006).

78

UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

L'information recueillie dans les questionnaires et les entretiens approfondis permet une analyse fine des migrations, des mobilités résidentielles intra-urbaines et des mobilités quotidiennes (chapitres 5 à 10), détaillant à la fois les pratiques et leurs relations avec les caractéristiques socio-démographiques des individus (sexe, âge, niveau d'éducation, position dans le ménage, type d'activité, etc.) et des ménages (composition du ménage, niveau de revenus, conditions de logement, équipement en moyens de transport, localisation de la famille non co-résidente, etc.). Outre le recours à la statistique descriptive et aux représentations cartographiques, ont été mobilisées des méthodes relevant de l'analyse spatiale et des analyses typologiques pour l'étude des trajectoires résidentielles intra-urbaines (chapitre 7) et des espaces de mobilité quotidienne (chapitre 8).

L'analyse des enquêtes a été menée par une série d'allers-retours entre les résultats issus du traitement des données recueillies dans les questionnaires et ceux issus de l'analyse des retranscriptions d'entretiens : il s'agit donc d'un jeu d'interrogations réciproques d'un matériau par l'autre. Les entretiens permettent d'éclairer plus particulièrement ce qui a trait aux représentations et au processus d'acquisition de compétences de mobilité au fil de la vie, dans les différents espaces habités au cours de la trajectoire résidentielle et migratoire. C'est en jouant sur différentes méthodes d'analyse (analyse de contenu, analyse cartographique et spatiale, statistique bivariée et multivariée) que nous avons travaillé le corpus de données issu du système d'enquêtes sur les mobilités.

Le corpus de données secondaires (recensements) et primaires (enquêtes) réuni dans le cadre du programme METAL permet sans conteste de répondre aux interrogations initiales de cette recherche sur les recompositions socio-spatiales et les pratiques de mobilité dans chacune des trois métropoles. Si l'on s'en tient à une analyse par métropole, la principale difficulté réside dans la mise en relation de données relatives à deux échelles, d'une part la métropole et, d'autre part, les zones d'enquête : cette difficulté peut être surmontée, l'enjeu étant de tirer parti systématiquement de la complémentarité des observations portant sur chacune des deux échelles. L'analyse comparative entre métropoles ne pose pas non plus de problème majeur si l'on s'en tient aux données des recensements, puisqu'elles couvrent l'ensemble des territoires métropolitains : les seules difficultés sont celles liées aux variations de données selon la ville et la date de recensement. En revanche, la comparaison entre les observations issues des enquêtes Mobilité réalisées dans chacune des villes est sensiblement plus complexe : elle ne peut être menée qu'en remplaçant chacune des zones d'enquête dans son propre contexte métropolitain, en termes spatial (distance au centre, position au sein des grandes divisions sociales de l'espace métropolitain), urbain (caractéristiques du parc de logements) et social (composition sociale des habitants). C'est pourquoi la description synthétique des zones d'enquête présentée dans la figure 2-3 jouera un rôle majeur tout au long de cet ouvrage : elle constitue le socle de la grille d'analyse comparative des résultats issus des enquêtes Mobilité.



2

MOBILITÉS ET CHANGEMENT URBAIN

Tableau 2-4 : Sources et traitements mobilisés selon les chapitres de l'ouvrage.

Chapitre	Recensements	Enquête par questionnaires	Entretiens approfondis en Amérique latine	Entretiens approfondis en Europe
1. Les trois contextes métropolitains	Tableaux : population totale ; composition par sexe et âge ; taille des ménages ; rythme et composantes de la croissance démographique.	-	-	-
3. Modèles de peuplement	Analyse statistique des densités (logements, ménages, individus) selon distance au centre et sectorisation socio-économique.	-	-	-
4. Ségrégation	Mesure multiscalaire : Cartographie, Analyse spatiale centrogéographique, Indices de ségrégation, Décomposition de la variance.	-	Les représentations de la ségrégation (discours et cartes mentales).	-
5. Insertion urbaine des migrants	Tableaux croisés : caractérisation générale de la migration interne et internationale des trois métropoles.	Tableaux croisés et cartographie : trajectoires migratoires vers les métropoles ; conditions de logement et d'emploi des migrants internationaux et internes selon durée de résidence dans la métropole.	Les modalités d'accès au logement et au travail des migrants internes et internationaux.	-

80



UNE MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION ET D'ANALYSE DE L'INFORMATION...

6. Émigration en Europe et dynamiques urbaines	-	-	Les représentations de la ville d'origine au regard de la ville d'émigration. Les effets sur la ville d'origine de l'expérience migratoire et urbaine en Europe.
7. Choix et parcours résidentiels	Tableaux croisés et cartographie : conditions de logement dans les trois métropoles.	Tableaux croisés, analyses typologiques et cartographie : intensité de la mobilité résidentielle; caractéristiques spatiales des trajectoires résidentielles; localisation de la famille	Les processus des choix résidentiels : statut d'occupation du logement; localisation de la famille et du travail.
8. Mobilité quotidienne	Tableaux croisés et cartographie : les navettes et l'équipement des ménages dans les trois métropoles.	Tableaux croisés, cartographie et analyse spatiale : inégalités sociales et spatiales; espaces de mobilité quotidienne des individus et des ménages.	Les arbitrages intra-familiaux en matière de mobilité quotidienne.
9. Le changement dans les espaces centraux	Tableaux croisés, analyse typologique et cartographie : évolutions de la population et du parc de logements; caractéristiques spatiales du changement social dans les espaces centraux.	Tableaux croisés, cartographie : trajectoires résidentielles et mobilité quotidienne des habitants; identification de profils-types d'habitants, anciens et nouveaux.	La diversité des choix résidentiels et des modes de vie des habitants des quartiers centraux.
10. Le logement populaire en périphérie	Tableaux croisés et cartographie : caractéristiques générales du logement populaire dans les trois métropoles.	Tableaux croisés : caractéristiques physiques et prix du logement populaire; modalités d'accès au logement populaire périphérique; ancrage résidentiel en périphérie.	Les passages entre les segments formel et informel du logement populaire. Les modalités de l'ancrage résidentiel en périphérie.

FRANÇOISE DUREAU ET AL.



2

Conclusion

Le programme METAL a accordé une place importante au développement et à la réflexion méthodologique. Un premier registre d'avancées méthodologiques produites par le programme réside dans les méthodes d'analyse des données de recensement pour analyser les changements de composition sociale (méthodes d'analyse typologique, cf. Piron, Dureau, 2010) et l'évolution de la ségrégation. Le chapitre 4 du présent ouvrage et plusieurs communications (Dureau *et al.*, 2012) rendent compte des diverses méthodes mises en œuvre pour l'analyse de la ségrégation (cartographie, statistique et analyse spatiale centrographique) et de leurs apports respectifs à l'analyse de l'évolution de la ségrégation résidentielle.

Un autre registre d'avancées méthodologiques issues du programme METAL réside dans la méthodologie de production d'informations sur les pratiques de mobilité spatiale, dans leurs différentes expressions spatiales et temporelles. Parmi les principales améliorations introduites dans le questionnaire des enquêtes METAL par rapport aux questionnaires appliqués en Colombie dans les années 1990, signalons : une meilleure caractérisation des conditions de logement, ainsi que des ressources et du patrimoine immobilier du ménage; la généralisation du recueil des trajectoires migratoires et résidentielles à l'ensemble des membres du ménage; la saisie de l'équipement en transport du ménage; le recueil de l'ensemble des déplacements quotidiens d'un membre du ménage; la caractérisation des trajectoires résidentielles en termes de type de logement occupé. Le document publié en 2011 (Dureau *et al.*, 2011a) présente l'ensemble de la méthodologie du système d'enquêtes tel que mis en œuvre en 2009 à Bogotá et, de façon quasi identique, à Santiago et São Paulo. Cette publication met ainsi à disposition du public toutes les informations relatives à chacune des composantes du système d'enquêtes (enquête par questionnaires, entretiens approfondis en Amérique latine et en Europe) et les enseignements tirés de ces expériences en termes d'évaluation des méthodes adoptées. La méthodologie d'enquête biographique a aussi fait l'objet d'une diffusion selon différents canaux (communications, articles, enseignements en France et en Amérique latine), alimentant ainsi la réflexion, évoquée en introduction de ce chapitre, sur l'apport des collectes biographiques à la connaissance des mobilités qui est menée depuis une quinzaine d'années avec des collègues de l'IRD, de l'INED et autres institutions.







Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

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.



Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

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...).

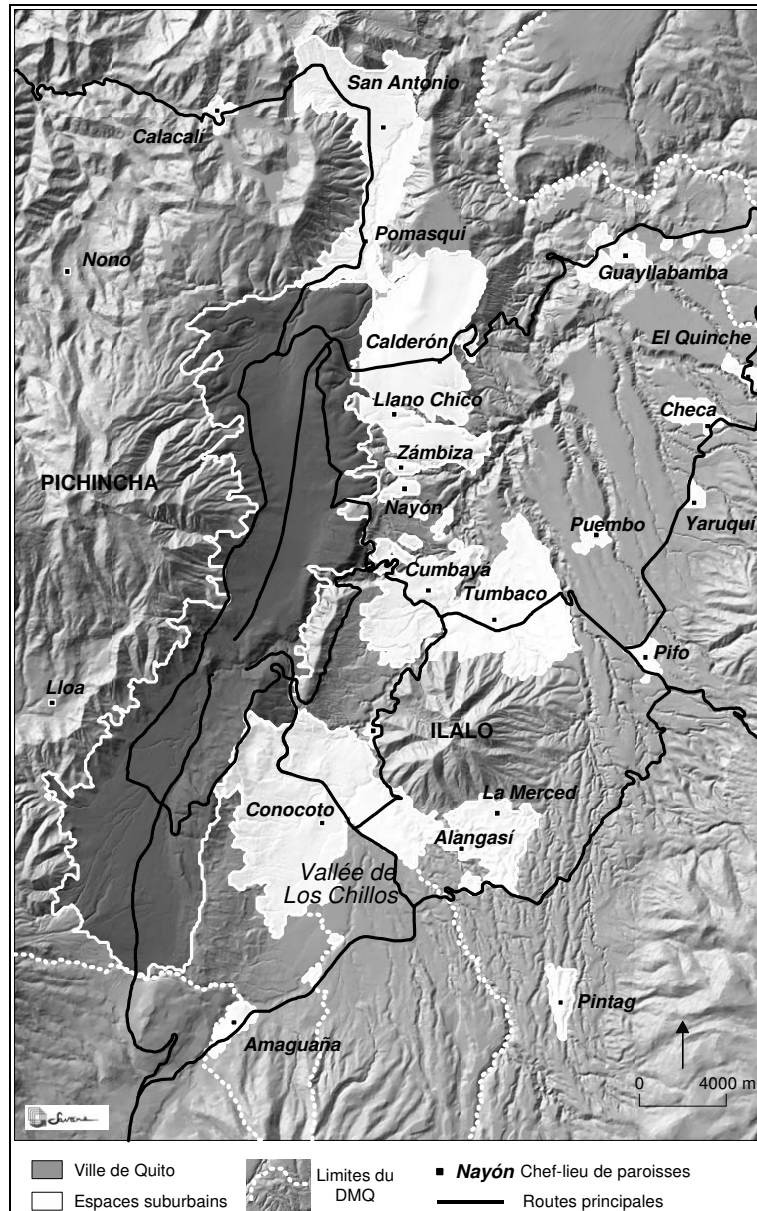
Quito, capitale de l'Equateur, est directement confrontée à ces réalités problématiques et doit faire face à de multiples risques. Juchée à 2 800 m d'altitude, dans un gradin tectonique orienté N-S en bordure du sillon interandin, la ville de Quito stricto sensu (carte 1) rassemble aujourd'hui environ 1,5 million d'habitants répartis sur 200 km² alors qu'elle ne comptait en 1868 que 45 000 habitants établis sur 4 km². 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 km².

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.



Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito



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



Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

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 pentes¹) où l'expression de la morphogenèse est ubiquiste² 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 lahars³ 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,

¹ Les pentes supérieures à 30% occupent 20% du DMQ.

² 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).

³ 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.



Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito

– 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)⁴. Cette base, administrée avec l'aide du SIG *SavGIS*⁵ et gérée par le Service Municipal d'Etudes Métropolitaines⁶, 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 présidentiel⁷ et constitue dès lors l'une des priorités de la mairie.

La philosophie générale du programme⁸ 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 ».

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

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

⁶ *Unidad de Estudios e Información Metropolitana*.

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

⁸ 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).



Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

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 District⁹, 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

⁹ MDMQ/DGP, 2000.



Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito

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-clés 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 affectées¹⁰.

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 risques¹¹. 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-clés des réseaux routier et de transport, dans la

¹⁰ 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).

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



Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume 16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

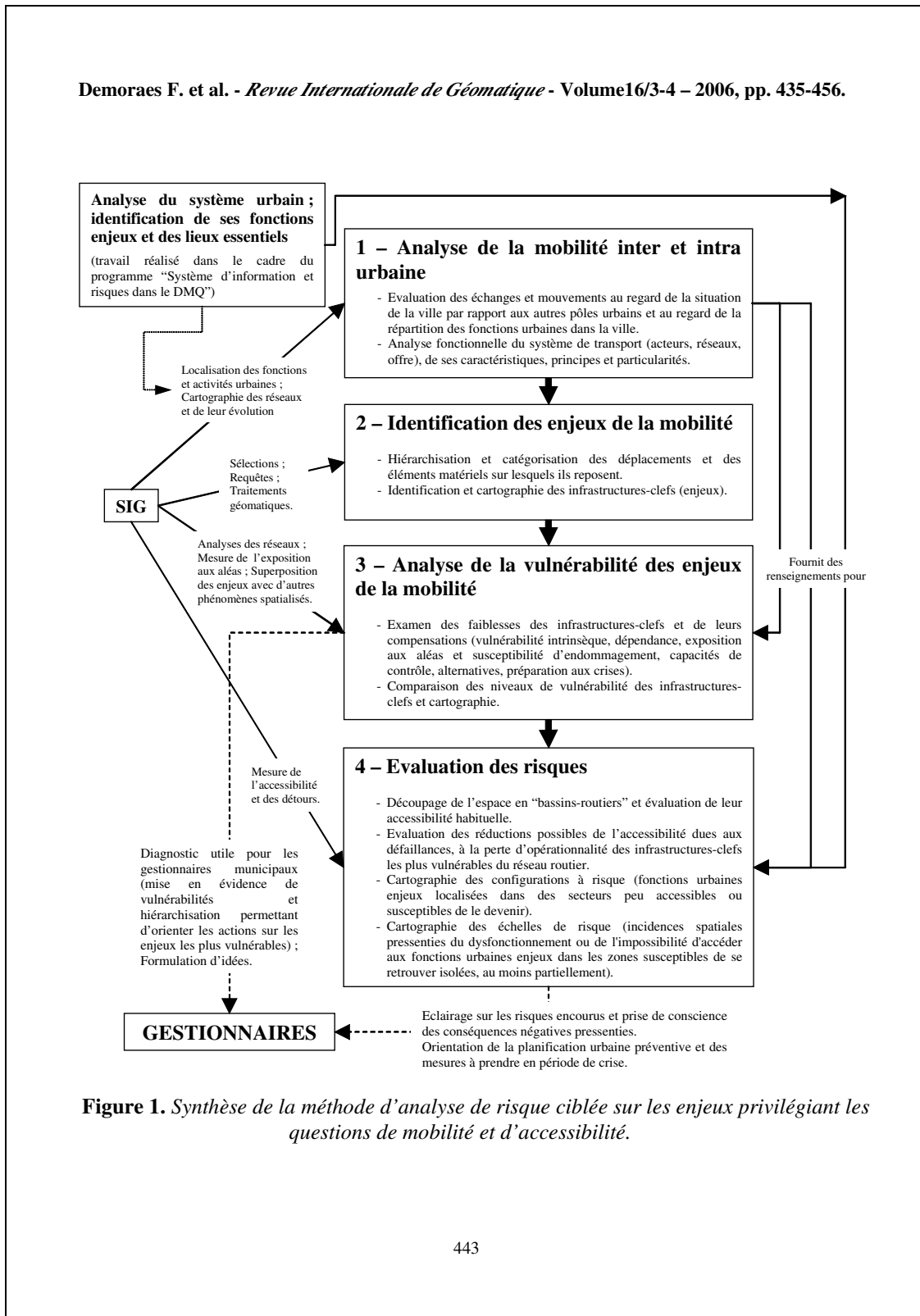
mesure où la perte de leur opérationnalité perturberait les communications et pourrait compromettre l'accessibilité de certains secteurs, ce qui serait préjudiciable au fonctionnement urbain. La situation est d'autant plus critique que les infrastructures-clefs sont vulnérables et que les secteurs dont 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 actualisée¹² 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 objets¹³). Ceci dit, le SIG permet de rassembler l'ensemble des données, de les traiter et de produire des cartes synthétiques.

¹² La collecte, validation et intégration des données ont duré près de quatre ans.

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





Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

Etapes de la recherche	Description des traitements effectués dans le SIG	Applications, résultats cartographiques	Remarques
Identification des infrastructures-clefs des réseaux routier et de transport (enjeux à l'échelle de l'agglomération)	<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>
Analyse de vulnérabilité des infrastructures-clefs des réseaux routier et de transport	<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®).

444

Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito

Etapes 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, connectivité 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®).

445



Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

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.

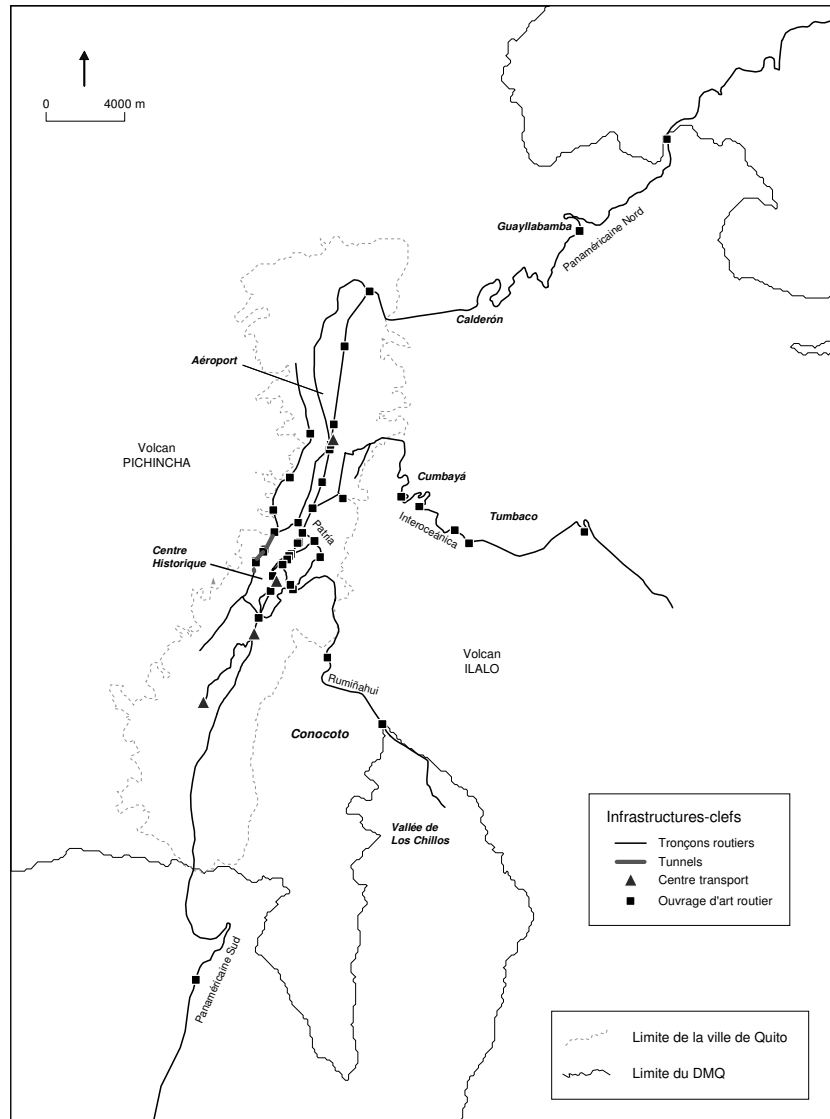
5.2. Vulnérabilité des éléments-clefs des réseaux routier et de transport

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 méthode¹⁴ 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.

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



Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito



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



Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

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.

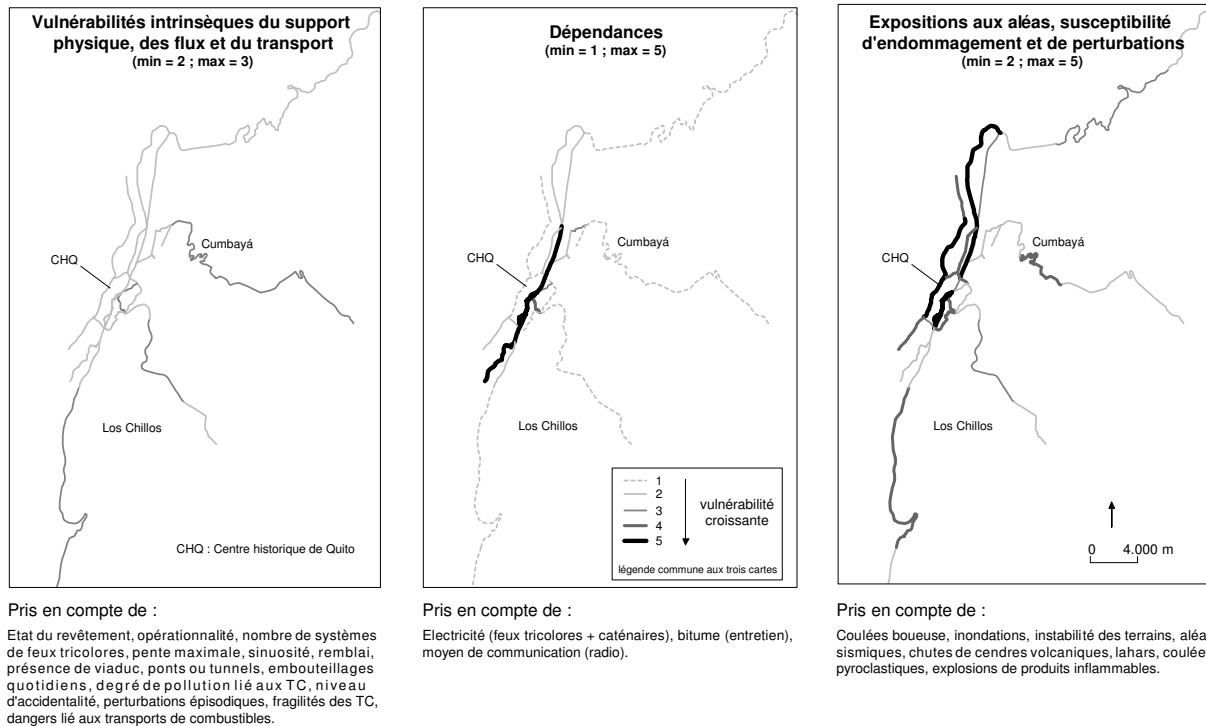
Le cumul des six formes de vulnérabilité a été cartographié (carte 5). Il est ressorti de cette analyse que comparativement aux autres éléments-clefs, les grands centres de transport figurent comme étant les moins vulnérables puisqu'ils n'atteignent pas de vulnérabilité cumulée « forte » ou « très forte ». En revanche, parmi les éléments-clefs de l'appareil circulatoire (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).



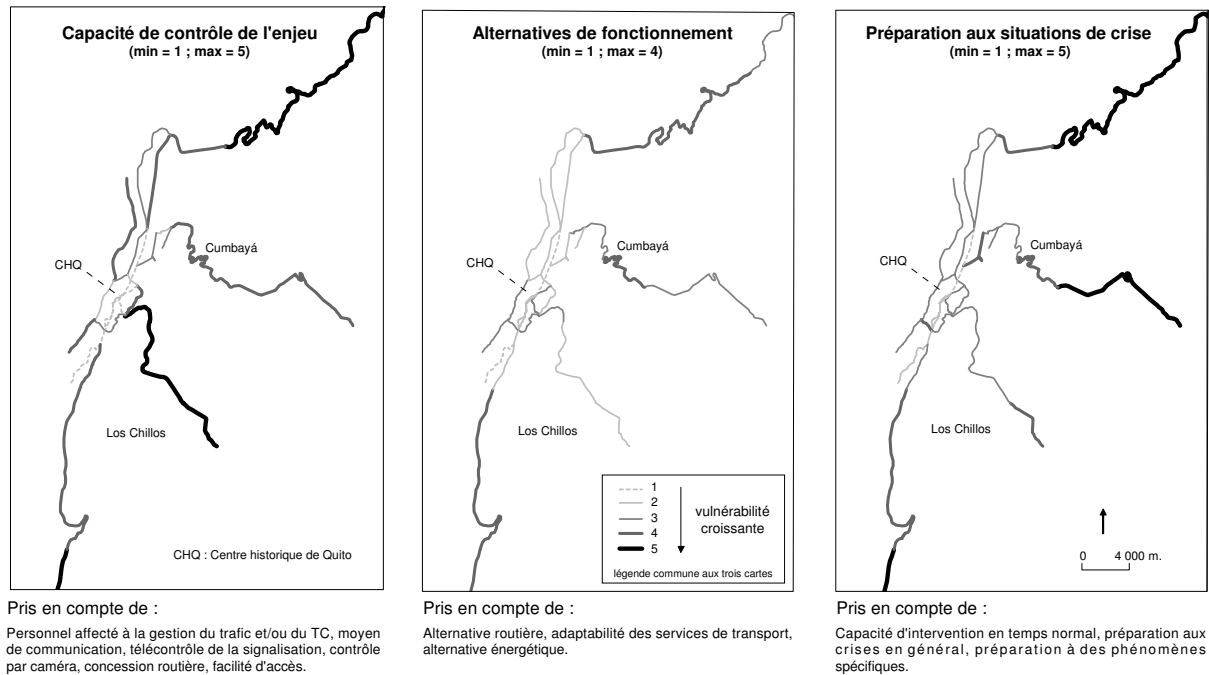
Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito



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

449

Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume 16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

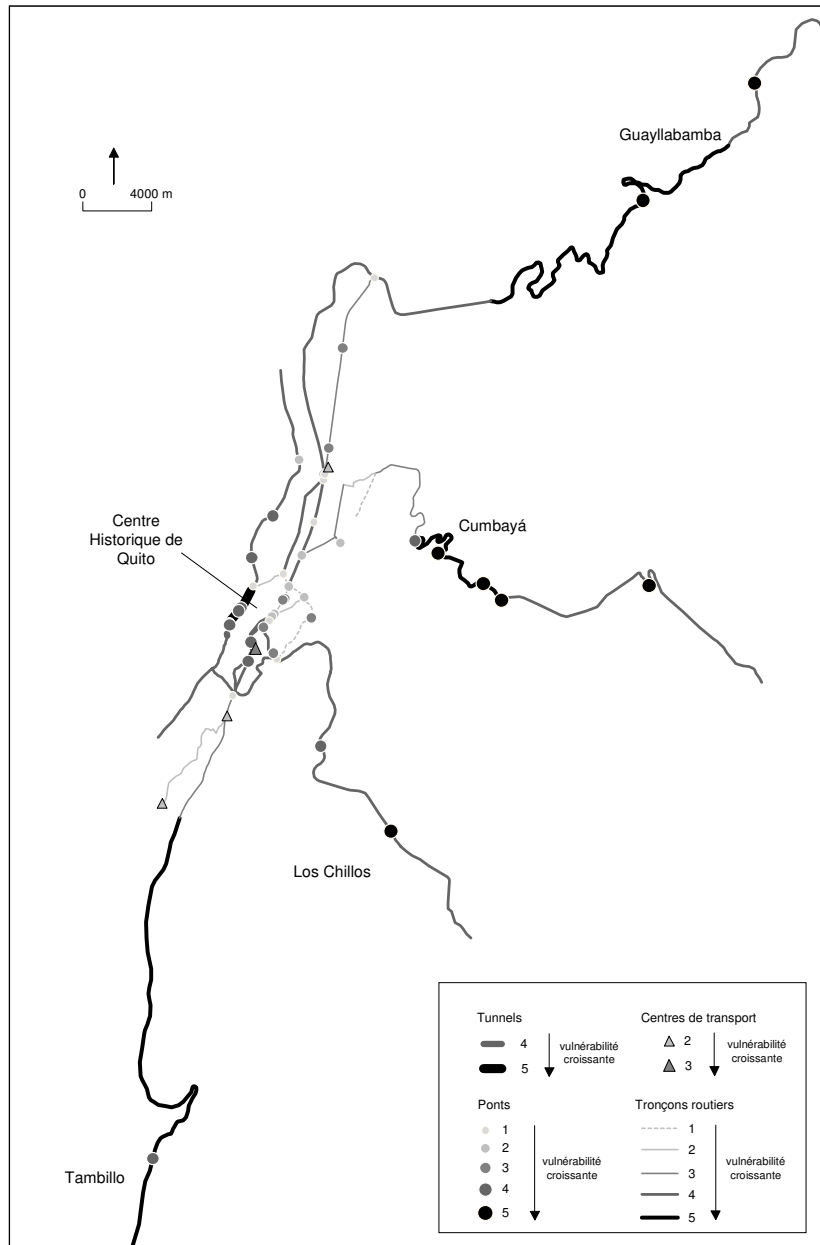


Carte 4. Formes de compensation de la vulnérabilité des axes-clefs du réseau routier métropolitain.

450

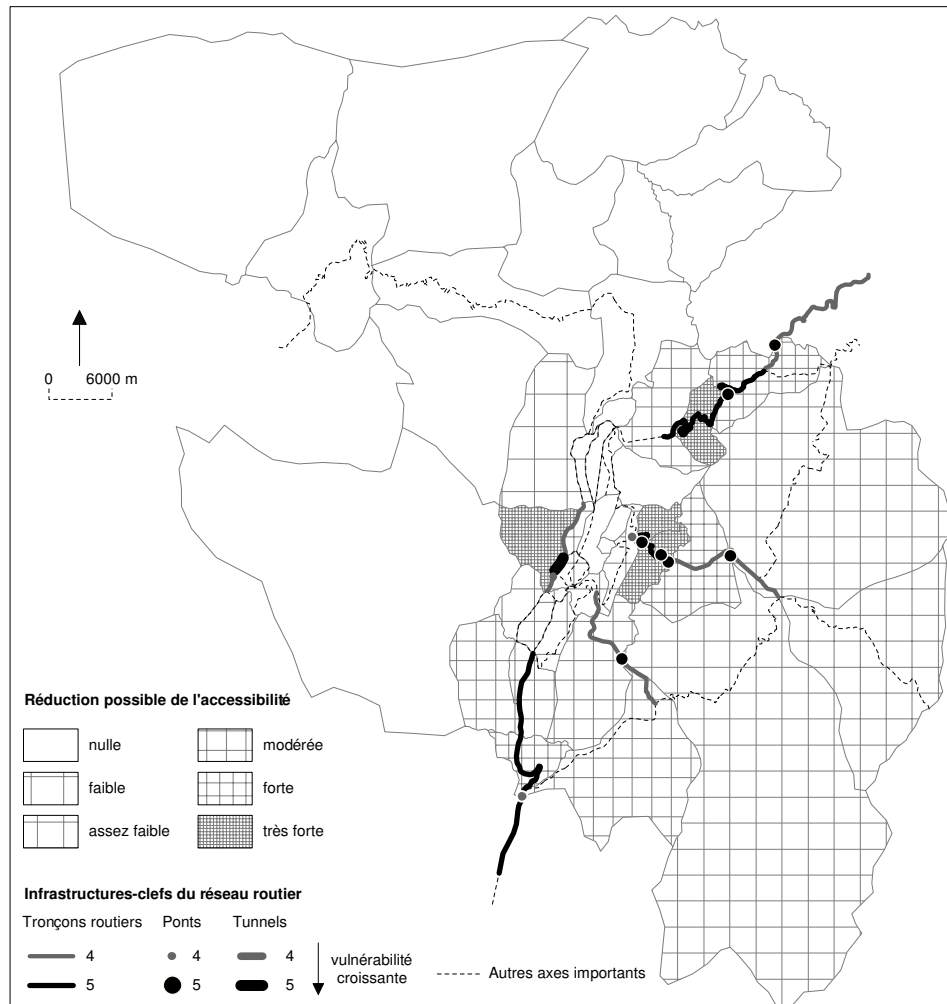


Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito



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

Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.



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

*Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito*

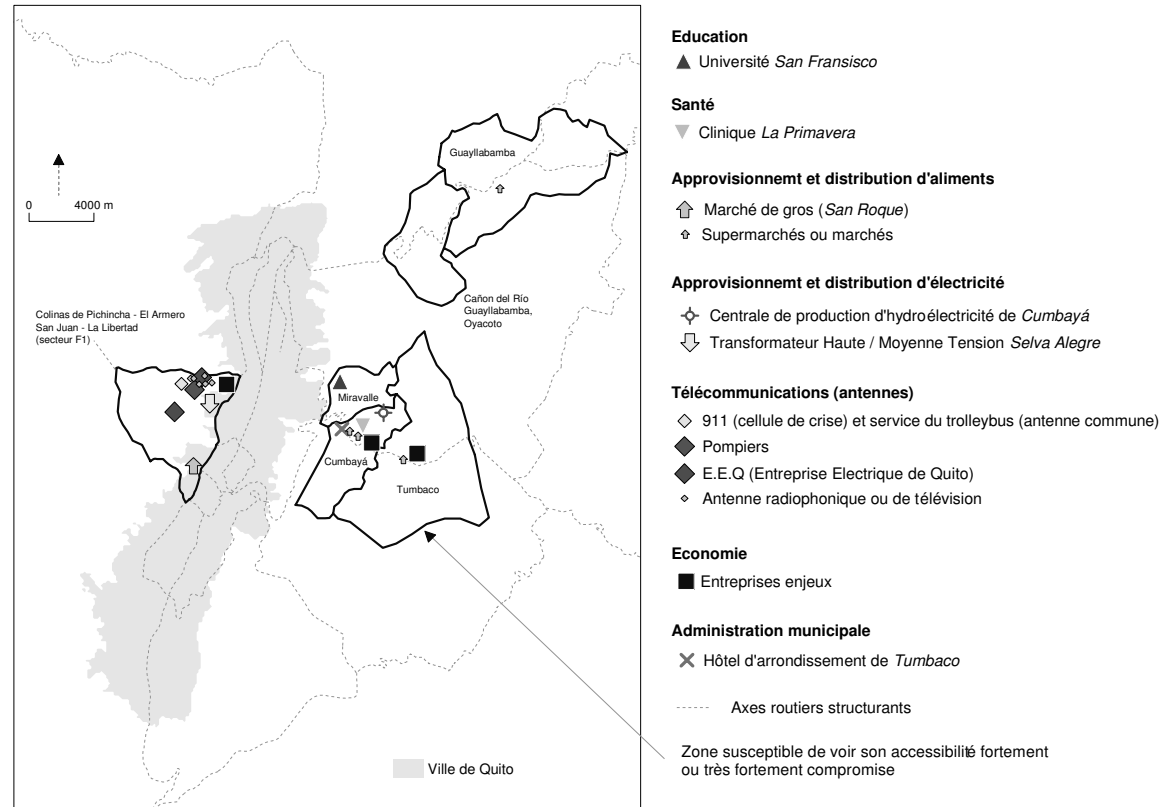
stratégiques pour le DMQ (carte 7). Ce cas de figure relève d'une situation exceptionnelle, qui ne s'est encore jamais produite, mais qui n'est pas dénuée de tout sens dans la mesure où des phénomènes susceptibles d'entraîner des dommages majeurs peuvent affecter l'agglomération (séisme, lahars). L'impossibilité 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...) ¹⁵ 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.

¹⁵ Cette définition est celle fournie par nos partenaires économistes municipaux.



Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume 16/3-4 – 2006, pp. 435-456.



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.



Enjeux, mobilité, accessibilité et risques à Quito

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 permettrait 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.

Beguín 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.



Demoraes F. et al. - *Revue Internationale de Géomatique* - Volume16/3-4 – 2006, pp. 435-456.

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 espaciales - 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.

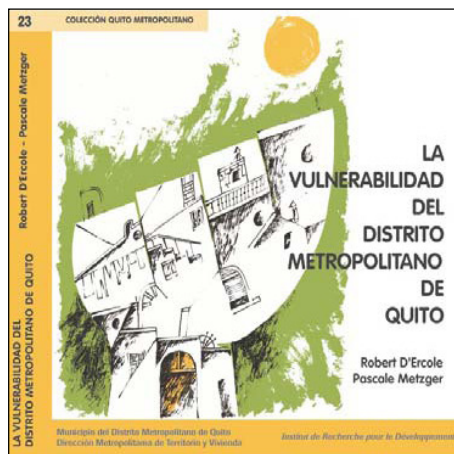






La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito

Robert D'Ercole et Pascale Metzger



Capítulo 2 – Accesibilidad de los espacios en el DMQ

Florent Demoraes, Robert D'Ercole, Pascale Metzger



Quito, Diciembre de 2004



ISBN 9978-970-52-5



CAPÍTULO 2 Accesibilidad de los espacios en el DMQ

1. Importancia de la accesibilidad y su articulación con las nociones de movilidad, vulnerabilidad y riesgo

Según el *Diccionario de Geografía* de Lévy y Lussault (2003), la accesibilidad es «el conjunto de posibilidades efectivas de conectar dos lugares mediante un desplazamiento». La noción integra la existencia de infraestructuras de transporte y también la posibilidad efectiva de utilizarlas: una vía congestionada, autobuses poco frecuentes, transportes demasiado costosos constituyen otras tantas limitaciones para la accesibilidad. Se puede igualmente distinguir la accesibilidad física, expresada en distancias kilométricas, y la accesibilidad funcional, apreciada en términos de costos o de tiempo de acceso (Bavoux, 1998). Si nos referimos a un lugar preciso, la accesibilidad

corresponde al «grado de facilidad con que se puede llegar a él» (Béguin, 1995).

La noción de accesibilidad está estrechamente ligada a la de movilidad que se puede definir sucintamente como la capacidad de moverse y que implica muchas nociones como las de desplazamiento, transporte, migración, etc. Este concepto globalizador (Lévy y Lussault, 2003) no se limita al solo desplazamiento físico efectivo y a sus técnicas, lo que se conoce como «transporte», sino que al mismo tiempo reúne:

- una serie de condiciones geográficas (marco físico, económico y social del espacio en el que se ejerce la movilidad y que influye en ella);
- un conjunto de valores culturales y sociales (importancia y valor de la movilidad en una sociedad determinada);



La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito

- un dispositivo tecnológico (las infraestructuras, los medios de transporte, las técnicas de comunicación);
- una serie de actores que organizan, orientan, limitan o favorecen la movilidad.

Lo que antecede muestra claramente que la accesibilidad de los lugares depende estrechamente del sistema de movilidad y que si este es estructuralmente poco funcional o está coyunturalmente perturbado, es la accesibilidad de los espacios la que soporta las consecuencias. Si tal accesibilidad está comprometida, aparecen entonces vulnerabilidades que se manifiestan a escalas espaciales diferentes:

- a nivel de un sector la calidad de la accesibilidad va a influir en su vulnerabilidad y en la de sus elementos esenciales, entre ellos la población, en especial en período de crisis;
- a nivel del sistema territorial (como el DMQ) una accesibilidad deficiente puede comprometer el funcionamiento de elementos interdependientes, sobre todo en el caso de una fuerte concentración de elementos esenciales y de una especialización de los espacios. Un sistema territorial funciona gracias a la complementariedad de sus subespacios que deben por tanto estar bien interconectados;
- a nivel del espacio regional, nacional o internacional en el que se integra el sistema territorial, la accesibilidad es tanto más importante cuanto que se trata de una ciudad clave en la organización de

un espacio regional y con mayor razón cuando se trata de la capital de un país.

Se puede concluir que la calidad de la accesibilidad es una dimensión de la vulnerabilidad del territorio, que desempeña un papel particular en período normal y que, en caso de crisis, puede amplificar los efectos de una catástrofe.

Son numerosos los ejemplos de balances de desastres agravados debido a la dificultad, e incluso la imposibilidad, de acceder a los espacios afectados. En 1985, en Armero (Colombia) muchas personas heridas perecieron por no haber sido socorridas a tiempo a causa del cierre de vías de comunicación por los lahares generados por la erupción del Nevado del Ruiz, la insuficiencia de los medios de transporte aéreo (helicópteros) y el peligro permanente de nuevos flujos de lodo. En numerosos sectores afectados, los auxilios no pudieron llegar sino al cabo de algunos días. Igual escenario se produjo en 1998 en América Central y particularmente en Nicaragua y Honduras donde numerosas comunidades estuvieron totalmente aisladas durante varios días después del paso del huracán Mitch.

La pérdida de accesibilidad representa también un atentado a las actividades humanas y a la economía de una región o de un país. Así, los lahares del Nevado del Ruiz en 1985, al igual que los del Pinatubo en Filipinas (1991-1995) hicieron imposible el acceso a tierras cultivadas, comprometiendo la supervivencia de poblaciones ya siniestradas, aunque los cultivos no fueron directamente afectados. Luego



Capítulo 2 - Accesibilidad de los espacios en el DMQ

del sismo de 1987 en el Oriente ecuatoriano, el restablecimiento de las vías de comunicación para acceder al oleoducto, pieza vital de la economía del país, fue prioritario. Había que restablecer también, lo más rápidamente posible, el transporte de productos agrícolas entre el Oriente y la Sierra, así como romper el aislamiento social y económico de Lago Agrio y de las numerosas comunidades desorganizadas por la destrucción de la infraestructura vial.

Las caídas de ceniza en Quito en 1999 debido a la actividad del volcán Guagua Pichincha acarrearón igualmente la pérdida o la reducción de accesibilidad, lo que tuvo consecuencias importantes. Durante más de 10 días, Quito fue una capital poco accesible debido al cierre del aeropuerto. Ello perturbó seriamente las comunicaciones nacionales e internacionales y redujo sustancialmente la actividad económica dependiente del transporte aéreo, en especial la exportación de flores.

Estos pocos ejemplos muestran que una limitada accesibilidad y con mayor razón una ruptura de accesibilidad, son sinónimos de fuerte vulnerabilidad. Pero tal vulnerabilidad no se expresa solamente al momento de las crisis, es una situación, si no permanente al menos durable, de ciertos espacios. La accesibilidad influye en el dinamismo económico y social de un territorio y en la vida de sus habitantes en período normal; al mismo tiempo, una accesibilidad deficiente constituye una desventaja previa frente a cualquier crisis. En efecto, si espacios habitualmente muy accesibles pueden ver muy reducida esa

accesibilidad luego de un evento destructor, los espacios habitualmente poco accesibles (debido al bajo número de alternativas viales, a condiciones topográficas o climáticas limitantes, a una mala calidad o a la insuficiencia de la oferta de transporte...) están aún más predispuestos a ver agravarse su situación en tales circunstancias, e incluso a encontrarse aislados.

Con esta lógica, el objetivo de este capítulo es reflexionar sobre la accesibilidad de los espacios al interior del DMQ en la óptica de contribuir al análisis de su vulnerabilidad territorial. Lo que interesa no es la accesibilidad del Distrito en sí, ni la vulnerabilidad del sistema de movilidad, capaz, en caso de crisis, de comprometer o empeorar la accesibilidad de los lugares¹, sino la diferenciación del espacio metropolitano en sectores más o menos accesibles habitualmente y por tanto más o menos vulnerables. Para ello se considerarán primeramente los obstáculos físicos a la movilidad en Quito, lo que constituye una información previa para el análisis de la accesibilidad. Esta última será objeto de las dos partes siguientes del capítulo, desarrollando la primera el método empleado para elaborar una cartografía de la accesibilidad al interior del DMQ y la segunda dedicada a comentar e interpretar los resultados obtenidos.

¹ Este tema se trata en el capítulo 7 de este libro.



La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito

2. Los obstáculos físicos a la movilidad en el DMQ

Como se vio anteriormente, la movilidad es un concepto que engloba numerosas realidades, geográficas, culturales, tecnológicas, organizacionales. Los obstáculos a la movilidad en Quito o en toda ciudad están pues ligados a todas esas realidades. Apoyándonos en el trabajo de Florent Demoraes realizado en el marco del programa de investigación (Demoraes, 2004), consideraremos aquí únicamente los obstáculos físicos a la movilidad en el DMQ: las barreras topográficas y antrópicas en período normal.

De una manera general, la ubicación del DMQ es apenas favorable a la movilidad (véase mapa 2-1). De un lado y otro de la aglomeración de Quito, dos conjuntos montañosos superan ampliamente los 3.000 m.s.n.m. Al oeste, los macizos de Casitagua, Pichincha y Atacazo constituyen una verdadera barrera, mientras que al este la muralla de la cordillera oriental es atravesada por una sola carretera que se dirige a la Amazonía por un paso ubicado a más de

4.000 m.s.n.m. El estiramiento longitudinal, en cerca de 50 km por algunos kilómetros de ancho, del espacio en el que se ha implantado Quito, aprisionada entre el macizo del Pichincha al oeste y un escarpado de cerca de 300 m de desnivel al este, plantea numerosos problemas en términos de accesibilidad. A ello se agrega una fragmentación topográfica ligada a numerosos obstáculos orográficos (como El Panecillo en el corazón de la ciudad, el volcán Ilaló que separa al valle de Cumbayá/Tumbaco del valle de Los Chillos, etc.) e hidrográficos (ríos Machángara, San Pedro, Chiche, Guayllabamba, etc.) acentuados por ciertas barreras antrópicas particularmente limitantes en la ciudad (aeropuerto, parque La Carolina, centro histórico).

Los fuertes desniveles característicos de una gran parte del espacio metropolitano complican los desplazamientos al interior del Distrito al tiempo que dificultan el acceso a la ciudad. Por ejemplo, para llegar a Quito desde el noreste, los vehículos deben cruzar un desnivel muy fuerte (920 m entre el punto más bajo y el más alto) y el profundo cañón cavado por el río Guayllabamba. Para acceder a la capital desde el fondo de los dos valles orientales, hay que ascender las vertientes que la rodean antes de poder descender hacia el espacio central. Al mismo tiempo, las pendientes de los ejes viales pueden ser relativamente fuertes en ciertos tramos: hasta 11 por ciento en la autopista Rumiñahui y en la Panamericana Norte, hasta 12 por ciento en la Vía Interoceánica desde Tumbaco y 13 por ciento en la Panamericana Sur². Se venga de donde se venga, las

² lo que, en un sentido reduce la velocidad de desplazamiento, pero, en otro, la incrementa y esto también presenta inconvenientes. En efecto, al ser estas vías globalmente anchas y estar en buen estado, los automovilistas tienden a conducir a gran velocidad y no es por casualidad que en esos ejes se concentran gran cantidad de accidentes que cuentan entre los más mortíferos registrados en el DMQ.



pendientes han obligado a construir carreteras muy sinuosas lo que implica un alargamiento significativo de las distancias³.

En la ciudad, la colina del Panecillo y el cañón del río Machángara son las dos principales barreras naturales que contribuyen a hacer complejas las comunicaciones intra urbanas. La primera hace problemáticos los intercambios norte-sur y en especial el acceso de la población del sur al espacio central (entre el centro histórico y el aeropuerto) donde, como se señaló en el primer capítulo, se concentra una gran parte de las actividades metropolitanas. El segundo acrecienta aún más esta dificultad dada la posición del lecho del río Machángara al pie del Panecillo en dirección del noreste. Para cruzar este profundo corte se construyó un puente (avenida Maldonado) y se acondicionaron rellenos⁴. Por otro lado, numerosas quebradas limitan la accesibilidad de los barrios situados en las laderas. Sin embargo, en la ciudad, muchos obstáculos se deben a la existencia de equipamientos urbanos. El aeropuerto Mariscal Sucre, inicialmente implantado en una zona rural en una época en que la ciudad no iba más allá de la avenida Colón, forma parte ahora del tejido urbano. La pista de aterrizaje mide cerca de 3,8 km de largo, lo que desfavorece las comunicaciones transversales. Otros equipamientos urbanos limitan los intercambios latitudinales. Es el caso del parque La Carolina cuya longitud, de 1.600 m, constituye una verdadera barrera en pleno espacio central, que únicamente pueden cruzar los peatones. Es también el caso de las vías exclusivas de transporte colectivo

a lo largo de ciertos ejes longitudinales (trolebús, Ecovía y ahora avenidas América y La Prensa), uno de cuyos efectos es la canalización obligada del tráfico que mejora su fluidez pero alarga las distancias recorridas por los automovilistas —y por los peatones— en particular en el espacio central. Paralelamente, el plano de circulación (señalización, semáforos tricolor...) favorece los desplazamientos norte-sur y afecta a la movilidad transversal.

El análisis que antecede pone en evidencia las principales dificultades de comunicación en el espacio metropolitano con un conjunto de obstáculos topográficos y antrópicos que contribuyen a alargar las distancias ya sea en kilómetros, en tiempo o en costos. Esta situación degrada la accesibilidad de ciertos espacios al interior del Distrito. Si bien tal análisis puede dar cuenta de las dificultades en términos de movilidad y presumir las dificultades de acceso de los espacios, no permite aún diferenciar el espacio metropolitano según grados de accesibilidad. De allí el análisis presentado a continuación.

- ³ Por ejemplo, la distancia entre El Quinche y Quíno (al cruce de las avenidas de los Granados y Eloy Alfaro) es de 44 km por carretera frente a 20 km a vuelo de pájaro.
- ⁴ que sirven hoy en día de soporte al intercambiador de El Trébol, a la avenida El Cumandá en dirección de la avenida Napo y a la Rodrigo de Chávez.



La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito

3. Método utilizado para la cartografía de la accesibilidad al interior del DMQ

El método se apoya en la definición de Béguin de la accesibilidad: «grado de facilidad con que se puede llegar a un lugar» (1995). En la de Lévy y Lussault (2003), «conjunto de posibilidades efectivas de unir a dos lugares mediante un desplazamiento», la accesibilidad está ligada a la identificación de otro lugar que sirve de referencia, lo que obligaría a reflexionar en términos de accesibilidad orientada. Este no es nuestro objetivo en la medida en que se trata justamente de diferenciar el espacio metropolitano según grados de accesibilidad independientemente del lugar de referencia⁵. Por otro lado, si bien la accesibilidad se define generalmente para lugares puntuales, su análisis puede aplicarse igualmente a zonas, lo que es el objetivo de este capítulo. La metodología desarrollada⁶ está centrada entonces en lo que puede

incrementar o reducir el grado de facilidad que permite llegar a diferentes zonas al interior del DMQ.

En primera instancia, se dividió al DMQ en 44 zonas en función de la armazón de la red vial estructurante y principal, configurada a su vez según la topografía y la hidrografía (mapa 2-2). En otras palabras, se trata de «cuencas viales» delimitadas teniendo en cuenta los ejes viales, las discontinuidades y las barreras físicas del espacio metropolitano⁷. En la ciudad de Quito se utilizaron, además, como límites interzonales las principales arterias en la medida en que, como se vio, estas pueden constituir verdaderas barreras, sobre todo si están equipadas con una vía reservada al transporte colectivo.

Una vez realizada esta primera zonificación, se calificó la accesibilidad de las diferentes zonas recurriendo a ocho variables cualitativas y cuantitativas:

- número de vías (principales y secundarias) de entrada y salida de la zona;
- tipo de revestimiento de los accesos inmediatos a la zona;
- existencia o ausencia de una vía de penetración, eje de gran circulación que atraviese la zona de un lado a otro;
- proporción de la superficie situada a más de 1 km de un eje mayor;
- pendiente promedio de la zona;
- existencia y densidad de los ejes secundarios inervantes al interior de la zona;

⁵ Sin embargo, en el capítulo 12 relativo a los establecimientos de salud se experimenta un método de análisis de accesibilidad orientada.

⁶ por F. Demoraes, R. D'Ercole y P. Metzger.

⁷ La operación se realizó en dos etapas: subdivisión del Distrito en 14 grandes zonas correspondientes a otras tantas «cuencas viales» fácilmente delimitables con base en la red vial y en un Modelo Numérico de Terreno (MNT), y posteriormente recorte de la mayoría de grandes zonas después de un análisis más fino de las barreras físicas y de las discontinuidades.



Capítulo 2 - Accesibilidad de los espacios en el DMQ

- sinuosidad de los ejes inervantes;
- conexidad⁸ de la red de inervación.

Para cada zona se atribuyó un valor a cada variable considerando un rango desde 0 en el caso de la mejor situación a 4 en el caso de la peor. Estos valores se sumaron para luego repartirlos en 5 clases que corresponden a otros tantos grados de accesibilidad. El mapa 2-3, elaborado con base en esos datos, muestra el grado de accesibilidad, en período normal, de las 44 zonas delimitadas al interior del DMQ⁹.

Pese al interés que presenta este mapa en sí, se decidió afinar los resultados considerando de manera más sistemática la distancia en relación con los grandes ejes viales, lo que permitió obtener el mapa 2-4. Para tener en cuenta la distancia hasta los principales ejes se adoptó el siguiente procedimiento:

- delimitación de tres espacios: los situados a menos de 1 km de un eje principal, los ubicados a una distancia de 1 a 3 km de un eje principal o a al menos 500 m de un eje secundario y los

⁸ La conexidad de una red indica en qué medida es posible, partiendo de cualquier punto de un espacio, llegar a los otros puntos de él. Este criterio permite tener una idea de la proporción de vías sin salida.

⁹ Este mapa cubre un espacio más extenso que el Distrito Metropolitano: incorpora, en efecto, una parte del cantón Mejía, siendo el objetivo no recortar artificialmente zonas homogéneas desde el punto de vista de la accesibilidad.

localizados a más de 3 km de un eje principal y a más de 500 m de un eje secundario;

- cruce espacial de la zonificación establecida a partir de la distancia en relación con los ejes con el mapa del grado de accesibilidad de las 44 zonas (mapa 2-3), lo que desembocó en una división mucho más fina en 117 micro zonas;
- atribución del valor de accesibilidad de las 44 zonas básicas a las 117 micro zonas que las subdividen;
- modificación del valor de accesibilidad de las 117 zonas a fin de tomar en cuenta la distancia en relación con los ejes. Esta corrección siguió la lógica presentada en el cuadro 2-1;
- modificación de los valores de algunas micro zonas después de observarlas en un MNT (valores acrecentados o reducidos): en efecto, hubo que corregir ciertos resultados poco lógicos ligados a la existencia de limitaciones inducidas por barreras o discontinuidades físicas (ríos, quebradas, escarpaduras, etc.).

El mapa resultante presenta una zonificación del espacio metropolitano en siete grados de accesibilidad. Pese a los límites inherentes a la metodología empleada que lleva a rupturas a veces bruscas entre dos zonas contiguas, el mapa ofrece una buena visión del diferencial espacial de accesibilidad y por tanto de vulnerabilidad existente al interior del DMQ.



La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito

Cuadro 2-1: Valores atribuidos a las 117 microzonas en función de los valores atribuidos a las 44 zonas de base, modificadas según la distancia hasta los ejes viales

Valores atribuidos a las 44 zonas de base	Valores atribuidos a las microzonas		
	Microzonas situadas a menos de 1 km de un eje principal	Microzonas situadas a una distancia de entre 1 y 3 km de un eje principal o a menos de 500 m de un eje secundario	Microzonas situadas a más de 3 km de un eje principal o a más de 500 m de un eje secundario
1 (buena accesibilidad)	0	1	2
2 (accesibilidad bastante buena)	1	2	3
3 (accesibilidad medianamente buena)	2	3	4
4 (accesibilidad bastante limitada)	3	4	5
5 (accesibilidad limitada)	4	5	6

4. Las disparidades de accesibilidad al interior del DMQ

El mapa 2-4 completado con el cuadro 2-2 muestra importantes disparidades al interior del DMQ en materia de accesibilidad. Los espacios de limitada o muy limitada accesibilidad predominan ampliamente (cerca del 80% de la superficie del distrito con grados 4, 5 y 6). La mejor accesibilidad (grado 0) corresponde *grasso modo* a la ciudad de Quito.

La accesibilidad es globalmente mejor en la mitad oriental del distrito, es decir en la ciudad de Quito,

los valles y, de manera general, allí donde la topografía es relativamente poco limitante y la red vial diversificada y de buena calidad. El acceso a los sectores rurales situados al oeste o al norte de la aglomeración es, en cambio, en su conjunto, difícil, salvo en el corredor por donde pasa la carretera Calacalí/La Independencia. Estos sectores presentan una topografía accidentada y disponen de un restringido número de accesos, no siempre asfaltados, generalmente muy sinuosos. Algunas vías secundarias permiten un mínimo de accesibilidad, rápidamente limitada en cuanto se está a algunos centenares de



Cuadro 2-2: Valores de accesibilidad en relación con la superficie del DMQ

Grado de accesibilidad	% de la superficie del DMQ
0 (mejor accesibilidad)	1,5
1	3,7
2	6,2
3	9,2
4	7,5
5	19,9
6 (peor accesibilidad)	52

metros del eje (caso en especial de las vías Puéllaro/San José de Minas, Nanegalito/Selva Alegre, al norte, y de aquellas que atraviesan los macizos occidentales como la que pasa por Nono).

El norte de la ciudad de Quito y los valles orientales son en conjunto fácilmente accesibles en la medida en que están cubiertos por una cantidad relativamente elevada de ejes de gran circulación asfaltados y la red vial está allí bastante desarrollada. Sin embargo, los espacios situados en los anillos formados por los ejes mayores presentan un grado de accesibilidad decreciente a medida que uno se aleja de los ejes, salvo allí donde la red secundaria es satisfactoria. Se trata del sector Ilaló, al igual que del norte de las parroquias de Puembo y Tababela y una parte de las parroquias de Llano Chico, Zámbiza y Nayón. El

sector correspondiente a estas 3 parroquias se asemeja a un callejón sin salida al que llegan tres ejes asfaltados, entre los que además no existen conexiones dada la presencia de quebradas profundas.

En la periferia de los espacios globalmente mejor cubiertos, los grados de accesibilidad disminuyen rápidamente, ya sea al oeste de la ciudad, en las faldas del Pichincha, o al este de la vía perimetral metropolitana El Quinche/Pifo/Sangolquí. La accesibilidad se torna a veces definitivamente mala, en particular al este de las parroquias de El Quinche, Checa, Yaruquí y Pifo, salvo a lo largo del eje Pifo/ Papallacta.

Conclusión

De este capítulo se destacan tres conclusiones importantes. Por una parte, la accesibilidad es una noción fundamental en cuanto se reflexiona en términos de vulnerabilidad y de riesgos a nivel de un sistema territorial como el DMQ. Tal accesibilidad puede verse muy comprometida al momento de las crisis, haciendo a los sectores en cuestión particularmente vulnerables, pero el Distrito en su conjunto puede ser afectado igualmente si el acceso a un elemento esencial para su funcionamiento es entorpecido o imposibilitado. Sin embargo, si bien los problemas de accesibilidad cobran amplitud a veces dramática en período de crisis, son ya observables en período normal y una crisis engendrada por la manifestación de fenómenos destructores no puede sino agravarlos. Es por tanto útil apreciar



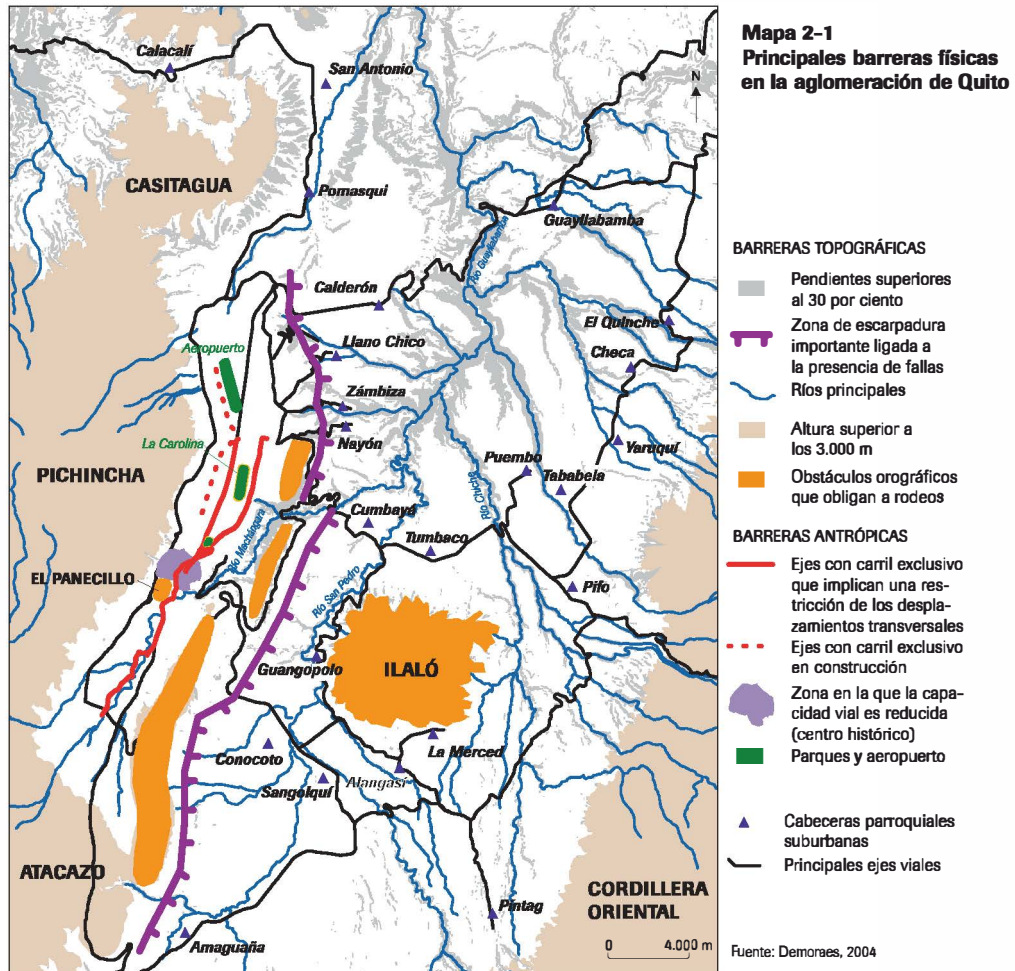
La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito

la vulnerabilidad ligada a la accesibilidad en período normal.

La segunda conclusión está vinculada a las características particulares del DMQ que hacen que los obstáculos a la movilidad, tanto topográficos como antrópicos, sean particularmente numerosos y se habla solamente de los obstáculos físicos, pues aquellos ligados a los aspectos culturales, socioeconómicos y organizacionales no fueron considerados. Estos obstáculos habituales a la movilidad pueden ser mayores y más numerosos en período de crisis lo que hace presagiar importantes problemas de accesibilidad en estas circunstancias.

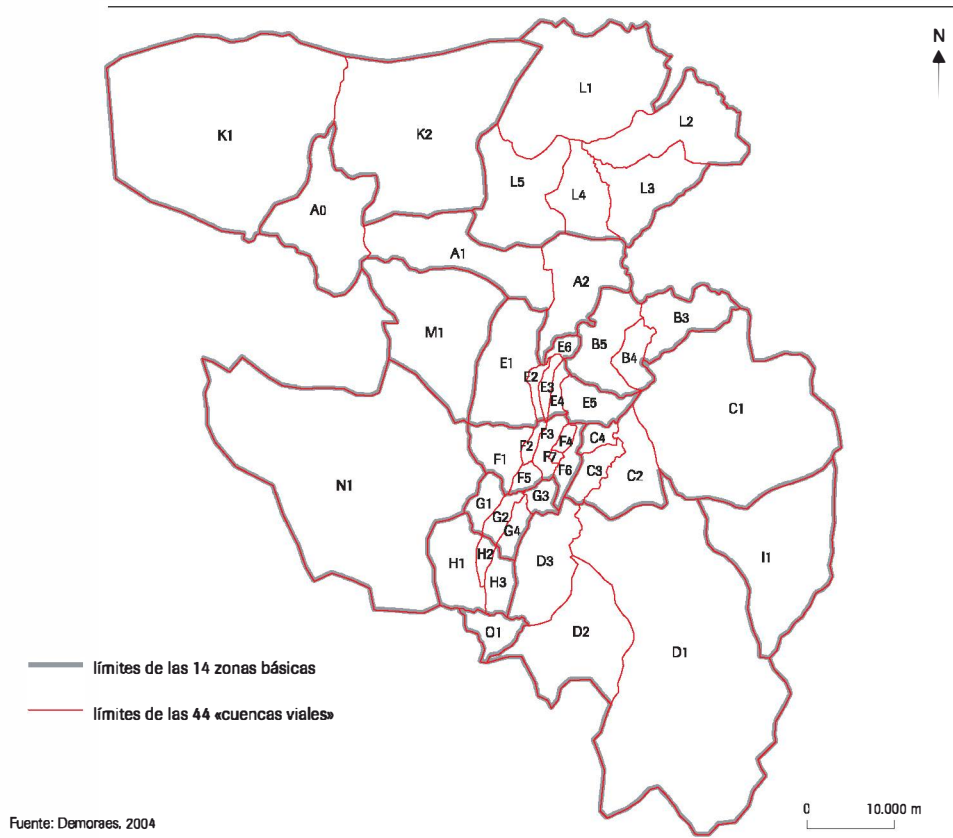
En fin, la zonificación de la accesibilidad al interior del DMQ permitió evidenciar no solo la extensión

de los espacios poco accesibles, sino al mismo tiempo una heterogeneidad espacial bastante grande. Los espacios más fácilmente accesibles corresponden lógicamente a la ciudad de Quito, a una parte de los valles orientales y a los sectores cercanos a los ejes mayores. La vulnerabilidad espacial vinculada a la accesibilidad es globalmente elevada, e incluso muy elevada en especial en los espacios rurales situados en las márgenes del Distrito. Los resultados que ofrece la cartografía de la accesibilidad no son sin embargo sino una conclusión parcial en la medida en que la vulnerabilidad proveniente de la accesibilidad, para ser apreciada plenamente, debe ser relacionada con la presencia de los elementos esenciales del DMQ, lo que se realiza en el capítulo 4 de este libro.





Mapa 2-2: Delimitación y denominación de 44 zonas en el DMQ, correspondientes a «cuencas viales»



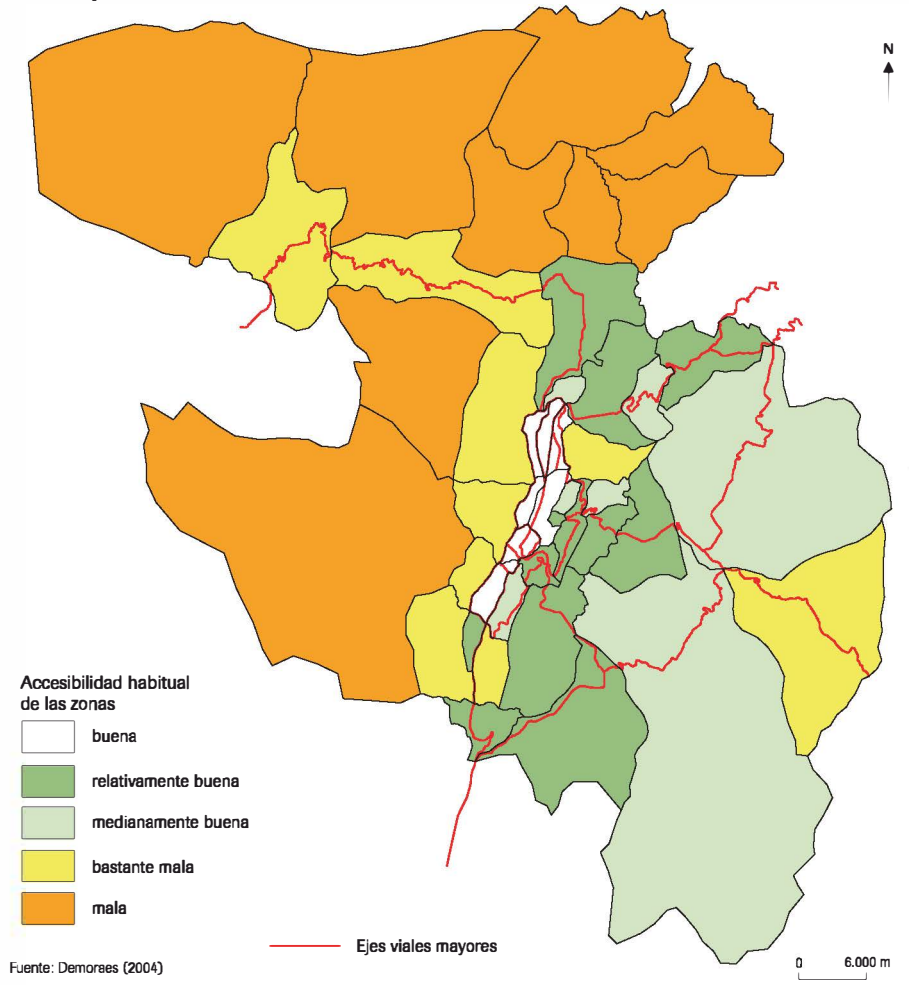


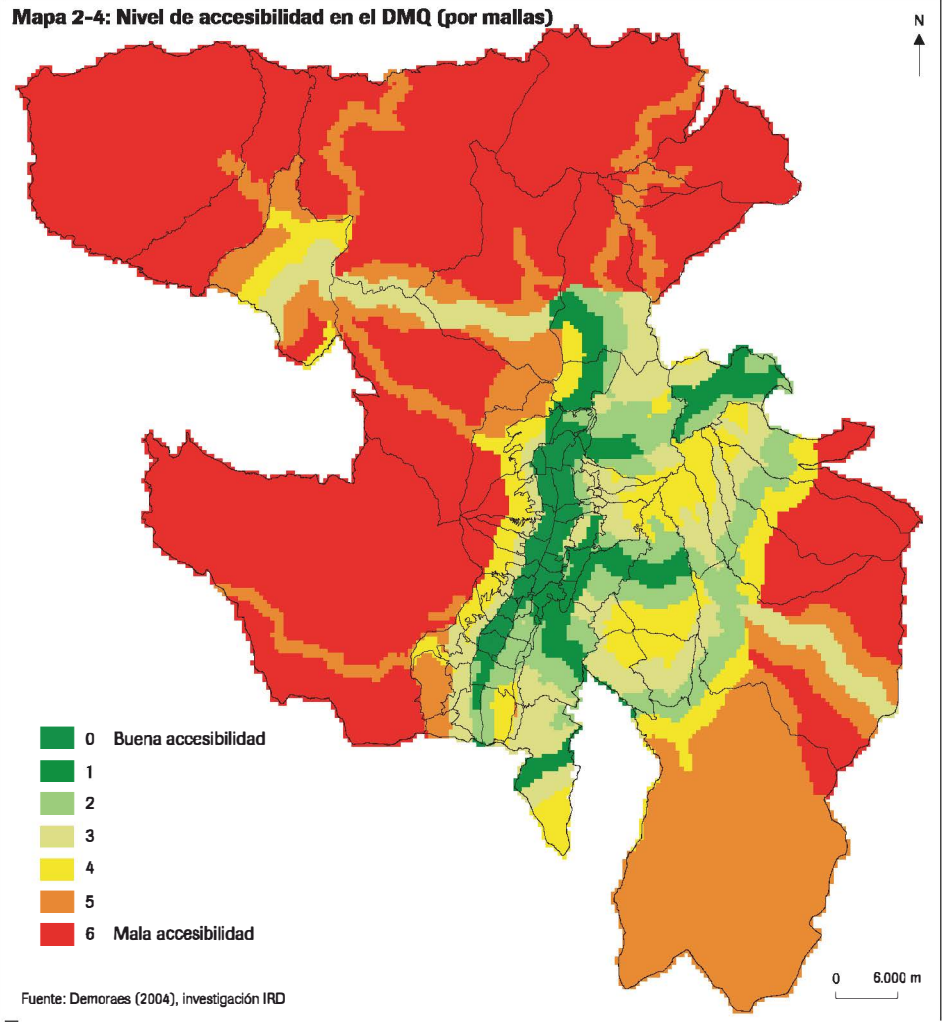
Leyenda mapa 2-2

CLAVE	DENOMINACIÓN	CLAVE	DENOMINACIÓN
A0	Nanegalito	F7	Barrio La Paz-Guápulo
A1	Calacalí	G1	Chilibulo-La Mena
A2	San Antonio de Pichincha-Pomasqui	G2	Magdalena-San Bartolo-Solanda
B3	Guayllabamba	G3	Puengasí
B4	Cañón del río Guayllabamba-Oyacoto	G4	Chimbacalle-La Ferroviaria-La Argelia
B5	Calderón-Carapungo	H1	Chillogallo-La Ecuatoriana-Guamaní
C1	El Quinche-Yaruquí-Pifo-Puembo	H2	Fundeporte-Quitumbe
C2	Tumbaco	H3	El Beaterio-Turubamba
C3	Cumbayá-Lumbisí	I1	Acceso desde la Amazonía-Mulauco-La Virginia
C4	Altos de Cumbayá (urbanización Miravalle)	K1	Pacto-Gualea
D1	Píntag-Alangasí-La Merced-Guangopolo	K2	Nanegal
D2	Amaguaña-Sangolquí	L1	San José de Minas
D3	San Rafael-Conocoto	L2	Chávezpamba-Atahualpa
E1	El Condado-Cochapamba	L3	Puéllaro
E2	Cotacollao-La Concepción	L4	Tanlagua
E3	Ponceanó-Aeropuerto	L5	Pululahua-San José de Nieves
E4	El Inca-Kennedy - Cristiania	M1	Nono
E5	Llano Chico-Zámbiza-Nayón	N1	Lloa
E6	Carcelén	O1	Cutuglahua - Tambillo
F1	Colinas de Pichincha-El Armero-San Juan-La Libertad		
F2	Belisario Quevedo-Rumipamba		
F3	Jipijapa-Iñaquito-Mariscal Sucre		
F4	Batán Alto-Bellavista-Parque Metropolitano		
F5	Panecillo-CHQ-El Ejido		
F6	Nueva Oriental entre Los Granados y la autopista Rumiñahui		



Mapa 2-3: Accesibilidad habitual de las 44 «cuencas viales» delimitadas en el DMQ











5 – Promotion et vulgarisation de la géomatique

Cet axe réunit deux références (un article dans une revue de promotion des outils géomatiques libres et un poster).

La première référence (**Réf. 14**) reflète ma participation au projet gvSIG, logiciel SIG libre et gratuit initialement développé par la *Generalitat Valenciana*. Elle correspond au bilan de la première journée des utilisateurs francophones de ce logiciel que j'ai organisée à l'Université Rennes 2 en juillet 2011. Ce document comporte une réflexion sur la pratique d'outils SIG libres dans l'enseignement supérieur et témoigne de l'usage de gvSIG dans l'espace francophone en 2011.

La deuxième référence (**Réf. 15**) renvoie à un support de vulgarisation des outils SIG. Il s'agit d'une affiche préparée dans le cadre d'une exposition destinée au grand public tenue au Musée de la Ville à Quito fin 2006 et début 2007, et qui s'intitulait « *El damero a vuelo de pájaro* » (littéralement, le plan en damier à vol d'oiseau).





5.1 – Promotion de la pratique d’outils SIG libres dans l’enseignement supérieur et témoignage de leur usage dans l’espace francophone

Réf. 14 - Y. BAUDOIN, F. DEMORAES (2011). - *Bilan de la première journée des utilisateurs francophones de gvSIG: 1er juillet 2011* - (article bilingue Français-Anglais) - Magazine Open Planet n°5, pp.58-60.





La participation en présentiel a été plutôt modeste (26 personnes présentes sur 3 inscrits), mais l'évènement ayant été retransmis en direct sur Internet, l'audience a été en réalité plus large. En effet, nous avons enregistré 245 connexions avec un pic à 10h35 (24 connexions en simultané). Les participants (présentiels) provenaient de cinq pays issus de plusieurs régions : de la Bretagne en majorité, mais aussi de Valencia, Lleida, Bourgogne, Région Centre, Vendée, Pays de la Loire, Port-au-Prince et enfin du Québec. Eventuellement, il serait également intéressant de dresser la provenance des participants connectés.

Le tout a débuté par une inauguration d'Olivier David (directeur du laboratoire ESO-Rennes) et Loïc Rivault, co-directeur du département de géographie de l'Université de Rennes 2, la parole a été donnée à Olivier Bedel (société Alkante). Son intervention a porté sur un exemple de mise en œuvre d'une application métier reposant sur la solution logicielle gvSIG : le SIG Transport Urbain du Ministère des Transports en Algérie. Yves Baudouin, du département de géographie de l'UQAM (Québec) a ensuite développé l'utilisation de gvSIG comme outil d'apprentissage au département de géographie de l'Université du Québec à Montréal. Après une pause café, Fabien Guerreiro (Institut Eduter, France) a exposé un témoignage intitulé : gvSIG, outil d'aide à la décision pour le pilotage de structures de l'enseignement et de la recherche (MAAPRAT).

L'après-midi, la délégation espagnole composée de Victoria Agazzi (responsable de la coordination des communautés - Association gvSIG) et Gabriel Carrión (Directeur de la stratégie - Association gvSIG), étant finalement arrivée (la connexion Valencia-Rennes a une fois de plus été épique!), nous avons eu droit à une présentation de l'association gvSIG et à un exposé sur l'évolution du projet gvSIG : portage politique

Small numbers attended to the event (26 people out of 30 registered participants). However the audience has been actually wider as the event was live web-broadcast. Indeed, we recorded 245 connections with a peak at 10:35 am (24 simultaneous connections). The participants who attended the event in Rennes came from five countries : from Brittany in majority and other regions of France (Burgundy, Région Centre, Vendée, Pays de la Loire), but also from Spain (Valencia, Lleida), Haïti (Port-au-Prince) and finally from Quebec. It would be also interesting to draw up the origin of the connected participants.

The meeting was inaugurated by Olivier David (director of the ESO-Rennes laboratory) and Loïc Rivault (director of the department of geography - University of Rennes 2). Second, the word was given to Olivier Bedel (Alkante company). His intervention related to an example of implementation of a business-specific application relying on the gvSIG solution: the Urban transport of the Ministry for Transport GIS in Algeria. Yves Baudouin, professor at the department of geography of the UQAM (Université du Québec à Montréal) then developed the use of gvSIG as a GIS tool for his classes. After a coffee break, Fabien

Guerreiro (Eduter Institute, France) accounted for his experience of gvSIG as a decision-making tool for organising teaching and research activities within the Ministry of Agriculture of France (MAAPRAT).

In the afternoon, the Spanish delegation made up of Victoria Agazzi (communities

manager - gvSIG Association) and Gabriel Carrión (Director of the strategy - gvSIG Association), having finally arrived (Valencia-Rennes connection once more was epic!), the association gvSIG was presented. Victoria Agazzi also developed a retrospective evolution of the governance





5 OPENPLANET

Université de Rennes / University of Rennes



et communautés. S'en est suivi un débat sur des questions de développements, sur des questions d'organisation des communautés et sur des thèmes pédagogiques.

Parmi les attentes qui ressortent de la communauté francophone, un besoin fort a été exprimé de doter gvSIG d'une fonctionnalité permettant de lire et écrire des fichiers au format MapInfo. A ce titre, il avait été envisagé que plusieurs institutions ayant ce besoin lancent un appel de fonds pour mutualiser le coût d'un tel développement. De même, un appel à candidatures avait été lancé pour l'élaboration d'un cahier des charges. Une demande formulée par Gabriel Carrión (directeur de la stratégie du projet gvSIG) avait également été relayée pour traduire en français un billet sur le blog de l'association gvSIG . L'idée a également été évoquée de mettre en place une liste de diffusion francophone.

Enfin, une rencontre des utilisateurs francophones en marge des prochaines journées internationales de gvSIG à Valence (Espagne) en décembre 2011 est prévue.

of the gvSIG project and the consolidation of the communities. Then started a debate about developments, about the organisation of the communities and about teaching topics. Among the expectations which arise from the French-speaking community, a critical need was expressed to improve the functionalities of gvSIG in order to make it possible to read and write MapInfo format files. For this reason, it has been considered that several institutions having this need, issue a call for tender in order to pool the cost of such a development. In the same way, a call for applications has been launched for preparing the related specifications. On his side, Gabriel Carrión called for applications to translate into French a text on the blog of gvSIG association. The idea was evoked to set up a French-speaking mailing list. Lastly, a meeting of the French-speaking users in margin of the next international conference of gvSIG which will be held in Valence (Spain) in December 2011, is envisaged.





5.2 – Affiches (exposition grand public)

Réf. 15 - DEMORAES F. (2006). *¿Cómo se concibe un mapa temático en un Sistema de Información Geográfico?*, Exposition « El damero a vuelo de pájaro », Museo de la Ciudad, Quito, déc. 2006 et janvier 2007.





¿Cómo se concibe un mapa temático en un Sistema de Información Geográfica?

Florent Demoraes

CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS LOCALIZADOS

1 - Adquisición de una foto aérea, una imagen satelital, un mapa topográfico o un plano catastral

> Foto aérea de Quito escaneada 1996 - IGM 1:25.000

> Imagen Landsat TM de Quito - 1989 - 30 metros por pixel

> Mapa topográfico escaneado de Ambato IGM 1:50.000

> Plano catastral escaneado de Quito DAC 1:1.000

2 - Geo-referenciación en base a puntos de control

El proceso de geo-referenciación:

- > Elección de una proyección
- > Colocación de puntos de control con coordenadas conocidas (levantamientos GPS o utilizando una capa ya geo-referenciada...) en lugares fácilmente reconocibles (cruce de vías, puente, edificio)
- > Rectificación en base a esos puntos

3 - Edición vectorial en base a la imagen geo-referenciada

Ejemplo de digitalización:

- > Creación de zonas (predios) con clave única en base a un plano catastral geo-referenciado
- > El conjunto de zonas conforma una colección de objetos geográficos que se llama "capa"
- > Verificación de la topología (zonas bien cerradas, sin traslape entre zonas, sin arcos dobles...)

5 - Constitución de una base de datos geográficos

El análisis espacial en un SIG

- > Para realizar ciertos mapas, se necesita ciertos tratamientos que se fundan en la localización de los objetos (disponibles solo en un SIG). Permiten obtener valores en los objetos deseados, cambiar de escala, realizar ciertos cálculos. Ejemplos:
 - empalme espacial (geo-agregación)
 - búsqueda del vecino más cercano
 - restricción por máscara (buffer)
 - interpolación
- Una vez realizados los tratamientos espaciales necesarios, se puede representar los valores en un mapa.

4 - Constitución de una tabla de valores asociada

Clave	Tipo de uso	Altura de construcción (m)	Barrío	Administración
01	urbano	25	Mercaderes	Centro Norte
02	baldo	0	Mercaderes	Centro Norte
16	urbano	15	Mercaderes	Centro Norte

Ejemplo de tabla de valores:

- > Se ingresa valores para cada objeto (predio) para cada variable
- > El enlace con los objetos se hace mediante la clave única.
- > Nota: Los datos pueden ser levantados en el campo o ser proporcionados por una institución (Estadística - INEC)

REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DE LOS DATOS

1 - El mapa: una herramienta de comunicación con sus reglas

¿Qué tipo de información debe proveer un mapa?

¿Dónde se localiza el fenómeno? ¿A qué fecha corresponde? ¿Qué fenómeno se presenta? ¿Cuál es la repartición del conjunto del fenómeno?

¿Cómo representar en un mapa los múltiples tipos de datos?

> Existen medios gráficos diferentes que se basan en la variación y/o combinación de signos básicos (punto, trazo, relleno). Se puede variar:

la forma $\blacksquare \blacktriangle \blacklozenge$ el tamaño $\blacktriangle \blacklozenge \blacktriangle$ el color $\blacksquare \blacktriangle \blacklozenge$ el valor $\blacksquare \blacktriangle \blacklozenge$ (gradación en un solo tono)

la orientación $\backslash \ /$ el granulado $\blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare$

Reglas de elección de símbolos adecuados en función de la implantación de los objetos geográficos y el tipo de datos a cartografiar

Implantación	Puntual	Lineal	Zonal
Tipos de datos y condiciones de uso			
Carácter cualitativo La simbología debe diferenciar a los individuos sin jerarquizarlos	Forma Orientación	Forma	Forma Orientación Color
Carácter ordenado La simbología debe permitir jerarquizar	Tamaño Valor Granulado	Tamaño Valor Granulado	Valor Granulado
Carácter cuantitativo La simbología debe expresar una relación numérica entre los fenómenos	Tamaño	Tamaño	Densidad de puntos Trama regular de puntos proporcionales Símbolos proporcionales (sobre los centroides) Anamorfosis 3D (volumen o mapa prismático)

Error común: no se puede representar con una gradación en un tono o con una gama de colores datos brutos en zonas (efectivos de población, número de casos de enfermedades...). Solo se puede representar con una gradación en un tono datos relativos (porcentaje, índice, tasa) una vez clasificados (agrupados en clases). Existen varios métodos de clasificación de los datos (umbrales naturales, cuantiles, progresión aritmética...).

3 - Ejemplos de mapas temáticos hechos con SIG

Tratamientos:

- > fusión, geo-agregación
- Símbolos gráficos:**
 - > 1 carácter ordenado (dato relativo: tasa de crecimiento) con gradación de 2 tonos
 - > 1 carácter cuantitativo (dato bruto: variación población) con círculos proporcionales

Tratamientos:

- > geo-agregación
- Símbolos gráficos:**
 - > 1 carácter cuantitativo (dato bruto: número de líneas) con líneas proporcionales

Tratamientos:

- > geo-agregación
- Símbolos gráficos:**
 - > 1 carácter cuantitativo (dato bruto: número de líneas) con líneas proporcionales

2 - Diseño de la información auxiliar

El mapa debe incluir:

- > 1 título preciso (Dónde, cuándo, qué)
- > 1 leyenda precisa (todo símbolo que figura en el mapa debe aparecer en la leyenda) y organizada
- > 1 escala (escala gráfica o numérica)
- > 1 orientación (rosa de los vientos)
- > Las fuentes de los datos, el autor del mapa y la fecha de elaboración
- > 1 cuadrícula de proyección



Definiciones

Sistema de información geográfico (SIG)

Sistema de gestión de bases de datos con herramientas específicas para el manejo de información espacial y sus propiedades (métricas, topológicas y atributivas)

Mapa base

Mapa generalmente geo-referenciado que contiene las características geográficas fundamentales de una zona y que sirve para ubicar los elementos existentes, como por ejemplo, los caminos, los límites administrativos y los asentamientos. Se utiliza para la digitalización o como referencia cuando se visualiza la información de un mapa temático.

Geo-referenciación

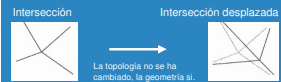
Proceso por el cual se establece la relación entre un sistema de datos de una imagen (filas y columnas de píxeles) y los datos del mundo real (por ejemplo, en grados de longitud/latitud). Permite asegurar la validez de la ubicación de los elementos en el espacio con el fin de superponer varias capas y también realizar mediciones métricas como la distancia, la superficie... El proceso de geo-referenciación se realiza utilizando puntos de control.

Digitalización

Procedimiento mediante el cual se traza sobre pantalla vectores (puntos, líneas, zonas) que esquematizan los elementos gráficos de un documento escaneado (vías, ríos, centros poblados de un mapa topográfico, foto aérea...).

Topología

La topología hace referencia al posicionamiento « relativo » de los objetos entre sí, mientras la geometría se funda en su posicionamiento « absoluto » en un referencial dado. Engloba en particular las nociones de adyacencia y conectividad.



En un SIG esta noción es fundamental ya que permite realizar tratamientos. Ej. Para calcular el camino más corto en una red, se requiere que la red sea conexa (tramos unidos)

Semiología gráfica

La semiología gráfica es el conjunto de reglas que permiten la utilización de un sistema gráfico de signos para la transmisión de una información. La cartografía es el resultado.

Leyenda

Listado ordenado y estructurado que asocia los símbolos con su valor para las variables representadas en un mapa.

Proyección

Sistema utilizado para transformar la superficie del globo en un plano.

Clasificación

Se denomina clasificación a la división en clases (o en grupo de valores) de una serie estadística para su representación cartográfica.

Bibliografía

Jorge Franco (2005) - Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía. Cesar Burga Barrera (2004) - Instrumentos de análisis espacial aplicados a la gestión del medio natural - Cartografía básica y temática. Naciones Unidas (2000) - Manual de sistemas de información geográfica y cartografía digital. Michèle Bégin, Denise Pumain (2000). La représentation des données géographiques, Statistiques et cartographie.

Ejemplos de programa SIG

SavGIS, MapInfo, ArcGIS





6 – Documentation de solutions logicielles

Cet axe comporte un extrait du manuel de l'utilisateur du logiciel gratuit SavGIS dont j'ai participé au développement (voir volume 2, section 5.4.2) et que j'utilise depuis une quinzaine d'années dans le cadre de mes recherches.

Réf. 16 - M. SOURIS, F. DEMORAES, T. SERRANO, E. HABERT (2007). – *Manuel de référence du système d'information géographique SavGIS, 870p (extrait).*





Systeme d'information géographique SavGIS

1. SavGIS

Présentation générale

www.savgis.org



SavGIS



Conception et architecture : Marc Souris

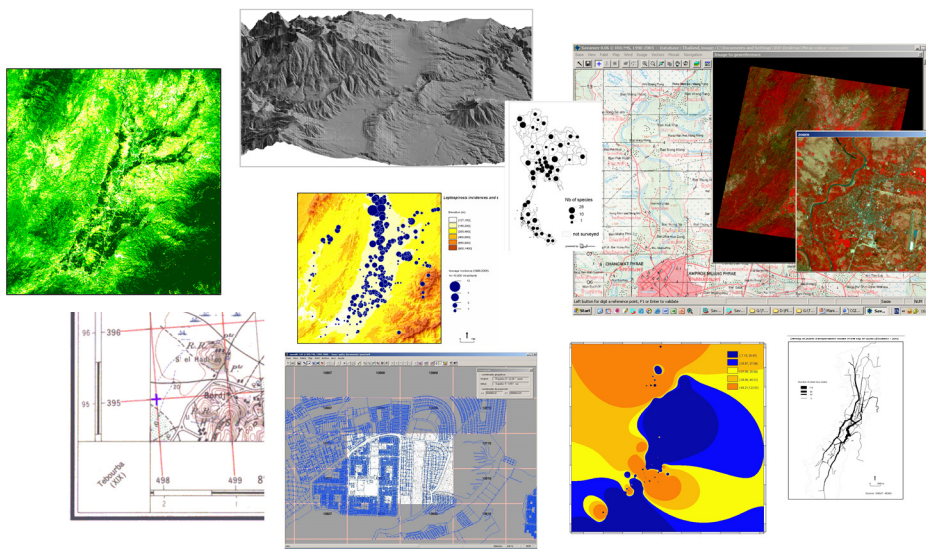
Algorithmique et développement : Marc Souris

Programmation : Marc Souris, Michel Lepage, Dominique Rémy, Françoise Pelletier

Tests et débogage : José Tupiza, Bernard Lortic, Florent Demoraes

Manuel de référence : Marc Souris, Florent Demoraes, Tania Serrano, Elisabeth Habert, Patricia Tardy

Documentation et manuels réalisés avec le soutien de la Direction des Systèmes d'Information de l'IRD (DSI-SPIRALES)





Présentation générale

Table des matières

Le système d’information géographique SavGIS : contexte général	5	1
Un logiciel complet pour la gestion de l’environnement et l’analyse des territoires	5	
Un logiciel SIG gratuit, accessible en ligne et disponible en trois langues (français, espagnol, anglais)	5	
SavGIS : un outil de gestion, d’analyse et de représentation de l’espace	6	
De la constitution d’une base de données géographiques au produit cartographique	6	
Un système complet de gestion de bases de données localisées, multi-utilisateurs	7	
Un logiciel SIG fonctionnant avec une base de données locale ou distante	7	
Une démarche exploratoire	9	
L’intégration des images géoréférencées dans les bases de données	9	
Un SIG compatible avec d’autres logiciels	9	
Un SIG à vocation scientifique	9	
SavGIS : un outil offrant de nombreuses fonctions d’interrogation, d’analyse et de cartographie	11	
Projections géographiques et fenêtre d’étude	11	
Gestion et interrogation de données	11	
Calculs sur les attributs descriptifs	11	
Cartographie automatique interactive	12	
Exportation et impression	12	
Statistiques descriptive et spatiale	12	
Union et agrégation géographiques	15	



SavGIS

Masques et distances	15
Réseaux et recherche opérationnelle	15
Proximité et interpolation : les modèles numériques	16
Changement de type d'objet	16
Télédétection et imagerie numérique	16
Calculs métriques interactifs	16
Tirage au sort et préparation d'enquêtes	17
Modélisation multi-agent spatialisée	17
GPS et suivi en temps réel	17

SavGIS : un logiciel conçu selon une architecture modulaire **18**

Les quatre modules principaux	18
<i>Savamer</i> : géoréférencement par saisie d'amers (images et fichiers vectoriels)	
<i>Savedit</i> : saisie et édition vectorielle	
<i>Savateca</i> : administration de base de données SIG	
<i>Savane</i> : analyse et cartographie	
Les modules et applications supplémentaires	23



Le système d'information géographique *SavGIS* : contexte général

Un logiciel complet pour la gestion de l'environnement et l'analyse des territoires

1

SavGIS, système d'information géographique, est un logiciel complet pour la gestion de l'environnement et l'analyse de territoires. Son objet est de grouper, gérer, analyser, cartographier des données à référence spatiale de diverses origines, comme des données d'enquêtes, des recensements, des cartes topographiques, des réseaux, des images satellitaires, des photographies aériennes, des modèles numériques de terrain. Il est issu de la recherche publique en géomatique et est développé depuis 1984 par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) pour répondre aux besoins des équipes de chercheurs de l'Institut et de leurs partenaires. Il est utilisé dans de nombreux domaines comme la gestion et l'aménagement du territoire, la planification urbaine, l'évaluation des risques naturels et sanitaires, l'épidémiologie et l'étude des relations santé-environnement, la gestion des ressources naturelles, l'archéologie.

Un logiciel gratuit, accessible en ligne, et disponible en trois langues (français, espagnol, anglais)

Le développement du logiciel *SavGIS* a pour objectif de proposer un logiciel SIG complet, gratuit, et facilement accessible aux communautés scientifiques du Nord et du Sud, aux universitaires, aux étudiants, aux enseignants, aux gestionnaires des collectivités territoriales ou aux professionnels de l'aménagement du territoire. *SavGIS* est disponible en trois langues (français, espagnol, anglais). Le site <http://www.savgis.org> fournit également des outils pédagogiques et des exemples permettant la prise en main et l'apprentissage des fonctions d'analyse disponibles dans les SIG.

Le développement du logiciel *SavGIS* a également pour objectif de fournir un environnement permettant le développement de nouvelles idées et de nouveaux concepts dans le domaine de la géomatique et de l'analyse de données spatiales. *SavGIS* est compatible avec d'autres produits commerciaux (ArcGIS, MS Access, Adobe Illustrator...). Une petite équipe travaille au développement, à la maintenance, et à la valorisation du logiciel.

5

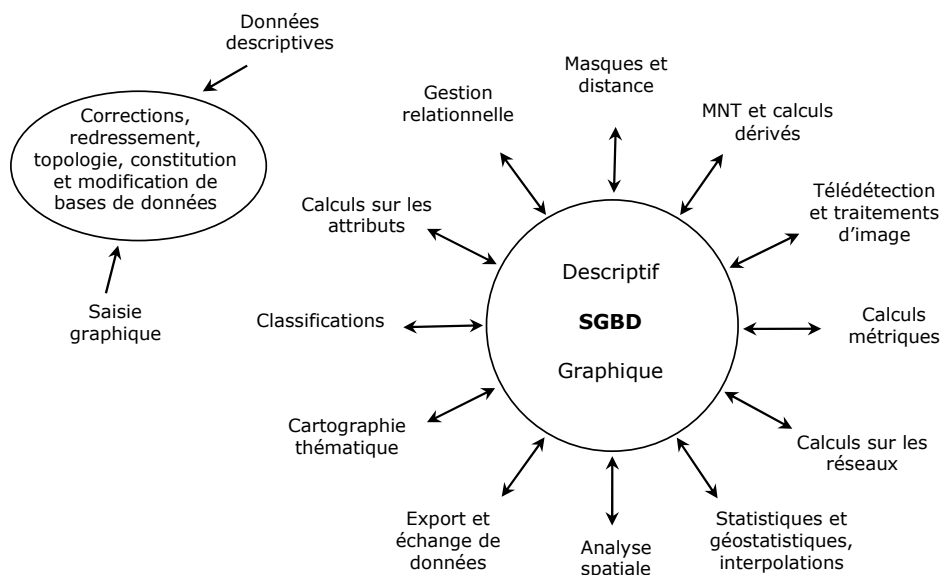


SavGIS

SavGIS : un outil de gestion, d'analyse et de représentation de l'espace

De la constitution d'une base de données géographiques au produit cartographique

SavGIS est une solution logicielle complète permettant la saisie graphique (digitalisation), le redressement d'images, la constitution et la gestion de bases de données relationnelles localisées, l'analyse et le traitement de l'information géographique, et la cartographie thématique. SavGIS permet ainsi de réaliser l'ensemble de la chaîne de traitements, de la conception de l'information géographique au produit cartographique.





Présentation générale

Un système complet de gestion de bases de données localisées, multi-utilisateurs

Le logiciel *SavGIS* permet la création, la gestion et l'exploitation d'une base de données localisées qui regroupe et centralise l'ensemble de l'information. Il est construit sur des bases théoriques provenant des bases de données relationnelles étendues à la localisation. Ce fonctionnement présente plusieurs avantages :

1

- ◆ Le système assure la pérennité des bases de données. En effet, la centralisation évite de perdre des fichiers au fil du temps, d'autant que l'utilisateur n'a pas accès facilement via l'explorateur Windows aux fichiers de la base qui ne peut être modifiée qu'à l'aide du module d'administration (*Savateca*, voir plus loin).
- ◆ La centralisation des données implique qu'un administrateur de la base se charge du contrôle de qualité des données à intégrer. *SavGIS* gère l'ensemble des contraintes d'intégrité, de manière à assurer une qualité optimale aux bases de données. Cette tâche chronophage est souvent négligée avec l'emploi de certains logiciels, malgré son extrême importance.
- ◆ Le système *SavGIS* est multi-utilisateur : il permet à plusieurs utilisateurs de partager l'exploitation d'une même base de données simultanément, sans leur permettre de la modifier. Cette gestion évite de dupliquer inutilement les bases de données et garantit leur intégrité.
- ◆ L'utilisateur peut ouvrir directement ses cartes dans le module *Savane* sans avoir à spécifier à chaque fois les chemins d'accès aux données.

L'utilisateur peut également intégrer temporairement des bases de données externes (MS Access, tableaux Excel, Shapefile) afin de les exploiter temporairement dans le module *Savane*.

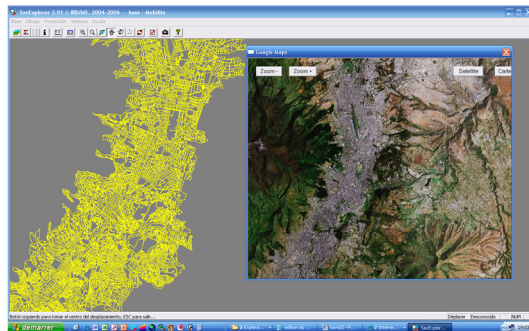
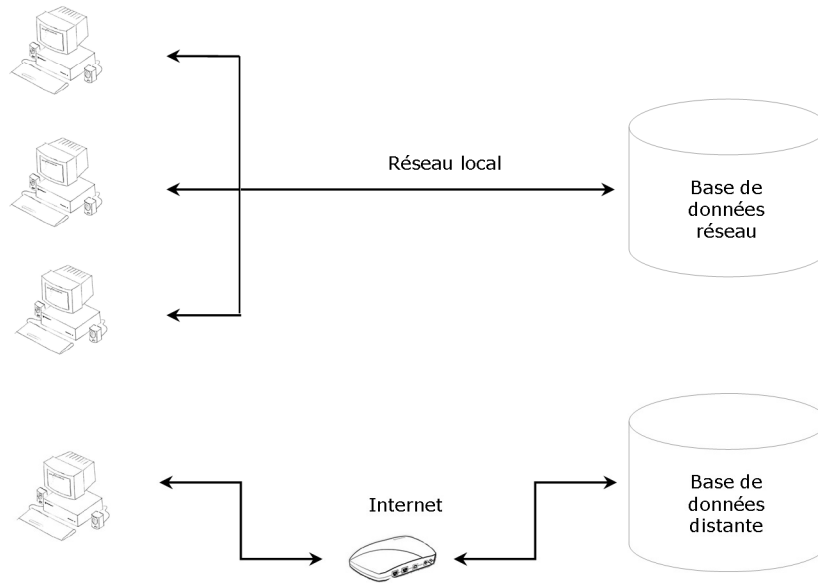
Un logiciel SIG fonctionnant avec une base de données locale ou distante

Le logiciel *SavGIS* fonctionne avec une base de données locale ou accessible à distance par Internet. La base de données peut se trouver sur un ordinateur personnel, sur le serveur d'un réseau local, ou encore sur un serveur accessible via une connexion Internet. Cette option est particulièrement utile pour partager des données ou assurer l'actualisation de bases de données utilisées par un grand nombre d'utilisateurs. Quelques bases de démonstration peuvent être téléchargées directement sur le site www.savgis.org. D'autres bases d'exemple (Afrique, Amérique Latine) sont installées en local lors de l'installation du logiciel.

7



SavGIS



Une interface Google Maps

Le logiciel *SavGIS* permet de visualiser un fond issu de *Google Maps* (image satellitale ou carte) correspondant à la fenêtre géographique utilisée. Cette option est utile pour se repérer lorsque l'on ne dispose pas de fond cartographique pour un secteur donné. Il faut bien sûr être connecté à Internet.



Présentation générale

Une démarche exploratoire

Pour répondre à une question avec *SavGIS*, il faut construire une requête, c'est-à-dire un enchaînement d'opérations simples permettant d'interroger la base de données. Une fois mise au point, une requête peut être archivée sous forme de macro-commande. Cette succession d'opération – la sortie de l'une servant d'entrée à la suivante – rend les possibilités d'exploitation des données presque infinies. L'interactivité graphique est permanente : à tout moment, l'utilisateur peut visualiser le résultat d'une opération sous forme de carte. L'exploration peut également porter sur les caractéristiques statistiques d'un ensemble d'objets.

1

L'intégration des images géoréférencées dans les bases de données

Les données de type image (comme les images satellitaires, les photographies aériennes, les cartes topographiques scannées, etc.) sont intégrées dans les bases de données au même titre que les autres types de données (zones, lignes, points, non localisées). Un module du système (module *Savamer*, voir plus loin) permet de géoréférencer, mosaïquer et intégrer les images dans une base de données, et des outils spécifiques de traitement d'image permettent d'analyser les images géoréférencées de façon intégrée dans *SavGIS*.

Un SIG compatible avec d'autres logiciels

La mise en place d'une base de données géographiques devient rapidement l'investissement majeur d'un projet en géomatique, au-delà du logiciel utilisé pour la gérer ou l'exploiter. *SavGIS* assure une compatibilité des bases de données géographiques avec les standards du marché, grâce à ses possibilités d'importation et d'exportation (Shapefile, GeoTiff, MS Access, fichiers du SRTM, EPS, etc...).

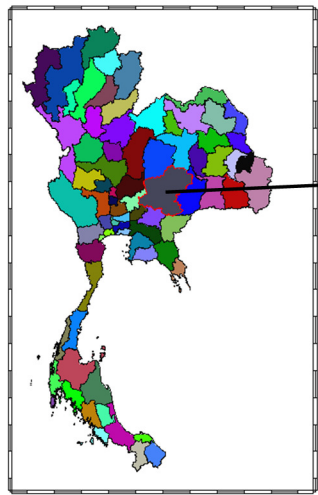
Un SIG à vocation scientifique

Issu de la recherche scientifique publique française, *SavGIS* répond aux besoins de multiples applications tant scientifiques qu'opérationnelles. Expression de la recherche méthodologique sur les systèmes d'information géographique, il est en permanence ouvert au développement de nouvelles méthodes et fonctionnalités.

9

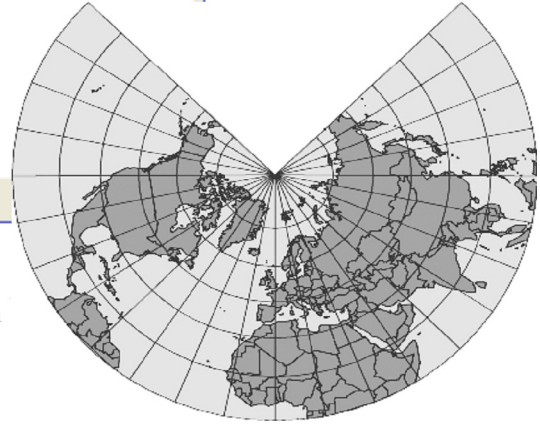


SavGIS



Interrogation dans un cadre

- Thailand
- Changwat (MI)
- Id (MI) : 30
- Name : Nakhon Ratchasim
- Pop 2536 : 2431500
- Pop 2537 : 2463870
- Pop 2538 : 2467831
- Pop 2539 : 2494516
- Pop 2540 : 2510839
- Pop 2541 : 2534287
- Pop 2542 : 2540662
- Pop 2543 : 2546311



Beta
 $0 < \alpha$
 $0 < \beta$

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}, \quad 0 < x < 1$$

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}, \quad \sigma^2 = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2}$$

Chi-square
 $\chi^2(r)$
 $r = 1, 2, \dots$

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(r/2)2^{r/2}} x^{r/2-1} e^{-x/2}, \quad 0 \leq x < \infty$$

$$M(t) = \frac{1}{1 - t/2}, \quad t < \frac{1}{2}$$

Exponential
 $0 < \theta$

Gamma
 $0 < \alpha$
 $0 < \theta$

Normal
 $N(\mu, \sigma^2)$
 $-\infty < \mu < \infty$
 $0 < \sigma$

Uniform
 $U(a, b)$
 $-\infty < a < b < \infty$

Origine

Sélection

Exclusion

Formule de calcul pour le nouvel attribut

Attributs de la relation:

- 1. Cle_INE_Cnz
- 2. vivanda
- 3. poblacion
- 4. pop_masculino
- 5. pop_femenino
- 6. ocup_pers_presen
- 7. ocup_pers_ausent
- 8. viv_detenupada
- 9. viv_en_construc
- 10. agua_red_publica
- 11. viv_propia
- 12. viv_arrendada
- 13. viv_antecesis
- 14. viv_gatula

Formule: `[agua_red_publica]*100/[vivanda]`



SavGIS : un outil offrant de nombreuses fonctions d'interrogation, d'analyse et de cartographie

Projections géographiques et fenêtre d'étude

SavGIS conserve la localisation des objets en coordonnées géographiques (longitude, latitude) dans un système géodésique (datum) donné. Il est possible de choisir une projection (UTM, Lambert, Mercator...) pour traiter les données et représenter les résultats cartographiques. *SavGIS* permet également de changer de projection (re-projection à la volée).

1

La fenêtre d'étude est l'espace sur lequel porte les requêtes. Elle peut être définie de plusieurs façons, en coordonnées, directement sur l'écran, ou en fonction des objets d'une collection de la base, etc.

Gestion et interrogation de données

Les données sont structurées et groupées, selon le principe de la gestion relationnelle, en différentes tables. Le système de gestion de base de données, noyau de *SavGIS*, gère tous les objets et permet de les mettre en relation les uns avec les autres quelque soit leur table d'origine ou leur type d'implantation spatiale (zone, ligne, point, pixel). Il contient toutes les opérations classiques des SGBD relationnels (restriction, projection, union, jointure, etc.), et les étend à la localisation (restriction géographique, union géographique, jointures géographiques, agrégation géographiques, appartenances géographiques, etc.).

On peut également interroger directement les données sur l'écran : un clic de souris sur un objet permet d'obtenir la liste de ses valeurs descriptives.

Calculs sur les attributs descriptifs

Il est très facile de créer de nouveaux attributs à partir des attributs existants dans la base de données. On peut ainsi effectuer des calculs numériques, des calculs logiques, des calculs statistiques, des agrégations, combinaisons, regroupements, des calculs de distances, de superficie, de proximité, etc.

De même, de nombreux traitements permettent de créer de nouveaux attributs par classification : par intervalle, par quantiles, par regroupement, en utilisant une distance, etc. Des procédures de classifications utilisant des notions topologiques et



SavGIS

métriques (voisinages, connexité, distances) permettent de regrouper les objets en fonction de leur localisation relative.

Cartographie automatique interactive

SavGIS offre de nombreuses possibilités pour cartographier les objets géographiques d'une base de données, en fonction de la valeur d'un ou plusieurs attributs (symboles, lignes, trames, couleurs). Les choix sont interactifs et le résultat est visualisé ou modifié directement sur l'écran. Il est également possible d'habiller la carte en y insérant des éléments de dessin, des symboles, en y plaçant du texte, comme dans un logiciel de dessin.

Exportation et impression

SavGIS permet l'exportation des données de la base dans des formats standard. Les données graphiques et descriptives de la base de données, vecteurs comme raster, peuvent être exportées vers d'autres SIG. La possibilité d'exporter des cartes complètes est également importante pour l'édition : importées dans les programmes de dessin spécialisés, les cartes peuvent être retouchées et préparées pour une impression directe en quadrichromie.

Statistiques descriptive et spatiale

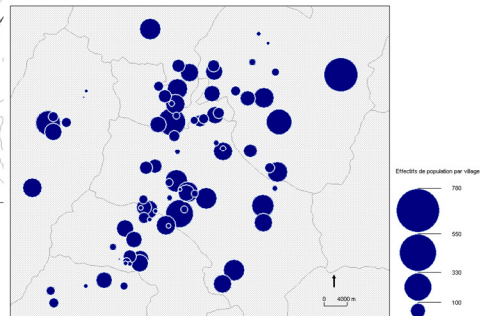
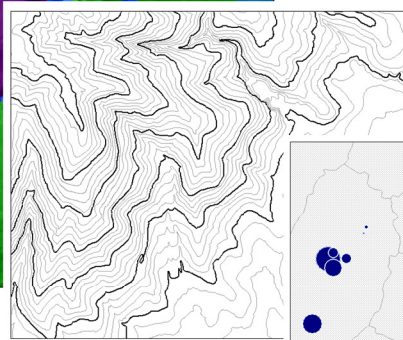
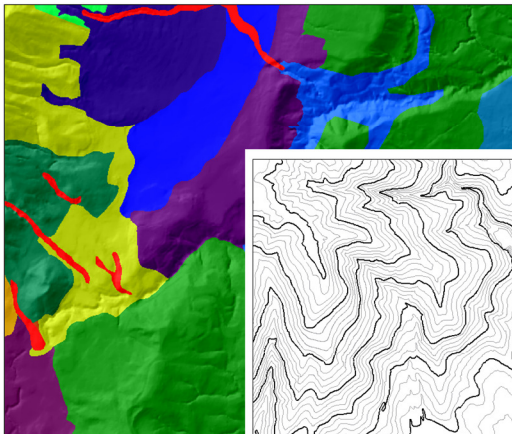
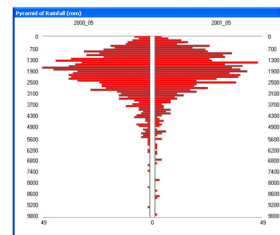
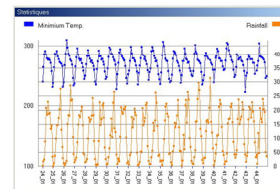
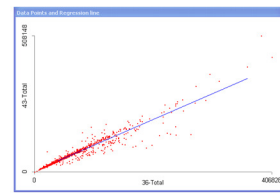
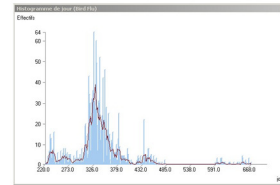
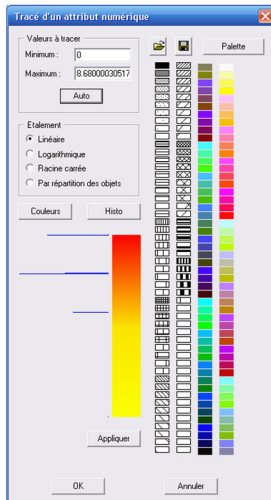
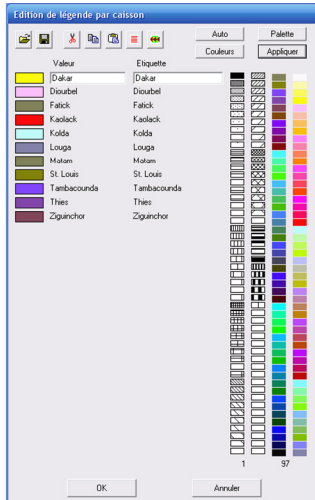
Tous les attributs descriptifs peuvent être analysés grâce à des méthodes statistiques traditionnelles (moyenne, variance, écart-type...), des moments par groupes, des histogrammes, des nuages de points, des histogrammes bi-dimensionnels, des corrélations, des régressions, des comparaisons de distributions, etc. Il est possible de réaliser ces études statistiques sur un espace particulier défini à l'avance par un masque.

La statistique spatiale et la géostatistique sont également présentes dans *SavGIS* grâce au calcul de variogrammes, aux indices de proximité ou de regroupement, aux procédures d'interpolation. De nombreuses fonctions utilisent une approche stochastique pour l'évaluation des résultats statistiques (par simulation de Monte-Carlo), afin de prendre en compte les effets de bords difficiles à modéliser.

Pour des traitements non disponibles dans le logiciel, *SavGIS* permet toujours d'exporter les données vers un logiciel statistique spécialisé et d'en importer les résultats, si nécessaire.



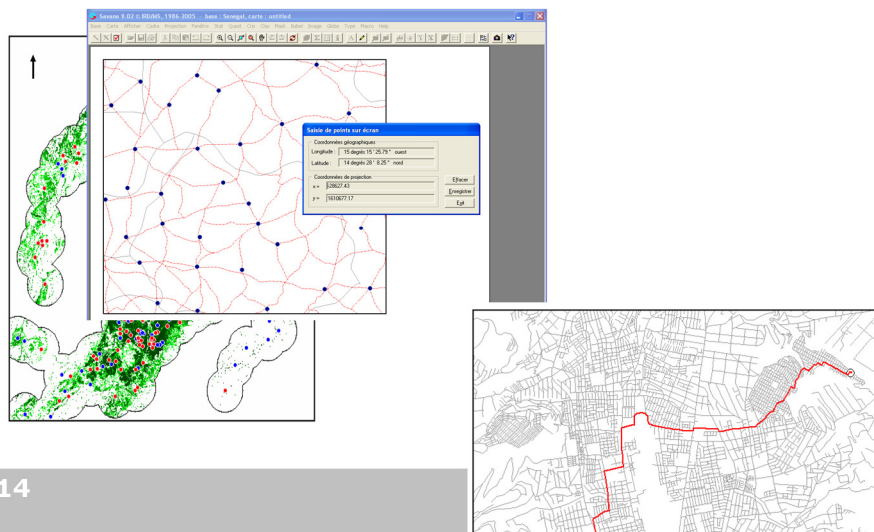
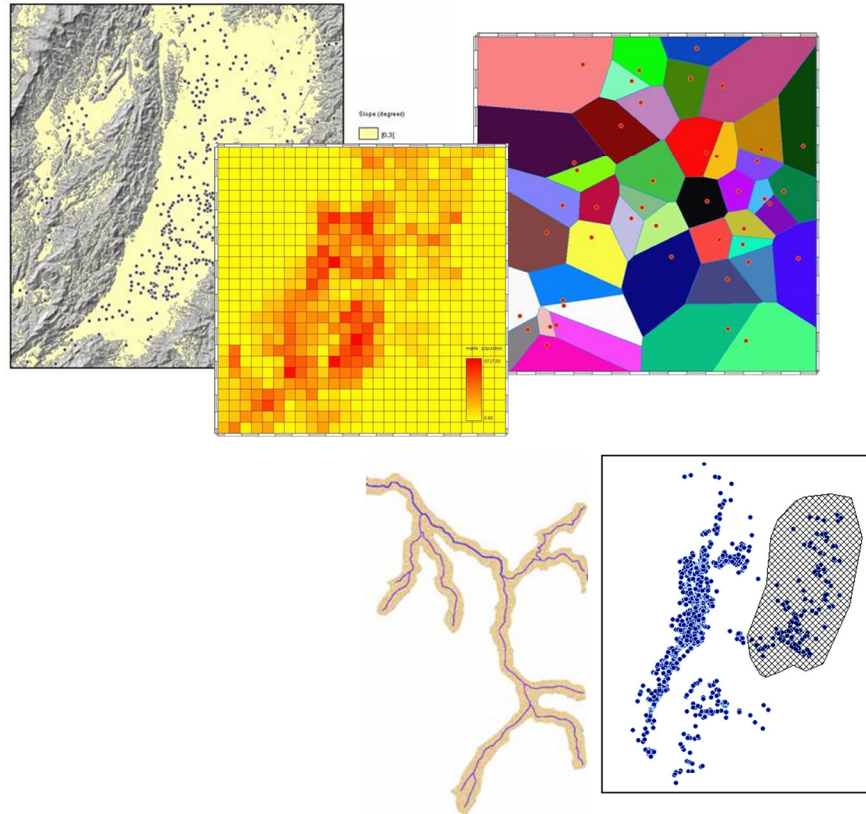
Présentation générale



1



SavGIS





Présentation générale

Union et agrégation géographiques

La structure relationnelle étendue à la localisation offre la possibilité de mettre en relation les objets géographiques grâce à leur localisation : on peut croiser des zones, agréger des points dans des zones, sélectionner des objets dans un domaine, etc. Il est ainsi possible de passer d'une division géographique à une autre, de changer d'échelle, de créer de nouveaux découpages.

SavGIS permet également de créer de nouvelles divisions régulières par carroyage, en mailles carrées, triangulaires, ou hexagonales. Associées aux opérations d'agrégation géographique et de classifications par proximité, le choix de la taille de la maille permet de réaliser de nombreux traitements d'union géographique.

Enfin, *SavGIS* dispose d'un type d'objet particulier, qui correspond à une représentation interne maillée de l'espace, à très grande définition. Tous les objets de la base de données peuvent être ramenés à ce type, qui permet donc une comparaison des valeurs d'attributs de tous les objets partageant la même localisation dans cette représentation maillée.

Masques et distances

Un masque représente un domaine de l'espace, défini à partir de certains objets de la base et d'une distance à ces objets. Il correspond à une sorte de zone tampon. L'espace ainsi défini peut être utilisé pour sélectionner d'autres objets dans d'autres relations. *SavGIS* permet de combiner différents masques et d'effectuer des opérations ensemblistes entre eux : les combinaisons possibles sont infinies et permettent de répondre à tout type de requête basée sur un critère spatial d'appartenance ou de distance. Dans la plupart des cas, les masques servent à restreindre le champ d'exécution d'une commande à un espace particulier. A noter que les masques peuvent également être tracés directement sur l'écran.

Réseaux et recherche opérationnelle

Dans *SavGIS*, les réseaux sont considérés avec l'ensemble de leurs caractéristiques, tant descriptives que graphiques : attributs descriptifs par tronçons, nœuds, sens... *SavGIS* offre à la fois des fonctions de gestion comme de calcul spécifiques à la recherche opérationnelle (flux, connexité, chemin le plus court).

1

15



SavGIS

Proximité et interpolation : les modèles numériques

Les fonctions d'interpolation basées sur la distance et la proximité permettent de créer des modèles numériques à partir de données de la base : une donnée connue seulement en certains points de l'espace sera interpolée et étendue à tout l'espace désiré. Les modèles numériques les plus utilisés sont élaborés à partir de données topographiques : il s'agit des modèles numériques de terrain, utilisés pour estimer le relief en chaque point à partir de courbes de niveaux et de points cotés. À partir des modèles numériques de terrain, *SavGIS* permet de calculer divers attributs topographiques : pente, orientation, etc.

Changement de type d'objet

Le changement de type d'objet permet de passer d'une représentation géométrique à une autre. Ainsi, *SavGIS* permet de vectoriser une image ; il permet inversement de rasteriser des zones pour produire une représentation maillée ; il permet de créer des lignes à partir de points, pour traiter des couples de points ; il permet de créer des points à partir de lignes, pour traiter les nœuds d'un réseau, etc.

Télédétection et imagerie numérique

Une fois mise en conformité géographique selon une projection géographique, les images numériques (télédétection spatiale comme photographie aérienne) sont intégrées et manipulées directement avec *SavGIS*, qui possède un type d'implantation géographique - le pixel - spécifique à ce type d'objets géographiques. L'utilisateur peut ainsi utiliser cette information de façon simple, soit avec les commandes communes à tous les types de relation, soit avec les commandes dédiées aux relations de type pixel. Ainsi, *SavGIS* permet à la fois de s'initier à la télédétection (calculs d'indice, filtres, classifications...) et de mettre en relation de façon complète les images numériques avec les objets vectoriels de la base de données (comparaisons, calculs statistiques, actualisations, etc.).

Calculs métriques interactifs

On peut effectuer directement des calculs métriques sur l'écran avec l'aide de la souris : il est possible de connaître les coordonnées exactes d'un point, de calculer la distance d'un point à un autre, de déterminer la surface d'une zone.



Présentation générale

Tirage au sort et préparation d'enquêtes

Les fonctions aléatoires sont nombreuses dans *SavGIS* : elles permettent de simuler des distributions, d'effectuer des tirages au sort de points dans un espace (de type Monte-Carlo), de comparer des distributions spatiales réelles avec des distributions aléatoires. Ces fonctions permettent d'optimiser la préparation d'enquêtes construites sur une base de sondage spatiale.

1

Modélisation multi-agent spatialisée

La modélisation multi-agent dans un SIG est la fonction la plus élaborée pour l'étude de l'environnement et des rapports entre les différents acteurs d'un processus. Le module de modélisation spatialisée (*SavSim*) permet de définir des agents, de décrire leurs comportements, de décrire les rapports avec leur environnement, et de simuler des situations probables à partir de l'ensemble des informations contenues dans la base de données. C'est toute la puissance du système qui s'exprime dans ce module, en intégrant l'information spatialisée contenue dans une base de données dans un processus de simulation stochastique utilisant des techniques d'intelligence artificielle.

GPS et suivi en temps réel

Un module spécifique de suivi en temps réel (*SavFindem*) permet d'intégrer dans la base de données des positions et des données en provenance d'un GPS embarqué, et relayées par radio ou téléphonie mobile, en temps réel. Ces données peuvent également être analysées en temps réel : vitesse instantanée, vitesse moyenne, durée du trajet, nombre de passagers, etc.

17



SavGIS

SavGIS : un logiciel conçu selon une architecture modulaire

Les quatre modules principaux



Le logiciel SavGIS comporte quatre principaux modules qui sont accessibles via le portail ci-contre.

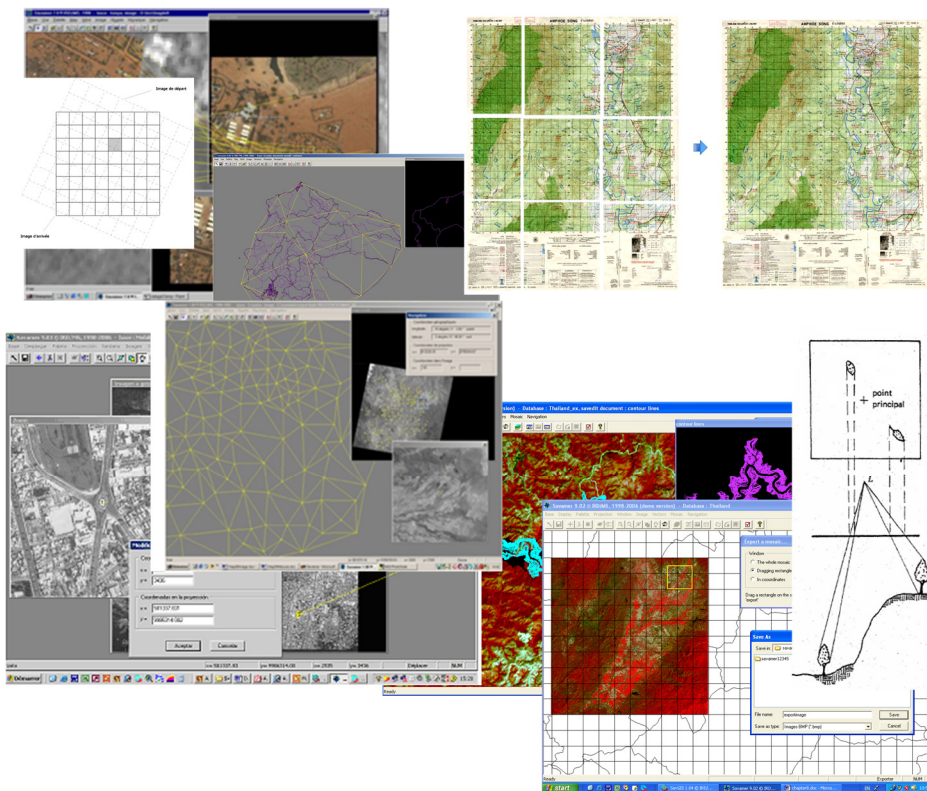


Présentation générale

Savamer : géoréférencement par saisie d'amers (images et fichiers vectoriels)

Le module *Savamer* permet de géoréférencer des images (cartes géographiques, photographies aériennes, images satellitaires, MNT, ...) ainsi que des fichiers « vecteurs » (Shapefile, fichiers Savedit). Le module *Savamer* permet également d'intégrer et de mosaïquer des images dans une base de données *SavGIS*.

1





SavGIS

Savedit : saisie et édition vectorielle

Le module *Savedit* permet la saisie graphique (digitalisation) à l'écran avec de nombreux contrôles de qualité. Il permet également l'import de relevés GPS et de fichiers *Shapefile*. Il intègre aussi une fonction de vectorisation semi-automatique d'images.

id	Latitude	Longitude
1	10745	100100
2	19756	100100
3	13710	101156
4	13956	101156
5	142	100762
6	142	101118
7	12760	101226
8	14760	103346
9	13746	103751
10	12750	102710
11	16500	102710
12	09716	100000
13	06200	101746
14	13710	99726
15	13710	101126
16	16500	102710
17	06200	101746
18	13750	100227
19	19756	98746
20	19742	98742
21	13756	100762
22	14100	101746
23	16562	100756
24	09736	98740
25	16300	98750
26	13710	101156
27	16200	98760
28	14716	101154
29	14746	101126

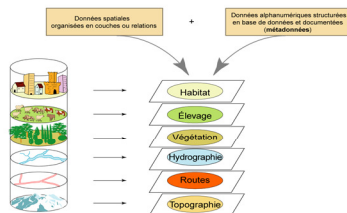
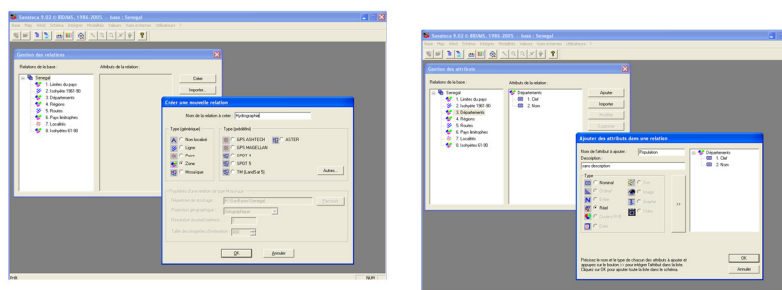


Présentation générale

Savateca : administration de base de données SIG

Le module *Savateca* est le module de gestion et d'administration des bases de données géographiques. Il permet de créer des bases de données *SavGIS*, de rajouter ou supprimer des relations (couches thématiques) et des attributs. Il permet de créer des utilisateurs, et gère les vues externes (sélection de relations et d'attributs auxquels l'utilisateur a accès, et qui peuvent être organisées en arborescence). C'est aussi à travers ce module que sont intégrées les données vectorielles et alphanumériques associées.

1



Création d'une base de données géographiques

Nom de la base à créer:

Nom du répertoire devant contenir le répertoire de la base: Parcours

Point bas gauche:
 Longitude: degrés minutes Est Ouest
 Latitude: degrés minutes Nord Sud

Point haut droit:
 Longitude: degrés minutes Est Ouest
 Latitude: degrés minutes Nord Sud

OK Annuler

Modifier la vue externe

Relations | Choisir des attributs | Sécurité

Relations de la base:

- Aéroport piste
- ASTER
- Eau
- Districts
- Hôpitaux
- Ile
- Lacs étrange
- Montagnes
- Mollang
- Occupation sols
- Photo_37
- Photo_1n
- Réseau hydro
- Routes
- Route_Milane
- Villages, terres

Groupes et relations de la vue:

- Verrière
- 1. Aéroport piste
- 2. Eau
- 3. Districts
- 4. Hôpitaux
- 5. Ile
- 6. Lacs étrange
- 7. Montagnes
- 8. Mollang
- 9. Occupation sols
- 10. Réseau hydro
- 11. Routes
- 12. Route_Milane
- 13. Villages, terres
- 14. Photo_37
- 15. Photo_1n
- 16. ASTER

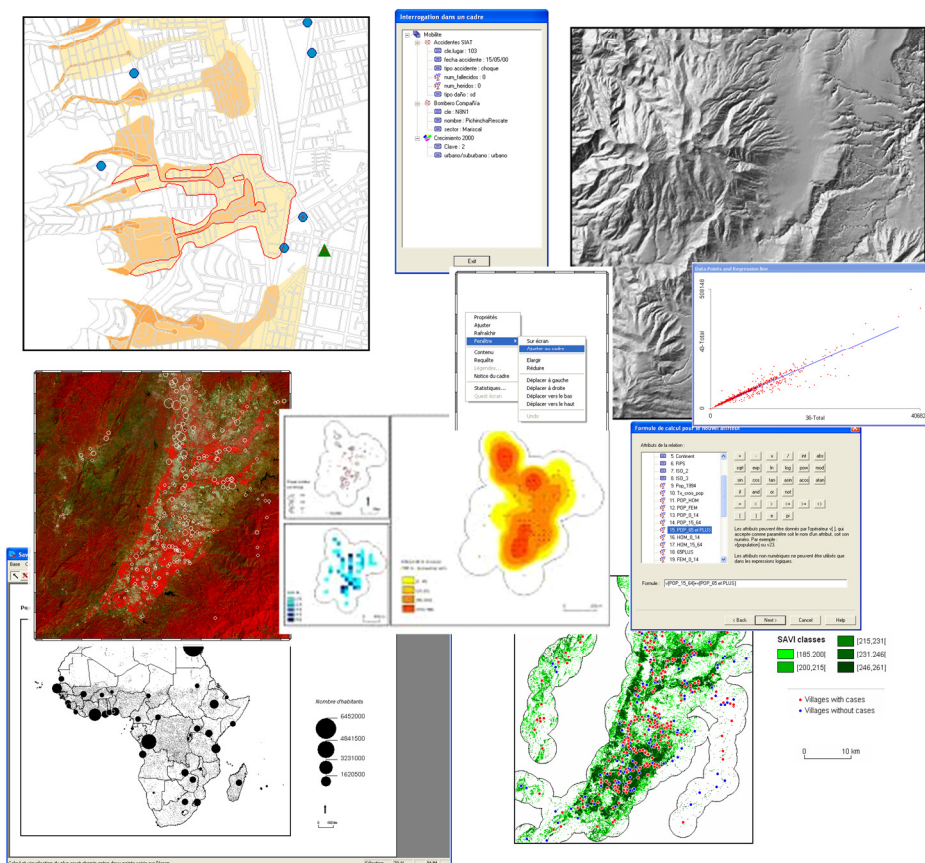
OK Cancel Ajout Help



SavGIS

Savane : analyse et cartographie

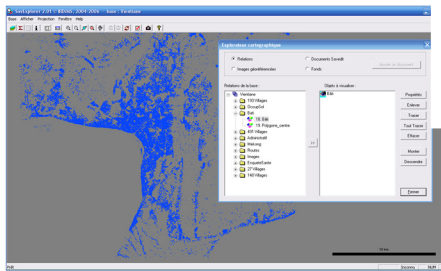
Savane est le principal module d'exploitation du système SavGIS. Il intègre un ensemble étendu de fonctionnalités pour l'interrogation, le traitement, et la représentation cartographique des informations contenues dans une base de données géoréférencées. L'interface rassemble dans un environnement ergonomique une grande variété d'outils de consultation, de requêtes (jointures, agrégations, sélections, recherches multicritères, analyse statistique, recherche d'itinéraires et de voisinage...), et de cartographie. Le module Savane est un outil polyvalent qui permet d'appréhender rapidement toutes les facettes du travail d'exploitation d'un SIG. Il propose également des fonctionnalités de télédétection (classifications, compositions colorées, traitement d'image, indices de végétation). Enfin, le module Savane est interopérable avec d'autres logiciels commerciaux, en particulier avec MS Access et ArcGIS (export au format Shapefile).





Présentation générale

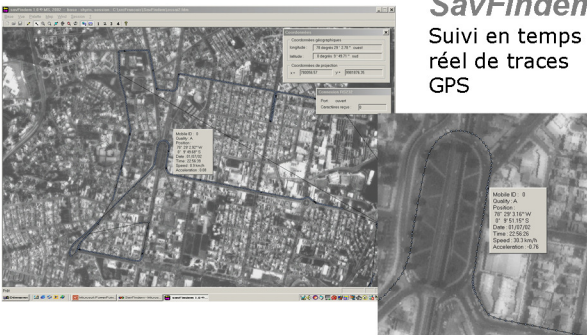
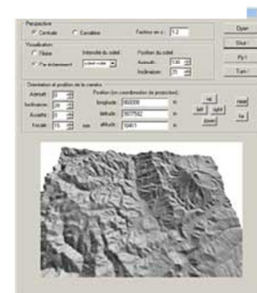
Les modules et applications supplémentaires



SavExplorer
Exploration de bases de données
SavGIS

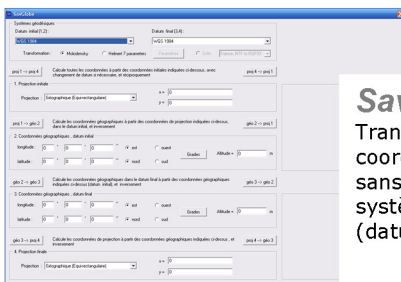
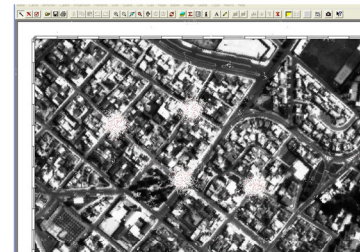
1

SavBabel
Exploration de MNT



SavFindem
Suivi en temps
réel de traces
GPS

SavSim
Modélisation multi-agent interfacée
dans l'environnement Savane



SavGlobe
Transformation de
coordonnées avec ou
sans changement de
système géodésique
(datum)

23