

Jérémy ROBERT

« Vulnérabilité de la population exposée aux lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos, Quito – Equateur »

Caractérisation, quantification et cartographie de la population



Mémoire de Master 2 Recherche

« Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision »
sous la direction de Patrick PIGEON et Robert D'ERCOLE

Membres du Jury :

Patrick PIGEON
Jean Jacques Delannoy
Stéphane Héritier

Université de Savoie
Université de Savoie
Université Jean Monnet

Septembre 2007

Résumé

Le **Valle de Los Chillos**, situé à la périphérie de Quito, capitale de l'Equateur, est un secteur particulièrement attractif qui s'est développé très rapidement durant les vingt dernières années.

En 1877, le **volcan Cotopaxi** (5897 m) connaissait sa dernière grande éruption, dont les **lahars**, générés par la fonte accélérée de la calotte glaciaire, ont dévasté ce territoire alors très faiblement peuplé.

Aujourd'hui, le Valle de Los Chillos s'est largement urbanisé et reste exposé au risque d'une potentielle éruption. Les mécanismes volcaniques ainsi que le zonage de l'aléa ont fait l'objet de nombreuses études, et, de manière complémentaire, il semblait intéressant de se pencher sur la **vulnérabilité** de ce territoire.

Une équipe de travail a été formée à la demande des acteurs locaux pour travailler sur différents aspects : la **caractérisation**, la **quantification** et la **cartographie de la population exposée**, la perception du risque de cette population et enfin la vulnérabilité institutionnelle. Le premier point sera abordé dans ce rapport. L'objectif est de fournir des éléments utiles à la **gestion du risque** notamment la **planification préventive** ; la **préparation de la population** et la **gestion de crise**. Nous privilégierons donc une approche opérationnelle.

La **vulnérabilité de la population** exposée aux lahars du volcan Cotopaxi a été abordée selon deux axes. Le premier concerne la **population résidente**, en fonction de critères socio économiques et démographiques, en relation avec la densité et le niveau d'exposition. En effet, en plus de l'exposition directe à l'aléa, nous avons cherché à identifier d'autres types d'exposition, indirects, notamment l'isolement, et les conséquences en termes de gestion de crise.

Le deuxième point a concerné la **population « de jour »**, pouvant représenter des concentrations très importantes pour des raisons professionnelles, touristiques, etc., mais n'apparaissant pas dans le recensement. La quantification de cette population et sa localisation, complétées par l'identification des lieux sensibles (hôpitaux, établissements scolaires, etc.), permet de proposer un diagnostic intéressant aux gestionnaires de crise.

Enfin, une réflexion plus globale a été menée afin de comprendre les **processus de construction du risque**. L'**approche systémique** a été utilisée pour formaliser le raisonnement et mettre en avant les relations entre les aspects sociaux, territoriaux et politiques, qui permettent de comprendre la dynamique de ce territoire. Les notions de **complexité et de gestion de l'incertitude** sont apparues alors pertinentes pour illustrer le dilemme actuel de la gestion du risque lié au volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos. Les enjeux de développement se heurtent en effet aux contraintes de la prise en compte d'un risque à probabilité faible et d'étendue importante.

Enfin, nous avons cherché à proposer une **approche opérationnelle** de la gestion du risque, notamment grâce à l'utilisation d'un **système d'information cartographique**, couplant la création de bases de données et la réalisation de cartes facilitant l'analyse.

Mots-clés : vulnérabilité de la population, population résidente et « de jour », gestion du risque, préparation et sensibilisation des populations, gestion de crise, planification préventive, types d'exposition à la menace, approche opérationnelle, approche systémique, complexité et incertitudes, processus de construction du risque, Valle de Los Chillos, Equateur, systèmes d'information géographique (SIG).

Remerciements

J'aimerais remercier tous ceux qui m'ont permis de réaliser ce travail et de vivre cette expérience qui fut exceptionnelle.

Je saluerai en premier Tania et Diana, avec qui le travail d'équipe fut particulièrement agréable. Merci de m'avoir si bien accueilli en Equateur.

Je remercie aussi Robert D'Ercole et Patrick Pigeon pour m'avoir fait confiance et m'avoir conseillé et soutenu. Merci encore de m'avoir donné l'opportunité de réaliser cette recherche, et merci aussi à l'équipe de l'Université de Savoie, et notamment à Philippe Deline. Un petit mot pour Jairo en lui souhaitant bonne chance pour la thèse.

Mes collègues de la Direction de Planification Territoriale m'ont aussi facilité les choses, que ce soit pour les problèmes techniques comme pour l'ambiance de travail et les amitiés. Je remercie Joe, Marcello, Lénine, Alexandra, Nury, Marco, Mario, Romeo, Cristina, Estela, Maria, et tous les autres.

Un grand merci à la Casa Cotopaxi, Jimena, Marcelo, Miguel, Maria, pour leur soutien, leur intérêt et leur participation. J'espère sincèrement que ce travail pourra vous être utile. Je salue aussi le docteur Rommel, directeur de l'Hôpital de Sangolquí, pour son accueil et son aide ainsi qu'à Monica. Merci à Patricia Mothes de l'IG EPN.

Merci pour l'accueil de l'IRD, Bernard Francou, Maria Dolores, Roger, Ramiro, Ivan et Aida ; et à Sébastien Hardy pour m'avoir invité au séminaire de la Paz. Une semaine vraiment enrichissante qui donne envie de poursuivre.

Merci à mes amis du club d'andisme de la Catolica, avec qui j'ai partagé les joies de l'altitude depuis les volcans équatoriens jusqu'au Pérou. Un salut spécial à Felipe et à Marvin avec qui j'ai pu aller au sommet des recherches de terrain au Cotopaxi. Grâce à eux ce voyage fut inoubliable.

Merci à ma famille pour leur visite, leur soutien et leur attention, notamment pour les fautes d'orthographe.

Merci enfin aux équatoriens et équatoriennes que j'ai pu connaître et grandement apprécier.

Photos page de garde : de gauche à droite, et de haut en bas, le volcan Cotopaxi (source : IG EPN), carte du Valle de Los Chillos (densité et niveau d'exposition), réunion Casa Cotopaxi avec la Defensa Civil (source : Casa Cotopaxi), bloc déposés par les lahars à San Rafael, bloc faisant office d'édifice devant l'école Benedict au centre de San Rafael, cratère du volcan Cotopaxi (source IG EPN), carte de variation entre la population de jour et la population résidente dans le Valle de Los Chillos.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	- 5 -
1^{ERE} PARTIE : LES ACTEURS ET LE RISQUE : CONTEXTE, APPROCHE CONCEPTUELLE ET METHODOLOGIQUE.	- 8 -
1. Cadre de la recherche :	- 8 -
1.1 Partenaires et cadre institutionnel	- 8 -
1.2 Des études appliquées aux nécessités locales	- 9 -
2. Problématiques et définition de l'approche	- 11 -
2.1 Quelle gestion du risque dans le Valle de Los Chillos ?	- 11 -
2.2 Approche conceptuelle du risque : Evolution des concepts pour une recherche opérationnelle	- 12 -
3. L'approche systémique comme cadre méthodologique	- 14 -
3.1 Le système territorial Valle de Los Chillos et le risque	- 14 -
3.2 Comment aborder la vulnérabilité du Valle de Los Chillos dans le cadre systémique ?	- 15 -
a. Définition de la vulnérabilité	- 15 -
b. Le système risque du Valle de Los Chillos, identification des éléments clefs de la vulnérabilité	- 15 -
c. Reconnaître la complexité	- 16 -
3.3 Les outils, justification et avantages ?	- 18 -
2^{EME} PARTIE : ANALYSE DU RISQUE ET IDENTIFICATIONS DES PRINCIPAUX ENJEUX	- 20 -
1. La matérialisation du risque des lahars : cartographie de l'aléa et politique	- 20 -
1.1 Le phénomène de lahar	- 20 -
1.2 Evolution des cartes d'aléa, scénarii et lacunes d'information	- 21 -
1.3 L'anthropisation du risque	- 22 -
1.4 Limites du zonage de l'aléa	- 23 -
2. La négociation du risque	- 24 -
2.1 Une cartographie politique	- 24 -
2.2 Des enjeux territoriaux influents	- 25 -
3. Spécificité de la gestion de crise : gestion de l'alerte et de l'évacuation	- 27 -
3.1 Des retours d'expériences riches d'enseignements	- 27 -
3.2 La gestion de crise du Cotopaxi	- 29 -

3^{EME} PARTIE : ANALYSE DE LA VULNERABILITE DE LA POPULATION DU VALLE DE LOS CHILLOS

- 31 -

1. Population du Valle de Los Chillos : dynamique et exposition	- 31 -
1.1 Population : caractéristiques générales	- 31 -
1.2 Evolution de la population et facteurs de peuplement	- 32 -
1.3 Exposition de la population	- 34 -
2. Vulnérabilité de la population résidente	- 37 -
2.1 Critères de vulnérabilité	- 37 -
2.2 Analyse de la vulnérabilité : un contraste marqué entre populations urbaines et populations rurales	- 38 -
a. Caractérisation de la population et répartition	- 38 -
b. Vulnérabilité socio économique	- 39 -
c. Vulnérabilité socio démographique	- 39 -
d. Autres critères de vulnérabilité	- 40 -
2.3 Synthèse : vulnérabilité socio démographique, densité et exposition	- 41 -
3. Vulnérabilité de la population de jour	- 43 -
3.1 Méthodologie	- 43 -
3.2 Analyse	- 45 -
a. Les lieux de travail/fréquentés	- 45 -
b. Fréquentation touristique	- 47 -
e. Etablissements sensibles	- 47 -
3.3 Concentration de la population de jour : bilan	- 49 -
4. Synthèse et orientations pour la gestion du risque	- 52 -
4.1 Eléments majeurs de vulnérabilité	- 52 -
4.2 Orientations pour la gestion de crise	- 53 -

CONCLUSIONS : ANALYSE CRITIQUE ET PERSPECTIVES

- 56 -

LISTES DES PHOTOS

- 63 -

LISTE DES TABLEAUX

- 63 -

LISTE DES GRAPHIQUES

- 64 -

LISTE DES CARTES

- 64 -

SIGLES

- 65 -

BIBLIOGRAPHIE

- 65 -

Introduction

« Les catastrophes font des victimes au Sud, des dommages au Nord [...] près de 98% des victimes des catastrophes naturelles sont de pays pauvres ou très pauvres ». Par ce constat Albouy (2002), comme d'autres, insiste sur les lacunes caractéristiques de ces pays, où s'observent « les effets combinés de l'absence d'investissement, la faiblesse ou vétusté des infrastructures urbaines, l'absence ou la précarité des structures sanitaires, la concentration des populations dans les zones dangereuses, l'inexistante ou l'inapplicabilité des normes de sécurité, ... ». Le sous-développement est donc pointé comme une des causes des catastrophes.

Pour Leone (2006), ces catastrophes sont de véritables « révélateurs de vulnérabilités humaines et territoriales ». Il insiste notamment sur deux facteurs que sont la pauvreté, mais aussi la concentration des enjeux en zone exposée.

Le thème est repris à Quito à l'occasion d'une table ronde¹ rassemblant différents acteurs de la gestion du risque : architectes, scientifiques, représentants de la sécurité civile, diverses administrations, ... Le titre choisi, « Quito : sans garanties face au risque naturel » sonne particulièrement juste. Exposée à de multiples aléas, la capitale équatorienne ne peut nier aujourd'hui les risques qu'elle encourt mais aussi qu'elle provoque. La construction sociale du risque est de plus en plus reconnue, et sa gestion devient enjeu de développement.

Un des points à traiter en priorité concerne la vulnérabilité des populations, enjeux majeurs de la gestion des risques, avec l'objectif premier de sauver les vies humaines, parfois malheureusement exposées en grand nombre.

Dans ce contexte, aborder le risque volcanique du Cotopaxi prend une nouvelle tournure. Sommet symbolique qui s'admire depuis Quito, le Cotopaxi est aussi un volcan actif dont la menace a tendance à se faire oublier. En effet, la dernière éruption remonte à 1877, soit plus d'une génération. A cette époque, les lahars provoqués par la fonte du glacier dévaste des territoires d'haciendas à très faible densité humaine dans la Province du Nord, mais cause déjà plus de dégâts dans le bassin Sud, notamment à Latacunga. Aujourd'hui, une éruption du Cotopaxi serait d'autant plus redoutable qu'elle concerne des zones fortement urbanisées au Nord comme au Sud.

Le Valle de Los Chillos, situé à une soixantaine de kilomètres au Nord du volcan, est un de ces bassins de peuplement récemment développée à la périphérie de Quito, et sera le territoire choisi pour ce travail. Plusieurs raisons justifient ce choix, d'abord la présence d'une agglomération urbaine particulièrement attractive qui s'étend de San Rafael à Sangolqui, et amenée à encore plus se développer dans les années à venir. En parallèle, une bonne partie de ce territoire et notamment la zone dite du « Triangulo », point stratégique de communication et d'activités (arrivée de l'autoroute en provenance de Quito), sont directement exposés aux lahars potentiels du volcan Cotopaxi. La gestion du risque et le développement territorial y sont donc liés, rendant cette recherche particulièrement intéressante. Ensuite ce travail répond à une demande de différents responsables politiques et administratifs exprimant la volonté de réduire ce risque.

¹ Mesa Redonda, « Quito : Sin garantías frente al riesgo natural », el 27 Febrero 2007, organisée par le Colegio de arquitectos del Ecuador Provincial Pichincha y El Foro de la Ciudad (www.cae.org.ec)

Le travail proposé s'oriente sur la vulnérabilité de la population exposée au risque, plus précisément sa quantification, sa caractérisation et son exposition, s'appuyant sur l'outil cartographique. Cependant, plus qu'un simple recensement, on va chercher à répondre à plusieurs questionnements et nécessités de la gestion du risque, à orienter notre travail en fonction des besoins et des particularités locales, afin d'appliquer une lecture géographique du risque qui nous permettra d'intégrer et de justifier la recherche réalisée.

Comment aborder alors la vulnérabilité de la population du Valle de Los Chillos ? Quels sont les critères pertinents, les mécanismes d'organisation et les particularités qui doivent être mis en avant afin d'apporter des éléments percutants et utiles à la gestion du risque ?

Le cadre de la recherche fera l'objet d'un développement dans la première partie. Nous présenterons d'abord l'organisation et la gestion du risque aux travers des différents acteurs. Quelques précisions sur le cadre institutionnel seront nécessaires afin de mieux cerner le contexte dans lequel s'intègrent nos travaux. Par ailleurs, l'identification des nécessités locales et la présentation des principaux partenaires permettent d'insister sur les objectifs d'une recherche appliquée.

Seront abordés ensuite les enjeux et les objectifs de la gestion du risque dans le Valle de Los Chillos, introduisant de cette façon les axes de recherches proposés. Nous travaillerons ensuite à formaliser notre raisonnement, en abordant les concepts clés de la gestion du risque et l'approche méthodologique choisie. L'approche systémique sera un outil privilégié, qui nous permettra de clarifier les interactions entre les divers domaines sociaux, politiques et territoriaux, et les conséquences en termes de risque.

Enfin, une brève présentation des outils et de leurs avantages permettra de conclure cette première partie.

En s'appuyant sur les concepts introduits, l'analyse du risque volcanique du volcan Cotopaxi sera approfondie dans la seconde partie et selon plusieurs axes. L'objectif est de fournir une analyse des différents processus et spécificités du risque, pouvant influencer ou générer de la vulnérabilité. Au préalable, une brève présentation des phénomènes de lahars permettra d'aborder le zonage de la menace, problème qui dépasse largement le cadre du simple phénomène physique. Nous préciserons ensuite certains aspects de la négociation du risque et notamment de l'influence des enjeux de développement. Enfin, comprendre les spécificités de la gestion de crise liées à ce type de risque fournira des éléments essentiels dans l'approche à retenir. Seront abordés quelques retours d'expérience nous venant des volcans Pichincha et Tungurahua, ainsi que certains éléments clefs de la gestion de crise concernant le Cotopaxi.

Quels enseignements sont à tirer de cette analyse du risque ? On fixera ici les bases de notre recherche, justifiant de la même façon le travail à réaliser. On conclura ainsi cette seconde partie afin d'aborder l'analyse de la vulnérabilité de la population dans un contexte éclairé.

Dans la troisième partie, on s'appliquera à définir les caractéristiques de la population, son organisation et sa dynamique, en relation à l'évolution du territoire du Valle de Los Chillos, en périphérie de Quito. Seront abordés la population résidente, ainsi que la population « de jour » qui peut se concentrer dans les zones exposées pour des raisons professionnelles, d'éducation, ou encore liées au tourisme, ..., et qui n'apparaît pas dans le recensement. Nous nous appliquerons à proposer une lecture structurée et justifiée de la vulnérabilité, en insistant sur les spécificités territoriales et le rendu d'analyses opérationnelles. Un bilan sera proposé et conforté par une analyse de la mobilité des populations. Une synthèse permettra de revenir sur les points clefs de la vulnérabilité de la population et de proposer quelques orientations.

Une conclusion développée sera l'occasion d'apporter un regard critique sur la prise en compte du risque dans le Valle de Los Chillos. On nous pencherons d'abord les relations entre le risque et le développement territorial. La notion de risque accepté sera ensuite abordée et permettra d'élargir la réflexion sur les processus de construction du risque et sa prise en compte politique. Enfin nous traiterons un aspect plus théorique, introduisant les théories de la complexité, qui permettra de conclure ainsi que de mettre en perspective le travail réalisé.

1^{ère} partie : Les acteurs et le risque : contexte, approche conceptuelle et méthodologique.

1. Cadre de la recherche :

1.1 Partenaires et cadre institutionnel

Ce travail est intégré au programme régional de l'IRD, PACIVUR : Programa Andino de Capacitación e Investigación sobre la Vulnerabilidad y los Riesgos en Medio Urbano, dirigé par Robert D'Ercole. Ce programme concerne les trois pays andins que sont la Bolivie, le Pérou et l'Equateur.

L'IRD, présent en Equateur depuis une trentaine d'année, y a mené de nombreuses études en particulier concernant l'urbanisation et la gestion des risques à Quito. Le groupe PAUD : Por el Ambiente Urbano y el Desarrollo, jeune équipe de recherche appuyé par l'IRD, s'est créé afin de poursuivre ces travaux et aujourd'hui se place comme antenne du programme PACIVUR en Equateur.

Trois études sont proposées sur le thème de la gestion du risque lié au volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos. Elles sont menées dans le cadre d'une coopération entre l'IRD et la Direction de Planification Territoriale de la Municipalité de Quito. Nous profiterons de relations déjà établies et riches d'expériences, en particulier avec le programme de recherche « Sistema de información y riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito », qui a permis de renforcer les liens entre l'IRD et la municipalité de Quito.

Quelques précisions institutionnelles permettent de replacer les acteurs de la gestion du risque et de préciser la présence de la Direction de Planification Territoriale comme partenaire de cette étude. En 1993, l'Unité de Prévention et d'Attention des Désastres (UPAD) existait au sein du département de la Planification, avec l'objectif de produire des données et des informations sur les différentes menaces. Elle était alors en lien direct avec l'IRD, et ce contact s'est ensuite maintenu et renforcé avec la Direction de Planification Territoriale.

En 2000, la gestion du risque passe en partie sous la responsabilité de la Direction de Sécurité Civile qui s'organise alors en deux pôles : la délinquance et le risque. La gestion du risque prend alors une place secondaire, la majorité des financements étant accordé à la réduction de l'insécurité. Ce transfert de responsabilité pose certains problèmes, notamment dus au manque de préparation et de références. Elle est marquée par une instabilité politico administrative, pas moins de huit directeurs se sont succédés en 7 ans.

La Direction de Planification Territoriale conserve cependant un rôle important concernant l'aménagement du territoire, alors que la Direction de Sécurité Civile a encore du mal à assumer les responsabilités qui lui ont été assignées. Aujourd'hui se fait ressentir l'importance et l'étendue du thème du risque, notamment grâce à la participation de la municipalité de Quito au programme régional² de mise en place d'outils méthodologiques pour la gestion des risques urbains dans cinq capitales andines, donnant ainsi une nouvelle impulsion afin d'améliorer l'appareil politico-administratif.

Le rôle des Directions est l'orientation des politiques, l'élaboration de réglementations (sous forme d'ordonnances), le développement d'instruments de gestion et de grands projets. Dans un contexte où la planification devient un enjeu politique majeur, on observe un manque certain de stratégie d'intervention en termes de gestion du risque. Les différents acteurs parlent actuellement de la nécessité de mettre en place un système de gestion intégrale du

² *Proyecto de Riesgos en Ciudades de la Comunidad Andina*, UNDP, Comisión Europea – Ayuda Humanitaria, 2006.

risque à un niveau hiérarchique supérieur, afin de pallier à ce manque et permettre la prise en compte des problématiques liées aux risques de façon plus générale et dans un cadre institutionnel solide (Yacelga F., 2007).

Fermons cette parenthèse institutionnelle qui nous a permis de présenter brièvement l'organisation de la gestion du risque au sein du District Métropolitain de Quito (DMQ), pour aborder son application à l'échelon inférieur. Le DMQ est en effet subdivisé en huit administrations zonales disposant d'une organisation similaire au District et dont le rôle est l'exécution des directives provenant du niveau supérieur (les Directions citées plus haut). Ces administrations zonales travaillent en contact étroit avec la population. Elles commencent aujourd'hui à recevoir des compétences en matière de gestion des risques.

Initialement, le travail de recherche à réaliser concernait uniquement le territoire de l'Administration Zonale Valle de Los Chillos, avec l'objectif de lui venir en appui en fournissant des données utiles à la gestion du risque à cette échelle.

Cependant, un point s'est trouvé être préoccupant. En effet, le canton de Rumiñahui, jouxtant le DMQ, représente une véritable enclave au sein du territoire d'étude si bien qu'il paraissait indispensable de prendre en compte ce nouvel acteur. Deux administrations distinctes se partagent en effet un territoire homogène, exposé à la même menace ; d'un côté l'Administration Zonale Valle de Los Chillos sous la tutelle du DMQ, et de l'autre le canton de Rumiñahui. Un accord a donc été passé avec le canton de Rumiñahui afin de pouvoir mener les travaux sur l'ensemble du Valle de Los Chillos.

Le tableau récapitulatif permet de recadrer ces différents acteurs et leur rôle dans la gestion du risque (Cf. annexe 1 : *Tableau récapitulatif des acteurs de la gestion risque dans le Valle de Los Chillos*).

1.2 Des études appliquées aux nécessités locales

Ainsi, trois études distinctes mais complémentaires ont été proposées aux différents acteurs avec l'objectif commun de fournir des éléments utiles à la gestion du risque. Celle qui sera présentée dans ce rapport concerne la **caractérisation, la quantification et la cartographie de la population** exposée au risque de lahars potentiels du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos. Les deux autres études concernent la **perception du risque de la population**, travail réalisé aux moyens d'enquêtes à la population par Diana Salazar (Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Quito), et la **vulnérabilité institutionnelle** par Tania Serrano (Université Paul Valéry, Montpellier 3), abordant la gestion territoriale et la gestion du risque d'un même territoire par deux administrations distinctes, et cherchant à mettre en avant les différences, points forts et dysfonctionnements.

Le travail en équipe c'est révélé être très intéressant, permettant de confronter les avancées et les résultats de chacun, afin de partager une vision plus globale des objectifs et de l'organisation du territoire d'étude.

Ces études ont été menées dès le commencement en coopération étroite avec la Casa Cotopaxi. Cette petite équipe, au sein du Conseil de Sécurité Civile de l'Administration Zonale Valle de Los mais relativement indépendante, a pris en main le thème de la prévention du risque. Elle organise tout ce qui se réfère à la sensibilisation, la formation et de préparation de la population et dispose de travaux intéressants à son actif comme un recensement de la population en zone exposée (2003), l'inventaire des refuges ou encore un programme de prévention et la réalisation d'exercices d'évacuation avec les établissements scolaires. La politique de la Casa Cotopaxi s'appuie sur la participation communautaire à ces projets, réunissant régulièrement un conseil communautaire et donnant écoute et responsabilité à la population au travers de divers représentants. Un contact permanent a été assuré avec les

personnes de la Casa Cotopaxi, pour l'échange de données, notamment concernant la connaissance du terrain qui s'est avérée précieuse afin d'orienter nos travaux en fonction des besoins et réalités locales.

Par ailleurs, de nombreux autres partenaires ont été sollicités, notamment pour la récolte d'information. A leur demande, plusieurs présentations de l'avancée de nos travaux ont été réalisées. Ont été rassemblés pour ces occasions les administrations intéressées, les acteurs de la gestion du risque (scientifiques, gestionnaires de crises,...), ainsi que des représentants de la communauté, qui se sont particulièrement investis. L'objectif est de faciliter la compréhension des méthodologies utilisées, l'utilité des études, les résultats attendus et obtenir commentaires et suggestions afin d'orienter les travaux en fonction. Ce fut aussi l'occasion de rassembler les différents acteurs et d'encourager leur participation et coopération. Cet investissement est apparu particulièrement intéressant, rendant bien plus accessible le travail réalisé et les résultats obtenus afin qu'ils soient valorisés.

Ce rapide tour des principaux partenaires et du cadre institutionnel permet de replacer les recherches proposées dans le contexte général de la gestion du risque et d'en fixer l'orientation. Elles ont vocation à être utilisées par les niveaux de décisions inférieurs tout en rentrant dans le cadre des perspectives générales et des objectifs d'amélioration de la connaissance notamment développés par la Direction de Planification Territoriale. Un des intérêts est la production d'informations à l'échelle d'une Administration Zonale, avec l'objectif d'une meilleure application des travaux. La participation des différents partenaires à l'avancée des travaux est un des points forts et permet d'en justifier le réalisme et l'utilité.

Nous allons donc chercher à comprendre la logique du territoire afin de proposer des axes de recherche et des critères d'analyses qui puissent répondre aux attentes des différents partenaires. Le projet s'est donc élaboré et validé en collaboration avec ces derniers. Nous allons aborder les thèmes qui ont fait l'objet de notre intérêt, précisant pour cela l'organisation et les modalités de gestion du risque dans le Valle de Los Chillos.

2. Problématiques et définition de l'approche

2.1 Quelle gestion du risque dans le Valle de Los Chillos ?

Analyser la vulnérabilité du territoire du Valle de Los Chillos, ses populations, une organisation et une dynamique propre, le tout exposé à une menace certes avérée mais qui laisse part à de nombreuses incertitudes, en effet une éruption du Cotopaxi difficilement probabilisable, et les capacités de prévision (type de phénomène et espace de manifestation, (Asté J.P., 1994)) sont limitées ; l'enjeu est de taille. Quels sont les angles d'approches privilégiés ? Nous chercherons à cerner nos objectifs en s'appuyant sur les domaines d'intervention des différents acteurs et les bénéfices recherchés. Les stratégies de gestion du risque nous offrent plusieurs pistes.

La gestion du risque présente en effet des aspects distincts et complémentaires. Les études proposées n'ont pas l'ambition d'apporter des solutions miracles ou exhaustives permettant de régler le problème du risque. L'objectif est plutôt de fournir des informations percutantes et utiles sur plusieurs points que sont : la planification territoriale, les actions de sensibilisation et de préparation de la population, et enfin la gestion de crise. On ne traitera pas ici de l'étude physique de l'aléa bien qu'elle sera abordée et discutée.

La **planification préventive** est un élément clef de la gestion du risque. Elle intègre un principe fondamental de prise de conscience du risque et de réduction de ces effets à la base en assurant un développement réfléchi du territoire. Sur ce point, l'apport du travail sur la vulnérabilité institutionnelle sera le plus important, traitant notamment de la planification de l'occupation du sol ainsi que de la gestion des enjeux majeurs que sont les ressources en eau, le réseau d'alimentation en électricité, ... Ce travail se trouve directement lié aux problématiques de gestion de crise, en particulier au travers de la gestion de ces enjeux.

Du point de vue de la population, des informations intéressantes contribuent à alimenter la réflexion sur ce thème. Ce travail met en avant les zones d'enjeux majeurs qui nécessiteront une attention particulière concernant le développement à venir, par exemple concernant la répartition spatiale des activités économiques et les conséquences en terme vulnérabilité.

Une information directement utile, principalement pour la gestion du risque, mais aussi d'un point de vue plus général de gestion du territoire, sera proposée aux acteurs, notamment à la Direction de Planification Territoriale, ainsi qu'aux parties compétentes au niveau inférieur, soit l'Administration Zonale Valle de Los Chillos et le canton de Rumiñahui

Le second thème abordé est celui de la **sensibilisation et préparation de la population**. Une information pertinente est attendue du travail sur la perception du risque afin d'améliorer notre connaissance de la population, ses besoins et ses attentes, ses ignorances et son savoir.

De façon complémentaire, le travail de caractérisation de la population fournit une base spatiale et quantitative permettant d'éclaircir et d'orienter les acteurs. La systématisation des données sera un des apports fondamentaux sur ce point. La Casa Cotopaxi et le service de sécurité civile du canton de Rumiñahui devrait en tirer avantage, ainsi que les acteurs de la gestion de crises, en particulier la Protection Civile qui joue un rôle important dans ce domaine.

Enfin, la **gestion de crise** s'avère être un thème majeur. Deux types d'objectifs sont visés dans le cadre de ces travaux. La mise à disposition d'une base donnée systématisée d'informations pertinentes utilisables pour la gestion de crise. Ce sont par exemple les informations concernant les enjeux majeurs (eau, électricité,...), la population exposée, la liste

des établissements scolaires ou encore les informations concernant les établissements de soins (localisation, capacité). Une analyse critique des ressources disponibles et de l'organisation en termes de crise devra fournir des orientations pour les différents acteurs concernés.

En complément de cette information, seront abordées les problématiques de gestion de crise, c'est-à-dire selon les résultats obtenus, à quels problèmes doit-on s'attendre ? Quel est le niveau de préparation et dispose-t-on des ressources pour les résoudre ?

Les résultats obtenus sont destinés en particulier aux responsables de la gestion de crise, autant au niveau des administrations qu'au niveau des acteurs opérationnels, Pompiers, Croix Rouge, Protection civile, Police... afin qu'ils possèdent une base de données permettant de se poser les bonnes questions afin d'anticiper la crise.

Enfin, ces travaux présentent un intérêt méthodologique, notamment concernant la démarche employée, pour l'amélioration des connaissances liées la gestion du risque. Il s'agit de développer une recherche appliquée et fondamentale, fondée sur la nécessité et les besoins du terrain avec la coopération des acteurs.

Au delà de la simple question du risque, ce travail permet de renforcer les liens entre la Direction de Planification Territoriale et l'Administration Zonale d'une part, clarifiant les rôles leurs capacités et les besoins de chacun, et d'autre part, impulser la coopération avec le Canton de Rumiñahui qui apparaissait jusqu'alors comme une lacune.

2.2 Approche conceptuelle du risque : Evolution des concepts pour une recherche opérationnelle

Nous avons présenté les objectifs, fils conducteurs de ce travail, et le cadre institutionnel et territorial dans lequel s'inscrivent nos travaux. A partir de ces éléments, nous chercherons à définir les grands axes de notre recherche, les hypothèses et les problématiques.

Nous nous trouvons face à un jeu d'acteurs relativement complexe, une problématique du risque fortement liée au développement territorial et des enjeux particulièrement importants. Afin d'intégrer ces éléments, on doit dépasser l'approche classique segmentée (Pigeon, 2005, 2002) qui favorise une lecture exogène du risque. Cette approche peut être schématisée par deux ensembles : l'ensemble « société » et l'ensemble « aléa », évoluant séparément jusqu'à l'instant de la crise où l'aléa vient à la rencontre de la société, et présente de nombreuses limites. Dans la réalité, les deux ensembles sont interdépendants, la société a conscience du risque qu'elle encourt et s'organise pour y faire face. On doit alors reconnaître la co-évolution de la société avec le risque, et comprendre cette co-évolution, dans ses dimensions sociale, territoriale et politique, en favorisant une lecture endogène du risque.

L'exemple des études réalisées à Quito insistant sur l'aspect opérationnel, est particulièrement enrichissant. Deux livres publiés dans le cadre du programme de recherche : «Sistema de información y riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito» nous ont servis de référence : le premier s'attache à définir les éléments essentiels pour la gestion du risque : « *Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito* », (D'Ercole R. et Metzger P., 2002) et le second propose une analyse de vulnérabilité : « *Vulnerabilidades del Distrito Metropolitano de Quito* », (D'Ercole R. et Metzger P., 2004). Afin de fournir des orientations aux gestionnaires du risque, l'approche devait être basée sur leurs priorités et leurs capacités. Les recherches ont donc été centrées sur les enjeux majeurs du territoire, définis comme éléments à protéger, et dont la perte est inacceptable pour une société donnée et/ou nuirait fortement à son fonctionnement. Sont ensuite identifiés les facteurs de vulnérabilité de ces enjeux, et

notamment la façon dont ils peuvent être atteints par la menace. Cette approche est novatrice, dans le sens où les concepts classiquement utilisés ont été adaptés à cette nouvelle problématique qu'est la gestion opérationnelle du risque. Elle a permis de faire ressortir les points stratégiques du territoire, leurs vulnérabilités et les orientations possibles afin de les diminuer.

Dans notre cas, on considère la population dans son ensemble comme un enjeu majeur. Sa caractérisation, sa quantification et sa localisation sont des informations directement utiles et correspondant aux attentes des partenaires, notamment la Casa Cotopaxi, afin qu'ils puissent orienter au mieux leurs travaux. On cherchera ensuite à comprendre sa vulnérabilité, non pas seulement à partir d'une liste de critères, mais en intégrant les processus sociaux, territoriaux et politiques qui font la spécificité du Valle de Los Chillos.

Plusieurs questions nous viennent alors : quels sont ces processus à l'origine ou qui influencent la vulnérabilité des populations ? De même, quels sont les processus de réduction de vulnérabilité ? Quelles sont les formes de vulnérabilité identifiables pour la population du Valle de Los Chillos, comment les mesurer et à partir de quels facteurs ? Comment peuvent être traitées ces vulnérabilités et par qui ? ... sachant que ces questions doivent répondre à des réalités du territoire.

3. L'approche systémique comme cadre méthodologique

3.1 Le système territorial Valle de Los Chillos et le risque

On va donc insister sur les spécificités locales et en quoi elles génèrent de la vulnérabilité. L'analyse de la structure et la dynamique du territoire seront déterminantes, prenant en compte la construction sociale du risque. Comment et dans quel cadre aborder alors la vulnérabilité du territoire et de ces populations ?

Nous chercherons à formaliser notre raisonnement grâce à l'approche systémique qui offre un cadre méthodologique rigoureux et particulièrement adapté à l'analyse des problématiques complexes auxquels nous sommes confrontées.

D'après B. Walliser (1997), un système se définit selon trois notions interconnectées, toutes se référant à la notion d'unité. Le Valle de Los Chillos sera considéré comme l'unité spatiale à étudier (Cf. annexe 2 : *Le Valle de Los Chillos : localisation, découpage administratif et occupation du sol*). Ces notions sont les suivantes :

- « *Unité composée de sous système en interactions qui assure une cohérence* »

Ce n'est pas la somme des éléments qui fait le système mais les interactions entre ces éléments. La notion d'interaction est donc fondamentale car elle est à l'origine de l'existence du système.

Le système Valle de Los Chillos s'organise sur un territoire délimité, présentant des spécificités identifiables influençant son fonctionnement et sa dynamique. Si l'on distingue deux sous systèmes administratifs, l'Administration Zonale Valle de Los Chillos et le canton de Rumiñahui, la dynamique urbaine se caractérise par les nombreuses interactions entre ces deux entités, d'un point de vue des activités, de la mobilité des personnes, etc., illustrant la pertinence de considérer l'organisation territoriale au niveau de l'ensemble du Valle de Los Chillos. Ce territoire, à la périphérie de Quito, est notamment caractérisé par son attractivité et un développement important.

- « *Unité identifiable dans un environnement donné et possédant (ou non) des relations avec cet environnement, de telle sorte qu'elle possède une certaine autonomie* »

La dynamique du système est fortement dépendante de son environnement régional, le District Métropolitain, et en particulier la ville de Quito. Les liens politico administratifs, flux de population, dynamiques d'attraction économique ou touristique, font partie intégrante de l'évolution du Valle de Los Chillos, qui, en tant qu'unité territoriale, cherche à s'adapter à cet environnement à partir de ses propres ressources, de ses spécificités, de ses capacités. Nous verrons par la suite que les deux entités administratives présentent cependant des spécificités quant aux capacités et aux politiques de développement.

- « *Unité subissant des modifications dans le temps tout en conservant une certaine permanence* »

L'évolution du Valle de Los Chillos s'organise autour de multiples variables dynamiques telles que les flux de populations, le développement d'activités et la croissance urbaine. La construction de nouvelles centralités en périphérie de la capitale quiténienne caractérise bien cette dynamique et ses spécificités. En terme de vulnérabilité, l'action politique notamment la planification territoriale, les actions de prévention et de préparation à la gestion de crise, modifient constamment la capacité de réponse du système, dans le temps comme dans l'espace. Ces évolutions se basent sur une structure et une organisation constante, sans être figée, ainsi que des contraintes.

On notera que les modifications du système résultent de sa propre dynamique et ne sont pas subies comme l'entend Walliser. Notre objectif, par l'analyse de la vulnérabilité, est de définir justement les processus de construction du risque.

L'approche systémique permet d'éclairer le cadre territorial et les éléments en interactions qui déterminent sa structure et son organisation. Elle va nous aider à comprendre la relation entre la population, le territoire et sa gestion politique, et ainsi orienter notre approche de la vulnérabilité.

3.2 Comment aborder la vulnérabilité du Valle de Los Chillos dans le cadre systémique ?

a. Définition de la vulnérabilité

A. Dauphiné (2001) considère la vulnérabilité comme la « fragilité d'un système dans son ensemble, et de manière indirecte, sa capacité à surmonter une crise provoquée par un aléa ». La société considérée comme système implique de réfléchir sur les interactions entre les différents éléments qui la composent et avec son environnement ; sa capacité illustre son rôle actif face à la crise. D'Ercole (2004), s'appuyant des travaux de Blaikie (Blaikie et al., 1994), insiste sur l'importance de cette notion de capacité, considérant que les sociétés peuvent générer le risque, l'amplifier, en faire varier les caractéristiques et à l'inverse, peuvent éviter les phénomènes destructeurs, au moins les anticiper, y résister et récupérer suite à leur occurrence.

Selon les travaux récents de Leone (Leone et al., 2006), on considère la vulnérabilité comme un système dynamique, articulé autour d'une multitude de facteurs en interaction, considérant que la vulnérabilité d'un territoire n'est pas réductible à la somme des vulnérabilités des enjeux exposés, et la vulnérabilité d'un enjeu ne peut se définir sans le tout.

L'analyse de la vulnérabilité doit prendre pour base la compréhension du territoire ; notamment la matérialisation du risque, les enjeux ainsi que les acteurs qui interviennent. Nous avons replacé quelques uns de ces éléments afin d'orienter, et de justifier notre analyse.

L'approche systémique va nous permettre de formaliser les interactions partielles entre les éléments du système, intégrant à la fois les spécificités locales et facteurs universels, et prenant en compte leur évolution dans le temps (Pigeon, 2005). On insistera sur le fait que l'évolution d'une société face au risque dépend de ses choix de développement ou spécificités locales, qui vont faire varier la matérialisation des facteurs universels tel que l'augmentation de la densité liée à l'urbanisation, ou la gestion politique du risque.

b. Le système risque du Valle de Los Chillos, identification des éléments clefs de la vulnérabilité

Trois sous systèmes sont identifiés sur le territoire du Valle de Los Chillos, le **système de gestion politico administratif** (lui-même rassemblant deux sous systèmes administratifs), le **système territoire** et le **système population** (Cf. annexe 3 : *Système du risque et analyse de la vulnérabilité des populations du Valle de Los Chillos*).

La gestion de l'aléa est intégrée, et elle influence directement l'organisation du système. Ainsi, la vulnérabilité résulte d'interactions dynamiques entre ces sous systèmes. On peut alors identifier un macro système complexe du risque. L'analyse de ce macro système permet de mettre en avant les processus de construction de vulnérabilité et les éléments déterminants de ces processus. On confirme alors que la vulnérabilité de la population dépend du contexte territorial et politique, cependant ces relations sont à préciser.

Les points qui sont mis en avant sont les suivants :

- Des disparités semblent apparaître entre des zones rurales et une agglomération urbaine en plein développement.
- Les incertitudes concernant la menace d'un côté, la nécessité de poursuivre le développement de l'autre, semblent influencer sur la politique de planification préventive, justifiant la poursuite du développement urbain provoquant la concentration de la population en zone exposée.
- Les politiques de planification préventive sont très différentes d'une administration à l'autre : le canton de Rumiñahui favorise le développement des activités économiques alors que l'AZVCH restreint l'occupation résidentielle. Cela s'explique en partie par la nécessité du canton de Rumiñahui de générer ses propres ressources (impôts), alors que l'AZVCH est dépendante du District Métropolitain de Quito sur ce point.
- Le secteur de San Rafael est privilégié compte tenu de l'accessibilité et des facilités d'échanges avec Quito liés à l'autoroute Rumiñahui, ainsi que pour sa proximité au bourg de Sangolqui ; c'est en même temps un des secteurs les plus exposés.
- En parallèle, la reconnaissance du risque est réelle, marquée par l'organisation de la préparation à la gestion de crise, par les autorités et impliquant plus ou moins la communauté, depuis les programmes de sensibilisation, jusqu'à la responsabilisation et l'incitation à la participation aux prises de décisions.
- La politique de planification préventive oblige en quelque sorte à renforcer la politique de gestion de crise et de préparation de la population.

c. Reconnaître la complexité

D'après Pigeon, la complexité est générée par l'intensification des interactions partielles entre plusieurs systèmes. Elle caractérise un macro système complexe d'une société en co-évolution avec le risque, et comme nous venons de le voir, le Valle de Los Chillos présente ces caractéristiques. Plusieurs formes de complexité peuvent être distinguées, nous les aborderons brièvement, car elles permettent de mieux cerner notre problématique.

- La **complexité structurelle** est une première forme définie par Dauphiné (2003). L'interaction d'un grand nombre d'éléments crée la complexité. Comme nous venons de l'évoquer, la vulnérabilité de la population surgit de différents processus sociaux, politiques et territoriaux faisant intervenir de nombreuses variables.

- Une seconde forme de complexité est illustrée par la **variation des échelles et niveaux d'organisation**. Ainsi, on distingue des imbrications d'échelles, les sous systèmes vont définir la dynamique interne, elle même en relation avec des systèmes supérieurs ou l'environnement. Par exemple, la dynamique du système de l'agglomération urbaine du Valle de Los Chillos est caractérisée par un système urbain, sa population et deux sous systèmes administratifs. En passant à l'échelle supérieure, le système est intégré à la région urbaine de la capitale équatorienne. Les différentes unités urbaines, Quito et ces périurbanisations, caractérisent un macro système.

Les spécificités administratives du territoire illustrent bien l'imbrication des niveaux d'organisations, directement liés aux changements d'échelles. Comme nous l'avons déjà évoqué, l'agglomération urbaine étudiée, est divisée en deux administrations, d'un côté l'Administration Zonale Valle de Los Chillos, de l'autre le canton de Rumiñahui. Nous ne discuterons pas ici de la pertinence de cette délimitation en l'occurrence basée sur le réseau hydrographique. On fait face ici à deux sous systèmes caractérisés par une organisation interne propre mais qui sont directement dépendants du fait de l'unité de l'urbanisation, et en particulier pour la gestion du risque.

Quelques exemples permettent d'illustrer une situation délicate : la gestion des refuges en cas d'évacuation a été récemment mis en commun, mais la qualité de l'information reste très inégale. Et des questions restent ouvertes. Les populations affectées d'une administration pourront-elles être hébergées dans les refuges de son homologue ? A-t-on prévu une capacité suffisante pour gérer ce type de cas ?

La gestion du réseau routier est un autre exemple de ces imbrications d'échelles, il n'existe pas de politiques coordonnées qui seraient pourtant nécessaires à l'amélioration des conditions de circulation. Les projets semblent s'arrêter aux limites administratives, ce qui est flagrant sur les cartes de chacune des unités.

Autre exemple, les constructions aux abords des rivières pourraient modifier les conditions d'écoulement des lahars, notamment favorisant une concentration et/ou une déviation des flux, ou encore le risque d'embâcle lié à la présence de ponts. De l'amont à l'aval, la politique d'aménagement territoriale du Canton de Rumiñahui concerne alors l'Administration Zonale.

A l'extrême, il est arrivé à la Croix Rouge de Rumiñahui de transférer un patient à leurs acolytes pompiers de l'Administration Zonale afin qu'il puisse être acheminé jusqu'à Quito.

A l'échelle supérieure, la complexité apparaît encore plus flagrante du fait du « fossé » qui sépare le Canton de Rumiñahui du District Métropolitain de Quito, notamment en termes d'image, de moyens et de compétences. On distingue ainsi plusieurs niveaux de prise de décision, plus ou moins dépendants les uns des autres.

Enfin, des niveaux d'organisation supplémentaires apparaissent à plus grande échelle. Les administrations zonales et le canton de Rumiñahui sont encore subdivisés en paroisses, dont la gestion est particulièrement marquée par la participation communautaire. L'organisation des populations en quartier constitue un niveau essentiel pour comprendre la dynamique du territoire.

En bout de chaîne, l'individu va donc être plus ou moins attaché aux différents niveaux d'organisations. On peut illustrer la complexité qui résulte de ces niveaux d'organisation en cherchant à définir l'efficacité d'une politique prise au niveau du District sur l'individu. En effet, si elle n'est pas relayée par les niveaux inférieurs, il est fort probable qu'elle soit peu acceptée et de faible impact. La prise en compte de ces niveaux est fondamentale pour comprendre le territoire et sa dynamique, et de même pour la gestion des risques dont l'efficacité dépend de l'acceptation et de la participation de la population.

- La troisième forme reconnue de la complexité est **l'évolution non linéaire**, c'est-à-dire caractérisée par un comportement non prévisible. Dauphiné insiste sur l'absence de proportion entre la cause et l'effet. L'exemple communément cité est celui de l'« effet papillon », où un battement d'aile de papillon en Inde peut provoquer un ouragan en Amérique Latine, soit une petite cause provoquant un grand effet. Ce raisonnement confirme l'importance des relations entre un grand nombre d'éléments, forme de complexité premièrement évoquée. La modification d'un élément va avoir des répercussions plus ou moins importantes sur l'ensemble du système. Il est donc intéressant d'analyser les éléments clefs qui vont influencer les réactions du système. Ces éléments sont plus ou moins directement visibles ou perceptibles sur le terrain, et permettent d'éclairer la dynamique particulière de ce territoire.

Reconnaître la complexité nous pousse à proposer une nouvelle vision du risque, notamment en introduisant la gestion de l'incertitude. Selon Godard (2002), « l'incertitude désigne les situations qui échappent aux probabilités objectives », et se caractérise par la difficulté d'imaginer tous les scénarii possibles et leurs probabilités, et inclue la possibilité de surprises. L'enjeu est alors de gérer au mieux ces incertitudes, en les réduisant le plus possible. Il faut

pour cela les identifier et comprendre les processus qui en sont à l'origine, afin de pouvoir orienter les politiques de gestion. On est alors conscient de l'efficacité partielle des politiques, qui n'ont pas la capacité de supprimer le risque. Elles peuvent cependant réduire ce risque en conciliant les différents enjeux du territoire.

3.3 Les outils, justification et avantages ?

Les outils privilégiés pour la réalisation de ce travail ont été l'exploitation et la création de base de données et l'utilisation d'un système d'information géographique permettant la spatialisation des données et divers croisements d'information.

Nous avons utilisé SavGIS, logiciel gratuit développé par l'IRD et actuellement utilisé par la Direction de Planification Territoriale de Quito. On disposait alors d'une base de données conséquente, que nous pouvions aussi compléter. Une difficulté est apparue avec le Canton de Rumiñahui car les informations étaient stockées sous Autocad, leur transfert à SavGIS s'est donc avéré nécessaire. Le résultat est particulièrement intéressant, puisqu'il permet l'uniformisation de l'information entre le District Métropolitain de Quito et le Canton de Rumiñahui.

L'analyse des bases de données existantes, tout particulièrement le recensement de l'INEC réalisé en 2001, a représenté une partie importante du travail de caractérisation de la population du Valle de Los Chillos. Cependant, compte tenu des objectifs, la récolte de données supplémentaires et leur cartographie a été nécessaire.

L'utilisation de ces outils, propres à la géographie, s'est révélée très pertinente. En effet, on a constaté, notamment aux travers des différents documents, études et présentations disponibles auprès des acteurs, une lacune en termes de systématisation des données et leur spatialisation. Un des objectifs a été de faire comprendre l'intérêt de ces outils, mettant en avant leurs avantages, c'est-à-dire :

- la conservation et le partage d'information,
- la mise à jour des données,
- l'analyse les travaux réalisés notamment sous forme de retour d'expérience,
- leur spatialisation.

Il représente ainsi un outil d'évaluation mais aussi un outil opérationnel (Lavigne, 1998). Il semble donc intéressant d'encourager l'utilisation de ces outils, ce qui veut dire convaincre mais aussi apporter les compétences et les méthodes aux acteurs locaux afin qu'ils puissent réaliser un travail plus efficace.

Enfin, on rappellera la critique de Menard (2002), lorsqu'elle affirme que « les technologies d'information géographique et de cartographie inspirent l'épidémiologie spatiale mais ne produisent pas de géographie ». Il ne suffit donc pas de faire des cartes et de produire des données, mais de les intégrer à une analyse de la problématique, ce que nous chercherons à faire dans ce travail.

Cette remarque semble être très pertinente. En effet, au cours des réunions avec les différents acteurs de la gestion du risque du Valle de Los Chillos, on a constaté beaucoup de bonne volonté mais aussi des propositions qui pourraient être améliorées. Par exemple, le représentant de la communauté, en accord avec la sécurité civile, insiste sur la nécessité de réaliser un recensement complet, précis et en urgence de la population exposée. Cela demande des moyens importants mais plusieurs critiques peuvent être faites. D'abord se poser la question de son utilité : les estimations dont on dispose ne sont elles pas suffisantes pour organiser la gestion de crises ? Quelles sont les informations complémentaires que l'on

pourrait attendre d'un tel recensement ? Enfin, quels sont les réels problèmes de la gestion de crises et est-on prêt à les affronter ?

De même le Canton de Rumiñahui est en train de réaliser un travail « titanesque » d'inventaire des centres économiques et sociaux de son territoire : centres commerciaux, commerces, établissements scolaires et de soins, sans que les objectifs ne soient clairement définis. On parle en même temps de gestion du risque, ainsi que d'insécurité.

Dans les deux cas évoqués, on risque de disposer d'une base de données certes intéressante mais peut-être trop générale pour répondre aux problématiques auxquelles on est confronté. Enfin, une base de données reste sans utilité si elle n'est pas suivie d'une analyse, ce à quoi on doit réfléchir préalablement afin de réaliser un travail efficace.

Dans notre cas, nous chercherons donc à orienter l'analyse des données en fonction de la compréhension du territoire, avec à l'esprit l'intérêt et l'application des résultats.

Nous avons présenté dans cette première partie le cadre général de la recherche, d'abord les objectifs visés en lien avec les différents acteurs et la problématique du risque à l'échelle du Valle de Los Chillos. Nous avons ensuite introduit l'approche qui sera privilégiée pour ce travail, notamment l'aspect opérationnel et la compréhension de la vulnérabilité abordant les aspects socio, territoriaux et politiques du risque. L'approche systémique fournira le cadre de réflexion, permettant d'aborder le sujet dans toute sa complexité. Enfin, l'utilisation d'outils propres à la géographie, en particulier le SIG, se justifie pleinement, offrant capacités d'analyse et de traitement très valorisables. Suite à cette introduction à la fois conceptuelle et méthodologique, nous pouvons aborder les principaux éléments du risque du Valle de Los Chillos, ainsi que les processus qui entrent en jeu, apportant des clés indispensables à la compréhension du système.

2^{ème} partie : Analyse du risque et identifications des principaux enjeux

1. La matérialisation du risque des lahars : cartographie de l'aléa et politique

Mon sujet de recherche concerne la vulnérabilité des populations exposées au risque de lahars lié à une potentielle éruption du volcan Cotopaxi dans la vallée des Los Chillos. La majorité des études de risque concernent la menace, le phénomène physique. C'est a priori la partie que l'on maîtrise le mieux.

Nous nous arrêterons cependant pour discuter du zonage de l'aléa servant de base à la réalisation de ce travail. La population prise en compte, au moins celle directement exposée, dépendra en effet des limites choisies. On constate d'abord que les spécificités des phénomènes volcaniques et associés, les lahars dans notre cas, rendent l'étude de l'aléa particulièrement complexe. Ensuite, la réalisation d'un zonage, qui a priori s'en tient à l'étude du phénomène physique, s'avère être l'objet d'une multitude d'autres contraintes, faisant ressortir complexité et incertitude.

1.1 Le phénomène de lahar

Le volcan Cotopaxi se situe à une soixantaine de kilomètres au Sud de Quito. Dépassant les 5000 m d'altitude, il porte une calotte glaciaire qui lui vaut le nom de Nevado. Son activité volcanique est caractérisée par sa jeunesse et une grande explosivité, liée à la subduction de la plaque Nazca sous le continent sud américain. L'éruption du volcan Pichincha en 1999, du Reventador en 2002 et récemment la reprise d'activité du Tungurahua depuis 1999, avec un pic éruptif en Août 2006, obligeant l'évacuation des populations et causant 6 morts, justifient la préoccupation accordée aux risques volcaniques.

Le risque principal en cas d'éruption du Cotopaxi serait le déclenchement de lahars synéruptifs, générés par la fonte accélérée des glaces exposées aux retombées pyroclastiques. Le classement en Parc Naturel, s'ajoutant à des conditions climatiques et topographiques contraignantes expliquent la faiblesse du peuplement aux alentours du volcan, lesquels pourraient être exposés à d'autres phénomènes d'extension moindre.



Photo 1 : Bloc déposé par les lahars au Nord de San Rafael

Photo 2 : Dépôts de lahars sur les flancs du Cotopaxi (photo IG EPN)



Le terme de lahar tient son origine d'Indonésie, Lavigne et Thouret (2000) en précisent la définition en les décrivant comme des « écoulements bi phasiques de débris et d'eau, autres que des écoulements fluviaux, s'écoulant d'un volcan à vitesse rapide ».

Les lahars sont couramment apparentés aux laves torrentielles, à l'interface entre les mouvements de terrain et les écoulements fluides. La complexité des conditions d'écoulements rend particulièrement difficile leur modélisation. A la différence des laves torrentielles, un lahar mobilise des volumes d'eau important et des matériaux volcaniques

lubrifiés par des cendres plutôt que par de l'argile, et de ce fait, se distingue par sa dangerosité en relation aux distances parcourues et aux volumes mobilisés. L'éruption du Nevado del Ruiz en Novembre 1985 (Colombie) est une référence tristement célèbre et marque bien les dangers de ce type d'évènements ; les lahars provoqués vinrent ensevelir la ville d'Armero causant la mort de 25 000 personnes.

L'étude de ces phénomènes est rendue difficile due à une dynamique d'écoulement très particulière, avec des vitesses et des débits plus élevés, et une capacité de transport beaucoup plus importante que les écoulements torrentiels ou fluviaux (Cf. Photos 1 et 2). A titre d'exemple, le débit de pointe des lahars de 1877, dernière grande éruption du Cotopaxi, a été estimé à 40 000 m³/s (Hall, 2004) et l'onde de crue consécutive fut ressentie à plus de 200 km.

1.2 Evolution des cartes d'aléa, scénarii et lacunes d'information

La carte d'aléa actuelle présente une zone de référence basée sur l'étendue des lahars générés par l'éruption de 1877. Elle s'appuie sur des reconnaissances de terrain réalisées par l'Institut Géophysique de l'Escuela Politecnica Nacional (IG EPN), des données historiques, confirmées par les témoignages de plusieurs personnes vivant en ces lieux. On parle d'un champ de pierres en lieu et place de l'actuelle urbanisation de San Rafael.

Cette carte réalisée en 2004 remplace celle de 1989 (Cf. annexe 4 : Cartographies des lahars du volcan Cotopaxi : zonage de 1989 et actualisation). Elle se base uniquement sur le scénario de 1877 considéré comme le plus probable, alors que l'ancienne carte faisait apparaître une zone de risque mineur correspondant à une éruption d'intensité supérieure à celle de 1877. La probabilité de cet événement est actuellement considérée comme trop faible pour qu'il soit représenté.

Ce choix est renforcé par les récentes mesures de l'état du glacier du Cotopaxi réalisées par l'Institut Géophysique et l'IRD. La calotte glaciaire a connu une régression significative, en particulier sa superficie qui a diminué de 31 % entre 1976 et 1997. Selon les études réalisées sur le Nevado del Ruiz (Pierson et al., 90 ; Thouret, 90), la surface du glacier pouvant être exposée aux flux pyroclastiques est le facteur principal conditionnant le volume d'eau généré à l'origine des lahars. L'épaisseur de glace apparaît moins déterminante. Ainsi les lahars attendus, pour une même intensité éruptive, seraient par conséquent d'ampleur moindre.

Par ailleurs, si la carte fait état de l'extension probable des lahars, d'ampleur similaire à ceux de 1877, plusieurs scénarii sont cependant reconnus, exactement 4. Pour le premier scénario, seuls des lahars de petites tailles seraient attendus, sans conséquence pour le Valle de Los Chillos. Il correspondrait au niveau de base d'un nouveau stade éruptif, à partir duquel le volcan pourrait évoluer vers d'autres stades plus explosifs correspondant aux scénarii 2, 3 et 4. Pour le second scénario, les écoulements pyroclastiques pourraient générer des lahars importants, de moindre ampleur (environ 50 %) en rapport à ceux de 1877. La probabilité de cet événement, une fois initié le processus éruptif (scénario 1), est estimée à 30 % (Samaniego, et al. 2004). Son extension n'apparaît pas sur la carte. Le scénario 3 correspond à l'éruption de 1877, avec une probabilité estimée à 60 %. Le dernier scénario, le plus explosif et le plus dangereux, correspond à des phases éruptives préhistoriques. La dernière éruption de ce type date d'environ 1000 ans. On lui affecte une probabilité de 10 %. L'ampleur des lahars provoqués dépasserait celle des lahars historiques connus, (dont ceux de 1877 constituent la référence).

La carte d'aléa qui aujourd'hui fait office de référence, et majoritairement utilisée, représente uniquement l'étendue estimée de l'évènement de 1877. Elle ne contient aucune information concernant les différents scénarii envisagés. Il est cependant admis, du moins par les scientifiques, qu'il existe une probabilité d'occurrence de scénarii de plus grande ou de

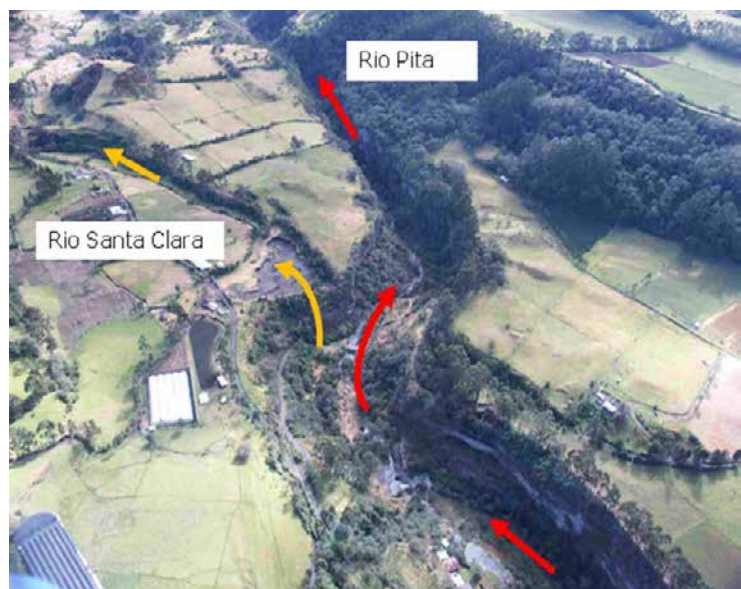
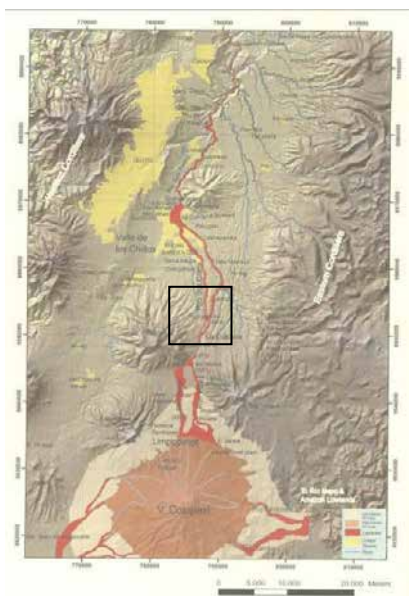
moindre envergure. Ce constat montre la difficulté pour les scientifiques d'aboutir à des estimations plus précises des phénomènes, et nous allons le voir à les faire accepter.

1.3 L'anthropisation du risque

Outre la connaissance même du dynamisme éruptif du Cotopaxi, une série de facteurs rend encore plus délicate l'étude de l'aléa.

Premier point, la configuration actuelle de la zone s'est considérablement modifiée, notamment dû à la forte urbanisation. Les constructions en limites des rivières sans prise en compte du risque sont particulièrement mises en avant. Elles pourraient influencer directement sur l'aléa en modifiant les conditions d'écoulement. Un cas de ce type a été observé suite à l'éruption du volcan Pichincha en 1999. Un lahar secondaire, provoqué par la mobilisation des cendres récemment déposées par l'éruption, emprunta une avenue alors qu'on s'attendait à ce qu'il suive le talweg, trajectoire normalement connue. Le lahar s'est ensuite dispersé dans le quartier, empruntant les différentes artères qui lui étaient ouvertes. Conscient de ce risque, l'Institut Géophysique projette de réaliser une modélisation de l'écoulement, en prenant en compte les constructions aujourd'hui présentes. Ces constructions, qui n'existaient pas en 1877, pourraient engendrer une concentration des flux, ou au contraire sa déviation, par exemple dans le cas du centre commercial San Luis, situé à l'intersection des rivières Santa Clara et Pita d'où viendraient les lahars, et dont la taille permet de supposer un impact non négligeable sur l'écoulement des flux.

Le site de la Caldera (Cf. photo ci-dessous), situé dans la paroisse de Rumipamba, au Sud du canton de Rumiñahui, est un autre point à considérer. Le Rio Pita forme ici une courbe marquée due à la présence d'un épaulement rocheux massif. En 1877, les lahars descendant le Rio Pita, débordèrent cet épaulement qui atteint une altitude de 28 m, pour emprunter le Rio Santa Clara qui prend sa source un peu plus en aval. Les flux de lahars se sont alors divisés jusqu'à confluer de nouveau au niveau du centre commercial du San Luis évoqué précédemment. L'exploitation de cet épaulement pour des matériaux de construction n'est quasiment pas prise en compte concernant le thème de la modification de l'aléa. Le risque d'augmentation du risque est cependant reconnu, car l'exploitation est aujourd'hui interdite. De même, sur ce site même, a été envisagé la construction d'une digue de déviation, qui fut abandonnée et qui dans tout les cas ne réglait pas le problème puisque concentrant la totalité des flux dans le seul talweg du Rio Pita.



Carte 1 : Zonage des lahars du Cotopaxi (IG EPN).

Photo 3 : La Caldera vue d'avion, 28 m d'escarpement sépare le Santa Clara du Rio Pita mais furent franchis par les lahars en 1877 (source : IG EPN)

1.4 Limites du zonage de l'aléa

D'après les différentes observations précédentes, le zonage proposé fait état de nombreuses limites.

Les premières sont liées à la prise en compte des différents scénarii qui vont déterminer l'ampleur des lahars générés. On peut cependant considérer que la diminution du volume de glace disponible permet de supposer une ampleur moindre en comparaison aux événements historiques. On reconnaît la possibilité d'éruption plus violente bien que moins probable. Mais, une éruption d'ampleur moindre déclencherait-elle le dispositif de crise mis au point en fonction de l'évènement de référence ?

La seconde source d'incertitude concerne l'écoulement même des lahars, influencé par la configuration du terrain et l'urbanisation. Il est donc très difficile de prévoir exactement les limites d'écoulements qui vont dépendre aussi du volume mobilisé, de la viscosité, des obstacles rencontrés ...

Les travaux se poursuivent dans ce domaine, avec des projets de modélisation, cependant on va voir que la problématique du zonage intègre d'autres enjeux.

Il est important d'avoir en tête ces limites, et notamment d'analyser leur matérialisation sur le terrain. La partie suivante, concernant ce qu'on appellera la négociation du risque, permettra de fournir les éléments complémentaires qui permettent une lecture géographique du risque du Cotopaxi, intégrant les aspects socio politiques.

2. La négociation du risque

L'élaboration de la carte d'aléa résulte d'une négociation avec les différentes parties concernées. Les scientifiques ont dû se justifier, et si la limite a pu être déplacée de quelques mètres, la zone cartographiée est en accord avec les travaux réalisés sur le terrain. La concertation a permis de s'assurer de la reconnaissance de ces travaux, sans parler d'acceptation. En effet, le logo de chaque participant est affiché sur la carte. Cependant, il est nécessaire d'aller plus au fond du problème. Plusieurs points, participant à la construction de vulnérabilités, sont identifiables.

2.1 Une cartographie politique

La cartographie propose un scénario de référence, en l'occurrence basé sur l'évènement de 1877, sans graduation du risque. Si les scientifiques insistent sur le terme de « référence », il semble que plusieurs points restent flous, et ce de façon plus ou moins volontaire. En effet, la carte proposée est perçue comme l'unique scénario, et l'on oublie vite les incertitudes évoquées plus haut. Pour les responsables de la gestion du risque, cette limite est la limite maximale, impression confortée dans le contexte du réchauffement climatique, provoquant le retrait des glaciers, et sa médiatisation. Usant de ces arguments, ils semblent ne pas vouloir considérer un évènement de plus grande amplitude mais au contraire se rassurent à imaginer des conséquences moindres. Il est vrai qu'une fois sur le terrain on a du mal à s'imaginer l'ampleur du phénomène tel qu'il est décrit sur les cartes, et cependant les vestiges sont bien présents. Des blocs énormes font mêmes offices d'ornements devant plusieurs édifices. Le choix des zones de refuges confirme la perception du risque par les responsables, pourtant les mieux informés. On constate que certains refuges se situent à moins de 100m de la zone de risque, une auberge est même située en zone exposée.

Un autre point concerne la logique politique. En effet, si le canton de Rumiñahui a participé à l'élaboration de la carte réalisée par l'Institut Géophysique, et accepté cette carte y faisant apparaître son logo, on observe avec étonnement que cette même administration utilise un zonage réalisé par une Université de la zone, L'Escuela Superior Politecnica del Ejercito. (Cf. annexe 5 : *Cartographies des lahars du volcan Cotopaxi : zonages de l'IG EPN et de l'ESPE*) à rajouter en annexe. Cette dernière a proposé un travail basé sur des simulations numériques et conforté par les sources historiques. L'extension spatiale du zonage s'arrête aux limites administratives, justifiée par l'absence de moyens financiers. On comprend l'affinité qui relie le canton à son Université, cependant se pose le problème de coordination et de correspondance des zonages utilisés. Par chance, les deux zonages sont quasiment similaires, bien que certains détails puissent faire l'objet de discussions. On constate par exemple, qu'un refuge du canton de Rumiñahui situé en limite de la zone exposée selon l'ESPE, est en zone de risque selon le zonage de l'Institut Géophysique ! Le principal problème est plutôt constitué par la reconnaissance des autorités responsables et une lacune de coordination au niveau supérieur permettant ces dysfonctionnements. En effet, l'Institut Géophysique a été reconnu organisme officiel pour la gestion du risque par décret de l'Etat équatorien en 2003. On a donc sur le même territoire deux sources distinctes, qui illustrent bien le manque de coopération qui persiste aujourd'hui.

Revenons sur le zonage proposé. On peut constater que plusieurs arguments scientifiques, soutenus autant par l'Institut Géophysique que par l'ESPE., justifient la réduction du zonage par rapport à l'ancienne carte de 1987, cependant elle répond aussi à des contraintes politiques et économiques.

L'ancienne zone de risque mineur était en effet très étendue, et sa représentation se heurte fortement aux objectifs de croissance urbaine. Son acceptation est d'autant plus difficile que

sa probabilité est faible. Il paraît alors nécessaire d'aborder la dynamique territoriale du Valle de Los Chillos et son influence sur la matérialisation du risque.

2.2 Des enjeux territoriaux influents

Le développement territorial s'organise autour d'un nouveau centre urbain, San Rafael et ce qui est appelé « el Triangulo » (Cf. Photo 4), zone directement exposée au risque de lahar. Il nous faut recentrer le contexte de développement de ce territoire.

Zone suburbaine de Quito, le Valle de Los Chillos a connu un développement tardif et accéléré, et la région urbaine de Quito est encore marquée par une forte centralisation. Les vallées suburbaines souffrent d'un sous équipement en services de base et de difficultés concernant divers flux en particulier liés aux conditions d'accès. Ces lacunes représentent des enjeux de développement urbain importants et à long terme, nécessitant la coordination et planification car on parle ici de projets relativement lourds. Le besoin de coordination se fait d'autant plus ressentir avec le canton de Rumiñahui. Pour pallier à ces difficultés, la politique s'oriente actuellement vers une concentration des constructions afin de rentabiliser les services, qui se traduit par l'augmentation des enjeux en zone exposée.

Il existe aussi une concurrence avec les vallées voisines de Cumbaya et Tumbaco, au profil similaire, concernant les investissements. En effet, ces vallées situées plus au Nord sont considérées comme beaucoup moins exposées au risque du Cotopaxi. La reprise d'activité du volcan en 2001 a fait resurgir la conscience d'un risque dans le Valle de Los Chillos, engendrant une perte de valeur des terrains et avantageant par conséquent les vallées voisines. On observe aujourd'hui que plusieurs constructions du Valle de Los Chillos furent abandonnées suite à l'évènement de 2001, confirmant la dévalorisation des terrains. De plus, le projet de nouvel aéroport joue en faveur des agglomérations de Tumbaco et de Cumbaya, accentuant la crainte de voir fuir les investissements.

Durant cette même période, ont été acquis à prix bas les terrains du nouveau centre commercial de San Luis (Cf. Photo 5). Un processus de construction de vulnérabilité s'identifie ici, marquant la complexité et l'intérêt d'un regard critique sur la matérialisation du risque et sa construction sociale. Le centre commercial San Luis, dont nous avons déjà parlé concernant le risque de modification des écoulements, est un des plus grands centres commerciaux de la région. Il profite ici d'une bonne situation d'un point de vue économique, liée à l'attractivité du territoire caractérisée par une forte vocation résidentielle et une demande croissante pour ce type de service de la part des classes moyennes majoritairement représentées. Ce centre commercial représente une nouvelle source d'attractivité favorisant la dynamique de la zone. On peut donc s'attendre à une densification de l'urbanisation et des activités associées. Apparaît ici un exemple de boucle de rétroaction positive, le territoire par son attractivité attire de nouvelles activités, qui vont par la suite rendre le territoire encore plus attractif. L'intensification de l'urbanisation et de la fréquentation associée augmentent ici directement le risque. En parallèle, cet investissement est perçu comme la preuve de l'absence de risque, la construction d'un tel centre commercial n'ayant pu s'être réalisée qu'en connaissance de cause. Pour beaucoup, il est tout à fait improbable que les investisseurs aient pris quelconque risque. Les enjeux politiques et économiques provoquent parfois une perte de rationalité, et ici, accentuent le risque.



Photo 4 : Trafic dans la zone du « Triangulo »

Photo 5 : Le centre commercial San Luis construit après 2001 en zone exposée, vue depuis le Sud avec au fond le volcan Ilalo.

Les enjeux de développement du Valle de Los Chillos sont une composante du risque. Sa construction socio politique justifiant la lecture endogène proposée dans la partie précédente.

La vulnérabilité est le résultat de choix politiques, caractérisée par une croissance urbaine augmentant progressivement l'importance des enjeux en zone exposée, ainsi qu'une vulnérabilité sociale marquée par l'exposition de la population paradoxale à la reconnaissance du risque.

Ainsi, le zonage de l'aléa des lahars du Cotopaxi doit être pris avec prudence et fournir des éléments pour une meilleure compréhension du risque. Il reflète d'abord de nombreuses incertitudes, et au-delà, illustre la vision socio politique du risque qui caractérise le Valle de Los Chillos. Les incidences sont importantes en termes de vulnérabilité, notamment concernant l'exposition des populations. La gestion de crise apparaît alors comme un outil complémentaire, et de première importance ici. Nous en aborderons quelques aspects afin de mieux cerner ses enjeux.

3. Spécificité de la gestion de crise : gestion de l'alerte et de l'évacuation

Les crises correspondent à des « situations de dérèglement organisationnel et de désordre en chaîne qui affectent le social, l'économique et l'environnement » (Dubois-Maury et Chaline, 2002). Patrick Lagadec (O. Godard et al., 2001) cite Uriel Rosenthal : « une crise est une menace sérieuse affectant les structures de base ou les valeurs et normes fondamentales d'un système social, qui – en, situation de forte pression et haute incertitude – nécessite la prise de décisions cruciales ». Il ajoute « avec la crise on passe du savoir à l'incertain, du technique au politique ». Que retiendra-t-on de ces définitions ? D'abord le fait que l'on sort du cadre conventionnel, ensuite que ce dérèglement nécessite des décisions, techniques et politiques, délicates du fait des incertitudes.

On traitera ici de la gestion de crise en distinguant plusieurs phases, la pré-crise, la crise a proprement parlée, et l'après crise.

La pré-crise concerne la préparation des organismes et de la population. Dans le cas du Cotopaxi, la reprise d'activité en 2001, bien que de faible intensité, peut être considérée comme un déclencheur d'une phase de pré-crise. Le volcan voisin Cayambe, lui aussi actif, ne fait par exemple l'objet d'aucune étude ; son système de surveillance a même été utilisé pour remplacer celui détruit lors de l'éruption du Tungurahua en 2006.

Il est intéressant de se projeter dans la phase de crise, afin justement de mieux s'en prévenir. Nous aborderons ici quelques éléments, issus notamment de retour d'expériences, qui vont nous permettre d'orienter nos travaux. Les crises liées aux éruptions volcaniques s'avèrent en effet particulièrement complexes à gérer, présentant des caractéristiques bien spécifiques. Un des points clefs concerne la durée de la crise et les incertitudes liées à sa prévision, les phénomènes éruptifs pouvant se prolonger dans le temps sans que ne diminue la menace comme on l'observe depuis 1999 au Tungurahua.

3.1 Des retours d'expériences riches d'enseignements

Le volcan Cotopaxi dispose d'un système de surveillance de qualité (www.igepn.edu.ec), cependant compte tenu d'expériences vécues ici même en Equateur, on peut s'attendre à des difficultés.

Un exemple nous est donné concernant la ville de Quito (D'Ercole et Metzger, 2000). Le volcan Pichincha montra une reprise d'activité fin septembre 1998, activité qui diminua tout en maintenant un niveau plus ou moins constante jusqu'en septembre 1999. Une nouvelle augmentation du niveau d'activité justifia la déclaration de l'alerte orange le 27 Septembre. Le niveau d'alerte se maintint 7 jours suite auxquels les autorités prirent la décision de revenir à l'alerte jaune que l'on avait déclenchée un an plus tôt. Une éruption de faible intensité eu lieu le jour suivant, provoquant des chutes de cendres sur la ville.

Quelques problèmes respiratoires ainsi que la chute de personnes balayant leur toit (4 morts, 36 blessés) furent à déplorer, les principaux problèmes ont été des dommages matériels des réseaux et infrastructures (eau, électricité, communication), la congestion du trafic urbain et la fermeture temporaire de l'aéroport de Quito, touchant notamment le commerce de fleur et imposant le transfert à la ville de Guayaquil. La mobilité des personnes et des biens apparue comme un maillon faible du système urbain, et l'évacuation de la totalité de la ville inenvisageable.

Quelles leçons sont à tirer de ces événements ? On a constaté que le passage à l'alerte orange eut plusieurs incidences, d'abord directes, concernant le comportement de la population de Quito s'attendant à une éruption catastrophique, qui se traduisit par l'augmentation de la

mobilité et le stockage d'aliments de base. Les conséquences liées aux décisions prises furent les plus notables. D'abord, l'évacuation de la communauté de Lloa comptant 2000 personnes, dont les conditions d'évacuation et d'hébergement qui auraient pu être améliorées compte tenu du temps de préparation laissé aux autorités. On note ici qu'en cas d'activité accrue, l'évacuation aurait pu concerner plusieurs milliers de personnes occupant les flancs du volcan formant la bordure Ouest de la ville de Quito.

Ensuite, la fermeture des écoles fit apparaître des lacunes dans la préparation de la gestion de crise. En effet, elle laisse les parents dans une position inconfortable, devant alors assumer travail et garde des enfants. La déresponsabilisation des établissements scolaires en période de crise et un manque de confiance de la part des parents sont principalement visés.

Enfin, la gestion des alertes apparaît particulièrement délicate, avec une grille d'alerte inadaptée à la gestion sociale de la crise, provoquant doute et confusion chez la population. Une des conclusions tirées de cette crise fut la nécessité d'adapter les alertes, notamment par une différenciation spatiale du niveau d'alerte en fonction des conséquences attendues, et la nécessiter d'une meilleure transmission d'information à la population.

Le cas du Tungurahua reflète aussi bien la complexité de la gestion de crise (Le Pennec et al., 2005). Avec une reprise d'activité éruptive en 1999, provoquant des chutes de cendres plus ou moins intenses, il continue aujourd'hui d'affecter les populations alentours.

Les premiers signes de réactivation du volcan furent détectés dans la fin des années 1990, l'alerte jaune fut déclenchée le 10 Septembre 1999. Les autorités, notamment le président, prirent la décision de procéder à l'évacuation de la ville de Baños et d'autres communautés rurales suite au déclenchement de l'alerte orange le 15 Octobre. L'évacuation concerna 25000 personnes pendant trois mois, jusqu'en Janvier 2000, quand, malgré les consignes des autorités, les habitants commencèrent à revenir sur leurs terres. C'est seulement en Septembre que l'on revint à l'alerte jaune pour la zone de Baños, et en Décembre pour toute la zone. L'évacuation n'a pas été acceptée par les populations, dont une majorité, alors qu'elles retournaient sur leurs terres en zone de risque majeur, prirent la décision de vivre avec le volcan en éruption. Elles établirent alors un comité d'opération d'urgence, en étroite collaboration avec l'Institut Géophysique, renforçant de cette façon l'information et la communication avec les scientifiques.

On observe ici que le manque de concertation fit défaut aux autorités qui avaient pour objectif de ne prendre aucun risque. La décision d'évacuation, paralysant l'économie d'un site basée en grande partie sur l'activité touristique, n'est pas apparue comme la plus adaptée, et, bien que la menace fût réelle, aucun dommage n'est venu la justifier. La confiance et l'acceptation des décisions politiques en ont été affectées, touchant la confiance et la crédibilité accordée aux autorités.

Lors de la nouvelle crise en Août 2006, les populations se sont montrées plus réticentes à l'évacuation, notamment à Baños. Par ailleurs, un programme de prévention et de formation³ concernant certaines communautés rurales, malheureusement pas la totalité, permis à ces populations de prendre seules la décision d'évacuer. Six personnes, qui ne bénéficièrent pas de cette préparation, trouvèrent la mort refusant de quitter le site. L'ignorance du risque, qui peut aussi être liée à l'oubli ou à sa non reconnaissance, est un des principaux facteurs de vulnérabilité.

³ « *Comunidades afectadas por el Tungurahua : mitigando los riesgos de vivir cerca a un volcán activo* », dirigé par A.P.Camacho, 2005.

3.2 La gestion de crise du Cotopaxi

Dans le cas du Cotopaxi, la gestion de crise est une entreprise d'envergure, en effet elle concerne directement les deux provinces du Cotopaxi et du Pichincha et nécessite l'investissement et la coordination de nombreux acteurs, depuis les niveaux « paroissiaux » et cantonaux au niveau national voir international.

Ce mois de mai 2007, nous avons participé à une simulation de crise, organisée par l'armée équatorienne. Un scénario de crise fut proposé aux différents comités d'organisation d'urgence afin de réfléchir sur les actions à entreprendre. Un des objectifs était de préciser le rôle de l'armée dans la gestion de crise. L'exercice s'est révélé particulièrement intéressant.

Plusieurs points furent conclus, parmi lesquels la nécessité d'amélioration de la coordination entre acteurs et une meilleure définition du rôle de chacun, ainsi que la réalisation et la mise à jour des plans de contingence et des informations nécessaires à la gestion de crise.

On a pu se rendre compte de l'ampleur et la complexité des enjeux, ainsi que de la nécessité de disposer d'outils concrets, notamment cartographiques. On fera la remarque concernant la séparation des comités d'urgence de Quito et de Rumiñahui, qui reflètent la barrière administrative, et notamment les différences de préparation d'un coté à l'autre.

La gestion de crise en cas d'éruption du Cotopaxi s'avère être un point particulièrement complexe. Les alertes anticipées comme dans le cas de Baños, sans parler de fausses alertes, sont mal tolérées par la population, engendrant une perte de crédibilité envers les scientifiques et les autorités rendant la gestion de crise encore plus difficile. De plus, il faut reconnaître les conséquences des actions engagées lors de la gestion de crise et en particulier celle de dernier recours qu'est l'évacuation (Aguilera, 2004). De simples mesures préventives, comme nous l'avons vu dans le du Pichincha doivent aussi être bien réfléchies et anticipées afin d'éviter de provoquer plus de désordre et de prouver la compétence des autorités. Dans le cas du Valle de Los Chillos, les enjeux s'avèrent particulièrement importants, et envisager une évacuation tout au long du processus éruptif est impossible. On peut imaginer que certaines populations pourraient chercher à s'éloigner de la zone en cas de crise, dans la mesure de ses capacités (alternative de logement) et en fonction de ses activités (lieu travail dans la zone ou non). Divers types de comportements, pris indépendamment des consignes, peuvent être envisagés, d'où l'importance de fournir une information la plus claire possible afin d'éviter désordre et confusion. Par ailleurs, les impacts socio-économiques de telles décisions peuvent être très contraignants, à l'image de la baisse de la fréquentation touristique à Baños ou de la pression des populations suite à la fermeture des établissements scolaires pour la crise du Pichincha.

Une des alternatives envisagées est l'alerte de dernière minute, qui doit s'accompagner d'un dispositif de surveillance du volcan capable de fournir des informations le plus rapidement possible et une préparation des autorités et des populations sans failles.

Le Cotopaxi est équipé de systèmes de détection de lahar, qui laisseraient une marge de manœuvre relativement courte pour l'évacuation, estimée entre 20 et 25 minutes ! On doit avoir conscience que ces détecteurs nous informent de l'arrivée d'un lahar mais pas de sa taille, ni de sa vitesse. On constate donc une nouvelle limite quant à l'utilisation des scénarii éruptifs évoqués plus haut. En cas d'alerte, l'évacuation devra concerner la zone exposée même si l'on suppose un événement minime, et de la même façon, on ne pourra distinguer un événement d'ampleur supérieur.

On notera que la question des alertes fut l'objet de débat lors de l'exercice de simulation évoqué plus haut, notamment au sujet d'une alerte « jaune conditionnelle » présentée dans le scénario. Une terminologie commune s'avère indispensable afin que puissent se coordonner scientifiques et autorités, évitant ainsi encore plus de confusion pour la population.

Les recherches proposées ont pour objectif d'apporter des éléments d'aide à la décision afin de préciser les enjeux et de se poser les bonnes questions. Nous nous appuierons sur ces critiques afin de proposer une analyse de la vulnérabilité des populations qui s'intègre et apporte des éléments de réponses aux différentes problématiques que nous venons d'évoquer, c'est-à-dire les incertitudes liées au zonage de l'aléa, les enjeux socio politiques participant à la construction du risque et enfin la complexité de la gestion de crise et la nécessité d'éléments pertinents pouvant faciliter et orienter les prises de décisions.

3^{ème} partie : Analyse de la vulnérabilité de la population du Valle de Los Chillos

Comment se matérialise la vulnérabilité de la population du Valle de Los Chillos et comment l'analyser ? Quelles sont ses faiblesses et les caractéristiques qui pourraient amplifier les conséquences d'une catastrophe ?

Nous possédons maintenant divers éléments qui ont permis de mieux cerner le contexte du risque dans le Valle de Los Chillos, ainsi que les objectifs de nos travaux. L'analyse de la vulnérabilité de la population du Valle de Los Chillos nécessite alors la définition de critères pertinents, des points sur lesquels nous devons nous focaliser afin de répondre à notre problématique. Un premier point sera de présenter la dynamique et la répartition de la population du Valle de Los Chillos ainsi que son exposition à la menace. Nous compléterons notre analyse en définissant la vulnérabilité liée à des critères socio économiques et démographiques, concernant toujours la population résidente.

D'autre part, nous proposerons une évaluation de la population de jour à partir des lieux de concentrations liés à l'activité professionnelle, l'éducation, la santé, les loisirs ou encore les centres commerciaux, population à propos de laquelle nous ne disposons d'aucune information. Une éruption pouvant se dérouler à n'importe quelle heure du jour et de la nuit, ces données seront utiles à orienter les actions de secours et permettront aussi de mettre en avant des problématiques plus générales de gestion du risque.

1. Population du Valle de Los Chillos : dynamique et exposition

1.1 Population : caractéristiques générales

Selon le recensement de 2001, le Valle de Los Chillos compte un peu moins de 184 000 habitants. Les données sont fournies selon deux unités spatiales, les secteurs et les « manzanas » ou pâté de maison, de dimension inférieure et seulement pour les zones urbaines. On considérera que les zones comptabilisées comme « manzanas » rassemblent la population urbaine. La densité moyenne pour les « manzanas » atteint 20 hab. /ha. alors qu'elle est de seulement 0,6 hab. /ha. à l'échelle des secteurs et 2,3 hab. /ha. sur l'ensemble du territoire. En outre la densité, l'accessibilité et la centralité des zones considérées justifient cette distinction.

On constate alors que la population est majoritairement urbaine (75%) et qu'environ les deux tiers se concentrent dans les centres urbains de Sangolqui et de Conocoto (Cf. annexe 6 *Densité de la population par hectare dans le Valle de Los Chillos.*). Entre ces deux pôles, s'est développée une agglomération quasi continue, avec un nouveau centre nommé San Rafael. On remarque quelques concentrations ponctuelles, correspondant aux chefs lieux des paroisses essentiellement rurales que sont La Merced, Pintag, Amaguaña, et Guangopolo pour l'Administration Zonale, Rumipamba et Cotogchoa pour le Canton de Rumiñahui.

On constate que la zone urbaine a tendance à effacer les limites administratives, qui restent cependant bien marquées par exemple par le nom des rues. L'Avenue Ilalo, une des artères de développement, prend par exemple le nom de Avenue El Tingo lorsqu'elle traverse le Canton de Rumiñahui

Tableau 1 : Population rurale et urbaine dans le Valle de Los Chillos (Source : INEC 2001)

	Rumiñahui		AZVCH		Sous total		Total
	Urbaine	Rurale	Urbaine	Rurale	Urbaine	Rurale	
Effectifs de la population	58560	7322	79517	38045	138077	45367	183444
Pourcentage	32	4	43,3	20,7	75,3	24,7	100

1.2 Evolution de la population et facteurs de peuplement

Jusque dans les années 50, le Valle de Los Chillos était essentiellement occupé par des « haciendas ». L'attrait pour la zone s'est petit à petit développé, commençant essentiellement par une occupation résidentielle qui s'explique par la recherche d'un meilleur cadre de vie. Les vallées orientales offrent en effet un climat agréable, à plus faible altitude que Quito, avec des habitats individuels, moins de pollution, Les terrains agricoles se sont alors divisés et vendus à cet effet. Parallèlement, une petite industrie a commencé à se développer, notamment l'industrie textile. Les petits bourgs paroissiaux se développent, et l'urbanisation s'étend progressivement jusqu'à constituer aujourd'hui une véritable agglomération. Le processus d'exurbanisation (en provenance de la capitale) s'est conforté dans les années 80, notamment grâce à l'implantation de l'autoroute de Rumiñahui, et s'est depuis fortement accéléré. Il concerne en grande majorité des populations plutôt aisées à modestes.

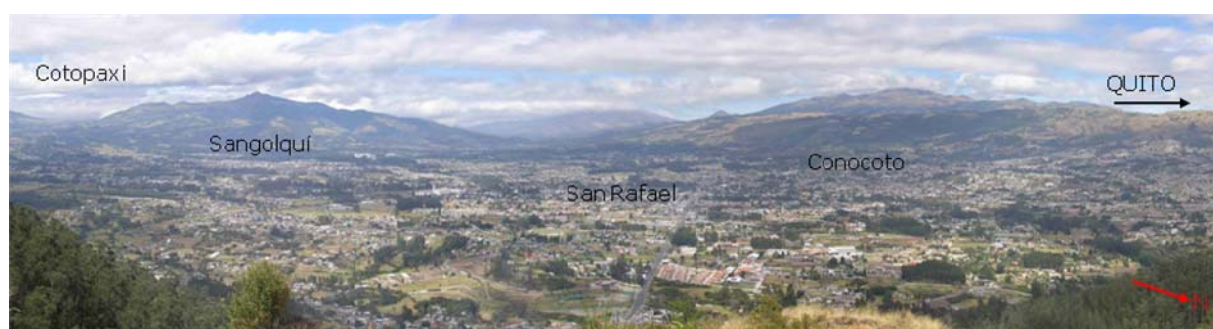
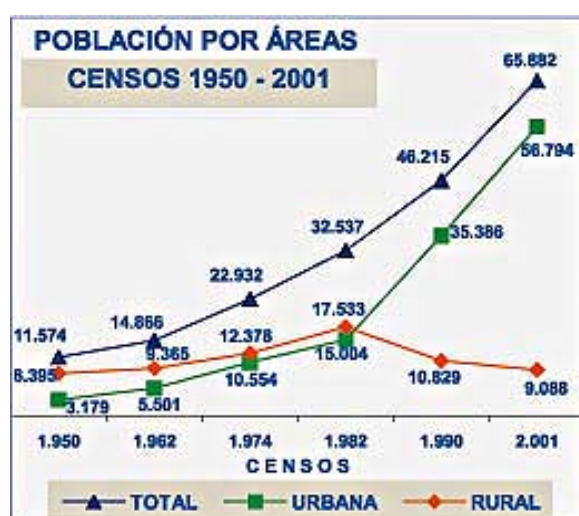


Photo 6 : Vue panoramique du Valle de Los Chillos depuis le volcan Ilalo, photo Tania Serrano, 2006

L'urbanisation s'est étendue depuis le centre ancien de Quito, d'abord dans une direction Nord Sud, et récemment vers les vallées orientales qui comptent aujourd'hui environ 300 000 habitants, venant gonfler les 1,5 millions rassemblés à Quito même. (Cf. annexe 7 : *Etapes de croissance urbaine du District Métropolitain de Quito et du Valle de Los Chillos de 1760 à 2006*). On assiste alors à une véritable croissance des zones périphériques et la consolidation de nouveaux pôles urbains.

Graphique 1 : Evolution de la population de l'Administration Zonale Valle de Los Chillos de 1950 à 2001



Le graphique ci joint confirme bien le phénomène de croissance urbaine. On constate en effet que la population urbaine dépasse la population rurale dans les années 80 pour aujourd'hui représenter la grande majorité de la population du Valle de Los Chillos (Cf. Photo 6). On notera que ces données concernent uniquement l'Administration zonale Valle de Los Chillos, la dynamique est cependant similaire pour Rumiñahui.

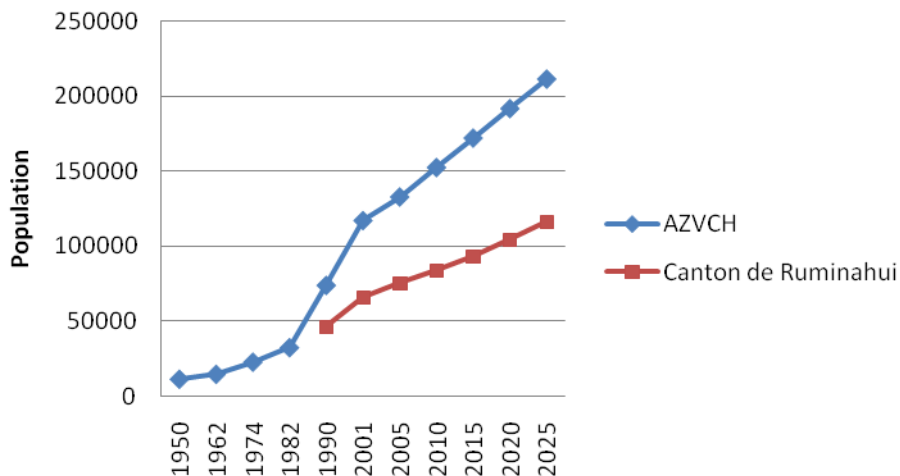
Source : INEC

La tendance commentée ici semble se poursuivre, les estimations concernant la croissance de la population le montrent bien, ainsi que les nouvelles constructions, notamment des lotissements (Cf. Photos ci dessous).



Photo 7 : En haut à gauche, lotissements récemment construits en bordure du Rio San Pedro (Nord de San Rafael, parroquia de Conocoto, AZVCH)
 Photo 8 : Ci dessus, densification du bâti le long du Santa Clara à Sangolquí avec le centre commercial du River Mall et des logements de plusieurs étages.
 Photo 9 : A gauche, lotissements de résidence à revenus élevés, San Rafael.

Graphique 2 : Evolution de la population depuis 1950 et perspectives dans le Valle de Los Chillos



Source : INEC

On observe dans le tableau ci-dessous que le Valle de Los Chillos présente une forte croissance démographique, en particulier pour les centres urbains. On remarque notamment que la population de Conocoto, majoritairement urbaine et à proximité de l'autoroute de Rumiñahui devrait plus que doubler d'ici 2025; de même, la zone urbaine de San Rafael regroupant une partie d'Alangasi, et s'étendant jusqu'à Sangolquí, apparaît aussi comme une zone particulièrement attractive. Les divisions administratives ne permettent pas d'évaluer cette zone de façon distincte, on remarque cependant dans le tableau que les taux de croissance de la parroquia d'Alangasi et de Sangolquí (ensuite pour l'ensemble du Canton de Rumiñahui) sont élevés. A contrario, la croissance des zones rurales reste relativement faible, notamment pour Pintag et Guangopolo. On constate au final que le Valle de Los Chillos

continue d'être attractif et sa population augmente en conséquence. La planification territoriale, et notamment la prise en compte du risque lié aux lahars du Volcan Cotopaxi, est un enjeu majeur pour les années à venir afin d'éviter d'augmenter une exposition de la population déjà importante.

Tableau 2 : Croissance de la population du Valle de Los Chillos et perspectives

	1990	2001	% de Croissance 1990-2001	2025	% de Croissance 2001-2025
Amaguaña	16 783	23 584	40,5	29 187	23,8
Conocoto	29 160	53 137	82,2	126 082	137,3
Guangopolo	1 670	2 284	36,8	2 649	16
Alangasi	11 064	17 322	56,6	27 926	61,2
La Merced	3 733	6 132	64,3	11 150	81,8
Pintag	11 484	14 487	26,1	13 884	-4,2
AZVCH	73 894	116 946	58,3	210 878	80,3
Sangolqui	43 397	62 562	44,2		
Cotogchoa	2389	2843	19,0		
Rumipamba	429	477	11,2		
Rumiñahui	46 215	65 882	42,6	116136	76,3
Valle de Los Chillos	120 967	183 782	51,9	327 014	77,9

Source : INEC

1.3 Exposition de la population

Quantifier la population exposée aux lahars potentiels du volcan Cotopaxi est une information primordiale pour les gestionnaires du risque. Cela permet aussi de fixer une base pour les analyses qui vont suivre. Cette tâche s'avère être plus complexe qu'elle en a l'air, car lourde de conséquences. En effet, on pourrait se contenter de calculer la population en zone de risque délimitée par l'Institut Géophysique. C'est finalement ce que nous ferons mais il s'agit de préciser deux points. D'abord, l'étendue de la zone d'étude doit être discutée avec les responsables de la gestion du risque, ensuite nous prendrons en compte les cas d'exposition indirecte, notamment les personnes isolées.

La question qui se posait concernait la zone de risque mineur qui figurait sur l'ancienne carte (Cf. annexe 4 et 9). Sa prise en compte ne s'est pas avérée pertinente, d'abord parce qu'elle apparaît exagérément contraignante d'un point de vue gestion territoriale, et surdimensionnée compte tenu des capacités et des volontés d'actions des autorités et des populations concernées. D'un point de vue scientifique, sa très faible probabilité justifie ce choix. Il est donc apparu plus raisonnable de se tenir au zonage actualisé en 2004 par l'Institut Géophysique, se basant sur la référence de 1877, qui déjà est considéré comme « le scénario du pire » par les responsables, discours soutenu par les scientifiques. Cette limite est de plus mieux acceptée et reconnue, notamment par les populations, rendant plus crédibles et efficaces les actions menées par les autorités. Enfin, un dernier argument concerne les moyens disponibles qui sont relativement limités. La priorité est donc accordée à la zone de « risque majeur », afin que les actions de mitigation puissent être le plus efficace possible.

En outre l'exposition directe aux lahars, il apparaît pertinent de considérer l'exposition indirecte, notamment liée à un isolement plus ou moins fort. Nous proposerons donc de définir des niveaux d'exposition, exactement 5, prenant en compte le zonage de référence, une

marge d'incertitude et le problème de l'isolement (Cf. annexe 8 : *Types d'exposition aux lahars du volcan Cotopaxi : exposition directe et isolement*).

L'exposition la plus forte (niveau 5) correspond logiquement au zonage proposé par l'Institut Géophysique (basé sur la référence de 1877). Nous avons ensuite délimité arbitrairement une marge d'incertitude de 200 m à partir de cette zone, on y a affecté la valeur 2.

Deux niveaux d'isolement ont ensuite été définis. La zone Est prend la valeur 1, caractérisée par un faible degré d'isolement compte tenu par la perte des liens avec Quito. La zone encerclée par les deux bras des lahars du rio Pita et Santa Clara reçoit la valeur 3, l'isolement y étant plus marqué. La marge de 200 m s'ajoutant au fort degré d'isolement de cette zone justifie l'affectation de la valeur 4.

L'utilisation du SIG nous permet de quantifier facilement la population exposée. Il faut cependant préciser que le résultat concerne uniquement la population résidente et reste une estimation, les limites des secteurs de recensements ne correspondant pas parfaitement aux limites des lahars. L'agrégation des données se fait en effet en fonction du centroïde des secteurs (point situé généralement au centre de la zone), pour cette raison, les marges de 200m n'ont pas été distinguées pour le calcul. On distinguera donc la zone exposée et les deux zones isolées, la somme des deux est considérée comme la zone pouvant être affectée, à divers degré, en cas de crise (Cf. tableau 3 ci après).

La population résidente en zone exposée (niveau 5) représente plus de 15 000 personnes. Elles devront être évacuées en cas de crise. Si une partie dispose de moyens de logements alternatifs, il sera cependant nécessaire de prévoir un lieu de refuge pour les autres. Selon les estimations de la Casa Cotopaxi (enquêtes lors du recensement réalisé en 2004), 50 % de la population devra être hébergée, ce qui représente tout de même un total de 7500 personnes.

L'AZVCH, qui dispose d'une capacité d'hébergement de 3300 personnes, pourrait accueillir les 50 % (3000 personnes) de la population exposée sur son territoire. Les données concernant la capacité des refuges ne sont pas disponibles pour le Canton de Rumiñahui qui aurait à héberger environ 4500 personnes, essentiellement concentrées dans la zone urbaine.

Concernant les zones d'exposition indirecte, notre attention se portera en premier lieu sur la zone du canton de Rumiñahui encerclée par deux bras de lahars (niveaux 3 et 4). Essentiellement résidentielle, elle ne dispose quasiment pas de ressources pour subvenir aux besoins vitaux des habitants. La population résidente estimée représente quasiment 7000 personnes. Elle dispose pour le moins de zones de refuge (Université de l'ESPE et le Liceo del Valle). La question de l'évacuation de cette zone apparaît en effet particulièrement délicate ; la distance à parcourir pour sortir de la zone est relativement importante compte tenu du temps disponible entre le déclenchement de l'alerte et l'arrivée des lahars (20 à 25 minutes) et supposerait de traverser la zone d'exposition majeure.

Ensuite, la zone à l'Est des écoulements (concernant seulement l'AZVCH) présente un degré d'isolement bien moindre mais cependant suffisant pour être mentionné (niveaux 1 et 2). En effet, cette zone serait coupée de ses liens avec Quito, ce qui pourrait avoir des conséquences relativement importantes à court terme concernant l'accès aux soins et les besoins vitaux, et à moyen terme pour l'activité économique, et notamment les activités liées aux exportations (produits agricoles et floriculture). Cette zone concerne plus de 36 000 habitants, soit 30% de la population de l'Administration Zonale Valle de Los Chillos.

Nous verrons que la question de l'isolement peut s'avérer être très problématique et qu'elle mérite d'être posée, notamment quand nous aborderons la partie sur la population de jour.

Tableau 3 : Estimation de la population pouvant être affectée en cas de crise dans le Valle de Los Chillos

	AZVCH		Canton de Rumiñahui		Total	
Population exposée aux lahars	5914 1200*	5,0%	9199 6560*	14,0%	15113 7760*	8,2% 12,3%*
Population isolée par le passage des lahars	36556 (niveau 1)	31,1%	6984 (niveau 3)	10,6%	43540	23,7%
Population affectée en cas de crise	42470	36,1%	16183	24,6%	58653	32,0%
Total de la population	117562		65882		183444 62940*	

*Population exposée aux lahars du Cotopaxi en 1982 (D'Ercole, 1991)

Source : Recensement INEC, 2001

Déjà lors de sa thèse, Robert D'Ercole s'inquiétait de l'augmentation de la concentration de la population en zone exposée (D'Ercole, 1991, p. 93 à 131). D'après les témoignages, la population affectée par les lahars de 1877 s'élevait à un millier de personnes dans le Valle de Los Chillos. Il rappelle à juste titre que le Nevado del Ruiz provoqua aussi un millier de victime lors d'une éruption en 1845, dont les lahars furent d'amplitude supérieure à ceux de la catastrophe tristement connue qui eu lieu 140 ans plus tard en 1985 (Mojica et al., 1985).

D'après le recensement de 1982, il estime que la population en zone de risque majeur s'élevait à 7760 personnes. Il faut noter que selon le zonage utilisé, cette zone (qui correspond plus ou moins à l'actuelle zone de risque) était d'ampleur sensiblement plus faible, en particulier concernant une zone maintenant résidentielle de la paroisse d'Alangasi. Par ailleurs, il comptabilisait 42 486 personnes la zone de risque mineur. Nous avons précisé dans la deuxième partie les raisons pour lesquelles cette zone n'est pas prise en compte, cependant, à titre d'information, on estime la population qui y réside à 113 133 personnes selon le recensement 2001.

Il remarquait déjà que le « grenier de Quito », comme il était nommé au milieu du XX^{ème} siècle (Alop et al., 1981) était marqué par une forte croissance urbaine. San Rafael, hameau de moins de 100 personnes en 1871, atteignait déjà 5800 habitants en 1988. Il notait en particulier l'étalement urbain et l'occupation des zones à risque, ainsi que par l'apparition des premières activités industrielles le long du Rio San Pedro.

En comparant les fonds topographiques de 1956, 1975 et de 2000 (Cf. annexe 9 : *Croissance urbaine dans le Valle de Los Chillos de 1956 à 2000*), on constate une colonisation des espaces impressionnante, avec une densification des réseaux et des habitations et notamment en zone exposée. Quels types de population rencontre-t-on aujourd'hui dans le Valle de Los Chillos, comment se caractérise sa vulnérabilité ? Déjà les facteurs de concentration de la population et son exposition à la menace apparaissent préoccupants, nous chercherons alors, dans la partie qui vient, à définir ses caractéristiques socio économiques et démographiques.

2. Vulnérabilité de la population résidente

2.1 Critères de vulnérabilité

La vulnérabilité d'une population est étroitement liée à son niveau de développement. Cette relation est couramment mentionnée dans les études de risques, constatant que les impacts des désastres sont d'autant plus lourds et durs à supporter que la population est pauvre (Leone, 2006).

Une multitude de critères pourraient rendre compte de la vulnérabilité de la population. Nous nous appuyons sur l'étude réalisée à Quito : « *Vulnerabilidades del Distrito Metropolitano de Quito* » (D'Ercole et Metzger, 2004) qui y consacre le neuvième chapitre (p. 235 à 252) cependant à l'échelle du DMQ. Nous reprendrons donc les critères qui ont été sélectionnés, critères simples et disponibles dans la base de données du recensement.

- Les enfants : On considère la population d'âge inférieur à 10 ans comme particulièrement vulnérable, du fait qu'elle n'est ni autonome, ni consciente du risque et plus fragile physiquement et psychologiquement qu'une personne adulte. Elle demande donc une attention particulière.
- Les personnes âgées : Sont considérées les personnes d'âge supérieur à 65 ans, pouvant nécessiter une aide particulière notamment concernant la santé et la mobilité.
- Le niveau d'instruction : On a considéré comme ayant un faible niveau d'instruction les populations n'ayant jamais été à l'école, analphabètes ou ayant seulement les notions de base d'alphabétisme et d'arithmétique, ainsi que les populations ayant suivi le premier niveau du cursus scolaire (c'est-à-dire jusqu'à 9 ans). Seule a été prise en compte la population d'âge supérieur à 10 ans afin d'éviter une redondance avec la vulnérabilité liée à l'âge. Un faible niveau d'instruction est considéré comme critère de vulnérabilité car il marque une moindre capacité à réagir, s'adapter et à comprendre une situation inhabituelle.
- L'accès au réseau d'électricité : L'absence d'accès à l'électricité est un indicateur de pauvreté et de marginalisation, donc de vulnérabilité.
- L'accès au réseau téléphonique : Bien que moins extrême que le critère précédent, l'absence d'accès au réseau téléphonique marque cependant une certaine marginalisation.
- La promiscuité : ou le nombre d'habitants par pièce est le dernier critère utilisé, indicateur du niveau de pauvreté.

Suivant la méthodologie employée à l'échelle du DMQ, ces critères nous permettent de définir un niveau de vulnérabilité socio économique et socio démographique.

Tableau 4 : Critères de vulnérabilité socio démographique

Critères d'analyse de la vulnérabilité socio démographique		
Population jeune	Vulnérabilité liée à la structure d'âge	Vulnérabilité socio démographique
Population âgée		
Niveau d'éducation	Vulnérabilité socio économique	
Accès au réseau d'électricité		
Accès au réseau téléphonique		
Promiscuité		

Les secteurs de recensements et « manzanas » ont été choisis comme unités spatiales pour cartographier ces variables. Il a été discuté de la pertinence d'autres limites qui pourraient refléter une certaine logique territoriale. La première considérée fut les « barrios » ou quartiers, qui devraient correspondre à des unités de gestion territoriale. Il s'est avéré que ces limites ont été fixées au niveau du District mais ne sont pas utilisées par l'Administration du Valle de Los Chillos, certains quartiers n'ayant même pas de noms.

La seconde limite correspondait aux secteurs délimités par la Casa Cotopaxi pour ses programmes de prévention. Au nombre de 8, ces secteurs sont plus ou moins homogènes, d'un point de vue socio économique et densité de population, bien que les critères utilisés ne sont pas vraiment explicites. Ils ne concernent cependant que la zone exposée, la représentation à cette échelle apparaît moins précise que selon les unités du recensement. Il a donc été décidé de conserver ces dernières, c'est-à-dire les secteurs pour les zones rurales et les « manzanas » pour les zones urbaines, ce qui permet de couvrir la totalité du territoire et au besoin, de réaliser des analyses à plus petite échelle.

2.2 Analyse de la vulnérabilité : un contraste marqué entre populations urbaines et populations rurales

a. Caractérisation de la population et répartition

Les critères choisis permettent de caractériser la vulnérabilité de la population, premièrement directement en fonction des résultats obtenus mais aussi en faisant ressortir des contrastes au sein du territoire.

L'analyse de la **structure d'âge** montre l'importance de ce critère (Cf. annexe 10 : *Vulnérabilité liée à l'âge : populations jeunes*). On constate en effet que la population d'âge inférieur à 10 ans est relativement bien représentée, quasiment 20 % de la population totale, alors qu'on dénombre environ 6 % de personnes d'âge supérieur à 65 ans. Au total, 25 % de la population est vulnérable dû à son âge. On note que ces données sont identiques à celles obtenus pour l'ensemble du DMQ lors de l'étude réalisée en 2004.

On remarque que la population jeune est plus importante dans les zones rurales, notamment au Sud et à l'Est, pouvant représenter jusqu'à 40 % de la population pour certains secteurs (Cf. annexe 11 : *Vulnérabilité liée à l'âge : populations âgées*). La population âgée semble être mieux répartie bien qu'elle se concentre globalement dans les zones urbaines centrales, hormis deux secteurs au Sud où elles représentent entre 10 à 20 % de la population (Cf. annexe 12 : *Vulnérabilité liée à l'âge*).

La jeunesse de la population est un critère particulièrement intéressant à considérer. Cela implique notamment que cette population se trouve dans les établissements scolaires durant la journée, lieux de concentration qui seront pris en compte pour la quantification de la population de jour. De même, cela met en avant l'intérêt d'un travail de sensibilisation et de préparation de cette population.

Concernant le **niveau d'éducation**, la disparité entre zones rurales et zones urbaines est très marquée (Cf. annexe 13 : *Vulnérabilité de la population : niveau d'éducation*). On atteint quasiment 58 % de la population ayant un faible niveau d'instruction en zone rurale, contre un peu moins de 36 % en zone urbaine. Les deux chiffres restent relativement élevés, et pour certaines zones, le faible niveau d'instruction touche plus de 60 %, voir plus de 80 % de la population. On conclura donc une forte vulnérabilité pour ce critère, avec des points noirs à prendre en considération.

La **couverture du réseau électrique** est de bonne qualité et relativement homogène, bien que certains secteurs restent marginalisés (Cf. annexe 14 : *Vulnérabilité de la population : accès au réseau d'électricité*). Seuls 2 et 5 % des foyers n'y ont pas accès sur l'ensemble du territoire. L'**accès au réseau téléphonique** est par contre beaucoup plus pénalisant. Accessible pour 40 % des foyers en zone rurale, on atteint 60 % en ville (Cf. annexe 15 : *Vulnérabilité de la population : accès au réseau téléphonique*).

On constate que ces données sont relativement similaires à celles obtenues à Quito. A contrario l'étude menée sur les communautés rurales des cantons Quero et Pelileo au pied du Tungurahua affichent des chiffres plus élevés, soit 9,5 et 8,8 % n'ayant pas accès au réseau électrique et 93,5 et 89,7 % au réseau téléphonique (Camacho, 2005).

Enfin, la **promiscuité** ne révèle pas de vulnérabilité majeure, même si les zones rurales présentent des valeurs un peu plus élevées (Cf. annexe 16 : *Vulnérabilité de la population : promiscuité*), on n'observe pas les valeurs extrêmes qui peuvent exister dans certains quartiers de Quito.

b. Vulnérabilité socio économique

Elle résulte du croisement entre les 4 critères que sont le **niveau d'éducation**, l'**accès aux réseaux d'électricité et de téléphone** et la **promiscuité**. La méthodologie employée consiste à sommer les codes affectés pour chacun de ces critères, on obtient alors une échelle de vulnérabilité qui s'étend de 4 (vulnérabilité minimale) à 20 (maximale).

On constate sur cette première carte de synthèse que les zones urbaines, notamment San Rafael et Sangolqui apparaissent très peu vulnérables (Cf. annexe 17 : *Vulnérabilité socio économique*). En effet, comme nous l'avons évoqué précédemment, elles concentrent essentiellement des populations résidentielles en provenance de Quito, relativement aisées et qui bénéficient d'un bon accès aux services. Les zones rurales sont quant à elles plus vulnérables, sans pour autant présenter des valeurs extrêmes. Il faut considérer que certains facteurs se compensent, ce qui peut cacher certaines vulnérabilités, notamment concernant le niveau d'éducation évoquée précédemment.

c. Vulnérabilité socio démographique

On croise ici les résultats concernant la **vulnérabilité socio économique** avec la **structure par âge** (Cf. annexe 18 : *Vulnérabilité socio démographique*). Les valeurs respectives de chacun des critères pris en compte sont sommées puis divisées par 5 (nombre de critères). On présente le résultat en cinq classes afin d'améliorer la lecture. On constate que les commentaires réalisés précédemment sont toujours justifiés, avec un faible niveau de vulnérabilité en zone urbaine.

En synthèse (voir tableau 5), on calcule qu'environ 65 % de la population présente une vulnérabilité faible, cette moyenne cachant toujours la même disparité entre zone urbaine et rurale. En effet, plus de 70 % de la population urbaine s'avère correspondre à un grade de vulnérabilité faible, alors qu'on atteint seulement 40 % en campagne. La majorité des populations rurales, soit plus de 55 %, présente un grade de vulnérabilité modéré.

On constate enfin qu'une très faible proportion de la population présente des niveaux de vulnérabilité plus élevés, moins de 1 % au total, et que la classe de vulnérabilité minimale regroupe plus de 12 % de la population totale.

Tableau 5 : Synthèse du niveau de vulnérabilité socio démographie

Vulnérabilité socio démographique											
Niveau de vulnérabilité		AZVCH				Rumiñahui				Valle de Los Chillos	
		Pop. Urbaine	%	Pop. Rurale	%	Pop. Urbaine	%	Pop. Rurale	%		%
Très faible	1	12513	15,7	0	0	10919	18,6	0	0	23432	12,8
Faible	2	58417	73,5	16826	44,2	42436	72,5	2990	40,8	120669	65,8
Modérée	3	8140	10,2	21219	55,8	5108	8,7	4164	56,9	38631	21,1
Forte	4	447	0,6	0	0	90	0,2	168	2,3	705	0,4
Très forte	5	0	0	0	0	7	0,01	0	0	7	0,004
Total pop.		79517	100	38045	100	58560	100	7322	100	183444	100

d. Autres critères de vulnérabilité

Deux critères complémentaires sont intéressants à présenter : l'accès à l'eau potable à l'intérieur de l'habitation et le pourcentage de la population vivant de l'agriculture.

L'accès à l'eau potable à l'intérieur de l'habitation est un marqueur pertinent de pauvreté (Cf. annexe 19 : *Accès à l'eau potable à l'intérieur de l'habitation*). Les résultats obtenus confirment la tendance observée, on atteint seulement 27 % en zone rurale alors que plus de 60 % des habitations urbaines en dispose. Le phénomène de concentration des services pour une meilleure rentabilité est bien marqué ici.

Enfin, une dernière carte concernant **la population vivant de l'agriculture** apporte deux éléments. L'activité agricole est fortement représentée en zone rurale, concernant 30 à 50 % de la population (Cf. annexe 20 : *Répartition de la population vivant de l'agriculture dans le Valle de Los Chillos*). Enfin, elle permet d'introduire une remarque intéressante. En effet, si nous nous sommes concentrés sur les zones de fortes concentrations, les populations rurales vivant de l'agriculture sont aussi concernées, certaines exploitations se trouvent en limites des rivières, pouvant être directement affectées ainsi qu'à plus long terme concernant les exploitations vivant d'exportations (Cf. Photos 10 et 11 ci-dessous). Cela n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie.



Photo 10 : Cultures sous serre en bordure du Rio Santa Clara à Rumipamba au Sud du canton Rumiñahui

Photo 11 : Tomates dédiées à l'exportation nationale, canton de Rumiñahui.



2.3 Synthèse : vulnérabilité socio démographique, densité et exposition

Nous proposons ici de croiser la vulnérabilité socio démographique à la densité. En effet, la concentration de la population est un facteur de première importance, et notamment concernant l'orientation des actions de gestion du risque. Les deux critères ont été sommés pour être ensuite représentés sur une échelle de 10. Cinq classes de vulnérabilité sont représentées sur la carte (Cf. annexe 21 : *Vulnérabilité socio démographique et densité*) ainsi que les niveaux d'exposition définis plus haut.

Les zones de forte concentration de population sont essentiellement l'agglomération de Sangolqui et celle de San Rafael qui s'étend vers le nord sur la paroisse d'Alangasi. Nous avons constaté précédemment que cette population présente un niveau de vulnérabilité faible concernant les critères socio économiques et démographiques, du fait d'un niveau de vie généralement assez élevé, et d'un bon accès aux services. Cependant, la concentration de cette population en zone de risque est plus préoccupante.

Le Valle de Los Chillos ne semble pas présenter des zones d'extrême vulnérabilité, où se combinent concentration de population et pauvreté, il n'en reste pas moins que le risque est bel et bien présent. Certaines zones attirent en effet notre attention, en majorité caractérisée par une forte densité et un niveau de vulnérabilité socio démographique modéré. La zone de Sangolqui présente plusieurs secteurs où la vulnérabilité est modérée à forte (classes 6 à 10). Un premier secteur s'observe au pied du bourg principal, et s'avère situé en zone de risque majeur. Deux autres secteurs sont remarquables un peu plus au Sud, notamment toute une marge de Selva Alegre qui se trouve en zone de risque majeur, ainsi que le quartier de Cashapamba situé en zone fortement isolée et à proximité des lahars (dans la marge de 200m). Concernant la zone de San Rafael, on observe en grande majorité une vulnérabilité faible (classe 4 à 6), bien que certains secteurs se caractérisent par un niveau modéré, voir fort. L'exposition de la zone est par contre beaucoup plus préoccupante, compte tenue de l'étendue de la zone de risque majeur. Par ailleurs, certains secteurs de Conocoto, faisant partie de l'urbanisation Armenia attirent notre attention, en effet, les constructions de lotissements denses ont tendance à s'étalées toujours plus près du Rio San Pedro.

Enfin, la dernière zone concerne le bourg de Guangopolo, où la topographie et une densité relativement modérée aux abords du cours d'eau limitent l'exposition des populations.

La vulnérabilité de la population du Valle de Los Chillos est donc plus liée à sa concentration en zone de risque qu'à des critères socio économiques et démographiques.

Il faut cependant avoir conscience que les résultats proposés abordent une caractéristique de la vulnérabilité, et que d'autres critères sont tout aussi importants. Les aspects culturels, notamment la perception du risque de la population, ou encore les aspects touchant au comportement ou la connaissance des moyens de protections (zones de sécurité, refuges, voies d'évacuation,...), vont jouer un rôle important dans la réponse que peut donner la société face à une crise. Lors de son travail de thèse, Robert D'Ercole avait justement mis l'accent sur la faible perception du risque dans le Valle de Los Chillos, et d'un manque de préparation préoccupant de la population (D'Ercole, 1991). Dans ce contexte, l'étude menée par Diana Salazar sur la perception du risque sera d'une grande utilité et fournira un complément afin de mieux définir la vulnérabilité (en comparaison avec l'étude réalisée dans les années 90) et orienter les actions de préparation de la population.

De même, les aspects plus politiques concernant la préparation des autorités, la présence et la capacité des organismes de gestion de crise, ..., sont des facteurs supplémentaires à prendre en compte. Sur ce point, l'analyse de la vulnérabilité institutionnelle réalisée par Tania Serrano fournira des éléments de réponse notamment mettant en avant les différences

observables entre l'AZVCH et le canton de Rumiñahui, avec les problèmes liés à une difficile coordination.

Les caractéristiques socio économiques et démographiques, ainsi que la densité de la population permettent toutefois de fournir une base de réflexion afin d'orienter les actions de gestion du risque. On a observé des contrastes marqués au sein du territoire, notamment entre zones rurales et urbaines. L'analyse séparée des critères montre bien des zones vulnérables, soit liées à un accès aux services de mauvaise qualité, au niveau des conditions de vies, mais aussi à des lacunes concernant l'éducation, ou encore en fonction de l'âge. Leur synthèse permet de donner une image la plus représentative possible de la population. La prise en compte de la densité permet de se concentrer sur certains secteurs de forte concentration, dans une perspective de gestion de crise (en particulier liée à l'évacuation). Là encore, et les expériences vécues nous le montrent, les enjeux sont de taille.

L'évaluation de la concentration de la population « de jour », ainsi que de divers éléments clefs à prendre en compte pour la gestion de crise permettra de compléter ce premier aperçu de la vulnérabilité.

3. Vulnérabilité de la population de jour

Une éruption pouvant se produire à n'importe quel moment de la journée, il s'avère particulièrement intéressant d'évaluer la population « de jour », les principaux lieux de concentrations et les types d'activités associés (Serrano T., 2001). En effet, cette population diffère sensiblement de la population résidente, en fonction des activités et de la mobilité des personnes. Ces informations sont particulièrement intéressantes pour la gestion de crise et l'orientation des opérations de secours, abordant un point souvent mal connu et mettant en avant de nouvelles vulnérabilités.

3.1 Méthodologie

L'objectif étant d'identifier les zones de concentration de la population pendant la journée, nous allons donc nous centrer sur les zones d'activités principales. La cartographie des compteurs électriques à vocation industrielle ou commerciale nous a permis une première localisation (Cf. annexe 22 : *Localisation des zones d'activités : compteurs électriques industriels et commerciaux*). On observe sur cette carte que les zones d'activités sont relativement concentrées, notamment aux abords de Sangolquí, à San Rafael et le long de l'Avenue Ilalo. Outre l'intérêt de cette information, on remarquera qu'elle manque cruellement de précision pour être utilisée pour la gestion de crise. Nous avons donc réalisé un travail de terrain afin de quantifier la population fréquentant ces lieux.

Deux grands types de lieux de fréquentations ont été considérés :

- les lieux de travail et fréquentés (entreprises, restaurants, centre commerciaux, thermes et piscines, ...),
- les lieux de concentration sensibles (établissements scolaires et de soins, centre de thérapie, ...),

Tableau 6 : Liste des lieux de fréquentation pris en compte pour l'évaluation de la population « de jour » dans le Valle de Los Chillos

Etablissements de santé	Publics et privés d'une certaine importance en relation avec la gestion de crise (capacité d'hospitalisation (lits), service d'urgence, ...)
Etablissements d'éducation	Jardin d'enfants, garderies, écoles, collèges, lycées, université
Centres d'éducation non scolaires ou de formation professionnelle	
Entreprises	Centres commerciaux, banques, entreprises de services publics (eau, électricité), administrations, bureaux, ...
Marchés	
Restaurants	
Etablissements touristiques et de loisirs	Golf, stade, gymnases, casino, musée, piscines et thermes, locaux pour l'organisation d'événements (banquets, réunions, mariages, ...)
Hôtel et "hosterias"	" Hosterias" : centres de loisirs avec capacités d'hébergement
Etablissements liés à la sécurité civile	Police, Croix Rouge, établissements militaires
Etablissements sensibles	Etablissements pour personnes handicapées, maisons de retraite, centres de thérapie infantile ou de réhabilitation (délinquance ou désintoxication)

Les zones prises en compte furent essentiellement la zone d'exposition majeure plus la marge de 200 m évoquée précédemment, ainsi que la zone d'isolement entre les deux cours d'eaux du Rio Pita et Santa Clara. Il s'avère que l'essentiel des zones urbaines relativement exposées y sont incluses. Une partie du centre de Sangolquí a donc été pris en compte bien que relativement surélevée par rapport au niveau du Rio Santa Clara, ainsi que certaines zones industrielles plus éloignées notamment dans le prolongement de l'avenue Ilalo. En effet, on y trouve plusieurs entreprises de tailles conséquentes, pouvant faire travailler du personnel venant de Quito qui se trouverait alors isolé.

Enfin, nous avons complété les enquêtes de terrain en prenant en compte les diverses piscines et thermes situés en zone de risque ainsi qu'en zone de moindre isolement.

La méthodologie employée consista à diviser la zone d'étude en maille de 200 m de côté et quantifier la population pour chaque maille. Deux types d'informations sont agrégés aux mailles : la première par point, concernant des établissements localisés, la seconde par zone, l'information est alors directement attribuée à la maille (exemple : nombre de petites entreprises). Ainsi, la totalité des lieux sensibles a été pris en compte (information par points). A contrario, nous avons dû adapter la méthodologie pour les lieux de travail. Seules les grandes entreprises, restaurants et autres centres de concentration relativement conséquents ont fait l'objet d'enquêtes et ont été localisés. En effet, suite à un premier essai, il s'est avéré trop fastidieux et parfois délicat de collecter ces données pour chaque entreprise. Nous nous sommes donc basés sur un échantillon d'une centaine d'entreprises (première zone d'étude le long de l'avenue Ilalo à San Rafael, l'échantillon pris en compte concernait les entreprises ayant moins de 7 employés) pour lequel a été calculé le nombre moyen d'employés qui atteint 2,3. Pour la suite, seul a été compté le nombre de « petites entreprises et de restaurants » par maille.

Le total de population par maille est obtenu en sommant les deux informations. On obtient ainsi une estimation de la population pendant la journée, et des données qualitatives complémentaires concernant les établissements particuliers, soit du fait de leur sensibilité, soit de leur importance en termes de fréquentation.

On rappelle que le résultat doit être considéré comme une estimation, compte tenu des spécificités des données récoltées et de la variété des cas rencontrés. Plusieurs limites sont notables. D'abord, l'étude a été concentrée sur les zones de concentration de population significatives, en particulier les zones urbaines regroupant les activités. Les zones rurales ou exclusivement résidentielles n'ont que partiellement été prises en compte.

Ensuite, il faut préciser que la population estimée peut être amenée à se déplacer pendant la journée. Les données peuvent donc se recouper, notamment en ce qui concerne l'estimation de la clientèle. Par ailleurs, on peut observer dans certains cas des concentrations ponctuelles seulement certains jours de la semaine où encore durant les heures de pointe. Nous proposerons donc un ordre de grandeur qui ne rend pas compte de ces spécificités, seule une distinction entre la fréquentation en semaine et en fin de semaine a été représentée, car plus pertinente. En effet, les activités professionnelles et les centres d'éducation représentent une des origines majeures de la concentration de la population en semaine, alors qu'elle fréquente plutôt les lieux touristiques et les centres commerciaux les week end. On va donc chercher à évaluer ces variations quantitatives et spatiales. De même, la variété des horaires de travail quand ils sont connus, est difficile à prendre en compte (rotation de personnel, variation du nombre d'employés selon les jours par exemple pour les marchés, ...)

La fréquentation liée aux périodes exceptionnelles (carnaval, jour fériés, vacances) s'est avérée complexe à prendre en compte. Seules des informations ponctuelles ont été récoltées, notamment pour certains établissements touristiques (stade, thermes, piscines). Concernant les

fêtes locales, ou autres événements pouvant générer une forte affluence, ils devront faire l'objet d'une attention particulière en cas de déclenchement d'un niveau d'alerte. On imagine dans ce cas que la fréquentation sera réduite, voir jusqu'à l'annulation de ce type de manifestations. Cela reste une question qui devra être abordée par les responsables de gestion de crise.

3.2 Analyse

a. Les lieux de travail/fréquentés

- Entreprises, centres commerciaux

La zone étudiée concentre un nombre important de petites entreprises, avec comme nous l'avons évoqué, une moyenne de 2,3 employés par établissements. On trouve beaucoup de petites boutiques, superettes, mais aussi artisans et mécaniciens notamment dans le centre de Sangolqui, parfois tenues par une seule personne (Cf. annexe 23 : *Localisation des petits commerces pouvant être affectés par les lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos*). D'après les entretiens réalisés, la majorité des employés vivent dans le Valle de Los Chillos. Ces petites entreprises sont généralement ouvertes le samedi mais rarement le dimanche. Nous avons comptabilisé le nombre de petites entreprises et restaurants par maille. Le total a été divisé arbitrairement par 50 % lors du calcul de la population de jour en fin de semaine.

On constate aussi le développement d'entreprises de plus grandes tailles et certaines plus spécialisées (Cf.annexe 24 : *Localisation des entreprises principales du Valle de Los Chillos pouvant être affectées par les lahars du volcan Cotopaxi*). L'information obtenue pour ces entreprises est plus précise, on peut donc comptabiliser le nombre d'employés et les jours de la semaine travaillés. On localise deux « zones industrielles » un peu excentrées : un complexe situé en zone d'isolement majeur dans le canton de Rumiñahui et une zone en bordure de la limite Est des lahars le long de l'Avenue Ilalo. Concernant ces entreprises, il semble qu'elles font travailler plus de personnel en provenance de Quito (exemples : 60 % des 220 employés de la fabrique d'armes et équipements militaires de Santa Barbara viennent de Quito, 50 % des 140 employés pour Lechera Andina et 90 % des 100 employés pour Ecuacimica).

On observe par ailleurs le développement d'immeubles de plusieurs étages dédiés à des bureaux, plusieurs constructions sont tout juste finies, d'autres encore en construction. Faisant partie d'une nouvelle génération, ces établissements caractérisent bien la concentration des activités et l'attractivité de la zone et participent de manière conséquente à la concentration des biens et des populations en zone exposée.

Les centres commerciaux sont aussi pointés du doigt. La fréquentation de certains est impressionnante, à l'exemple du San Luis qui compte plus de 8000 clients journaliers en semaine et le double en fin de semaine (Photo 5, p.26). Le "Rivel Mall" (Photo 14) récemment construit en bordure du Santa Clara à Sangolqui, comme le "Plaza del Valle" dans le secteur du "Triangulo", représentent aussi des lieux de concentration importants parmi d'autres (Photo 11). Et les constructions se poursuivent (Photo 13)

On doit noter ici une forte disparité entre le canton de Rumiñahui et l'Administration Zonale Valle de Los Chillos. En effet, la majorité des entreprises se situe sur le territoire de Rumiñahui : on y dénombre plus de 1500 entreprises contre moins de 200 pour l'Administration Zonale. La population travaillant dans ces établissements conforte ce contraste, respectivement 7971 et 1382 personnes. Si on ajoute le personnel des établissements scolaires et médicaux, on somme un total de 10 924 personnes à Rumiñahui et 2028 pour l'Administration Zonale, population en grande majorité directement exposée aux lahars potentiels du volcan Cotopaxi (seul le personnel est pris en compte ici).



Photo 12 : Centre commercial El Prado à San Rafael déjà un peu ancien



Photo 13 : Centre commercial en construction en bordure du Rio Santa Clara



Photo 14 : Centre commercial River Mall situé à l'entrée de Sangolqui aussi en bordure du Santa Clara

Tableau 7 : Entreprises et population active pouvant être affectée (zone exposée plus zone isolée) par les lahars du Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos

	Rumiñahui	AZVCH
Entreprises	1555	184
Personnel (seulement des entreprises)	7971	1382
Total personnel (avec personnel scolaire et médical)	10 924	2028

- Restaurants

L'information concernant les restaurants offrent une idée intéressante des lieux de concentrations. Deux types de restaurants sont à distinguer, ceux qui offrent plutôt leur service en semaine, et dont la fréquentation diminue en fin de semaine (certains sont fermés les week end), ils sont en général de petite taille. Un autre type de restaurant concentre par contre la majeure partie de son activité en fin de semaine, en particulier les restaurants de plats typiques (Hornados), très appréciés des quiténiens. En général de plus grande taille, bien qu'on observe aussi des petites structures, ils représentent un attrait touristique particulièrement important. A noter que dans les deux cas, la grande majorité ne sert que le repas de midi, seules quelques structures notamment les chaînes de restaurations ou les centres commerciaux sont ouverts en soirée.

b. Fréquentation touristique

Il s'est avéré relativement difficile d'estimer la population touristique, cependant quelques éléments sont mis en avant. Le Valle de Los Chillos est une destination appréciée de tourisme de proximité, en particulier du public quiténien, notamment pour les restaurants de plats typiques, ainsi que les termes et piscines (Cf. annexe 25 : *Fréquentation des lieux de loisirs et touristiques pouvant être affectés par les lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos*). C'est un tourisme à la journée, en particulier le Dimanche. Nous avons enquêté auprès des piscines et termes afin de se faire une idée plus précise.

Nous avons pris en compte la zone exposée et la zone isolée à l'Est (considérant que la majorité des touristes viennent de Quito). Ces établissements peuvent accueillir une population importante, en particulier durant les périodes exceptionnelles, les termes del Tingo ou de La Merced accueillent jusqu'à 1000 personnes par jour en période de carnaval. Une estimation globale de la fréquentation touristique est cependant difficile à obtenir, car elle ne concerne pas seulement les termes.

D'après les données, on estime que 1400 personnes par jour fréquentent les établissements à vocation de récréation durant la semaine, ce chiffre est plus que triplé en fin de semaine avec environ 4500 personnes. Pour les restaurants qui ont fait l'objet d'enquêtes (les plus importants), on constate que la fréquentation double, de 1870 clients journaliers en semaine, on passe à 4000 en fin de semaine. Nous examinerons donc les données concernant les flux de populations afin de compléter ces données ci après. Il faut noter que cette fréquentation est largement sous estimée, en effet tous les restaurants n'ont pas été pris en compte et notamment la chaîne de restaurant Hornados Dieguitos, dont les 5 établissements très fréquentés ont refusé de donner les informations.

e. Etablissements sensibles

- Etablissements scolaires (Cf. annexe 26 : *Etablissements scolaires exposés au risque de lahar ou à proximité, dans le Valle de Los Chillos*)

Les établissements scolaires sont particulièrement importants pour la gestion de crise, ainsi que pour la prévention du risque. Bien qu'il aurait été intéressant de recenser l'ensemble des établissements de la zone d'étude, j'ai dû me restreindre à la zone exposée. J'ai pris en compte les jardins d'enfants, garderies, écoles, collèges, lycées ainsi que l'Université de l'ESPE. Les informations récoltées concernent le nombre d'élèves, leur âge ainsi que le nombre de professeur. En parallèle, la réalisation de simulation d'évacuation et la date de la dernière conférence donnée par les autorités à propos du Cotopaxi permettent d'estimer les besoins en termes de préparation et de sensibilisation.

On comptabilise plus de 21 000 élèves pour l'ensemble des établissements scolaires pris en compte. On voit sur la carte que le secteur de San Rafael regroupe de nombreux établissements dont certains accueillent un nombre d'élèves important, en particulier le Colegio Antonio Farina avec 1700 élèves et le Liceo Naval Cesar Endara avec plus de 2000 élèves. Le secteur de Sangolqui apparaît aussi préoccupant avec une concentration d'établissements directement en bordure du Rio Santa Clara parmi lesquels on compte : Colegio Jijon Camano (600 élèves), Escuela Digo figueroa (560 élèves), Jardin Infantil Maria Ventimillia (500 élèves de moins de 5ans), Escuela J P Montufar (750 élèves), et Colegio Juan Salinas (3000 élèves) pour les principaux. On note que l'Université de l'ESPE, situé en zone isolée, concentre 8000 élèves supplémentaires.

Certains établissements hors de la zone exposée ont été pris en compte du fait de leur relative proximité. On peut aussi se poser la question des décisions à prendre en cas de crise dans le cas de ces établissements, concernant leur fermeture et leur évacuation. La possibilité l'isolement est aussi à prendre en compte ainsi que la réaction de parents.

Le travail de préparation engagé par les autorités est donc à poursuivre. On constate en effet que plus de la moitié des établissements (60% des élèves) n'ont pas reçu d'information concernant le Cotopaxi cette année.

D'après les enquêtes, la majorité des élèves proviennent du Valle de Los Chillos. On estime que les établissements pris en compte concentrent environ 37 % de la population du Valle de Los Chillos en âge d'être scolarisée (entre 4 et 19 ans, l'Université de l'ESPE n'est pas prise en compte dans le calcul). On suppose donc que les établissements en zone exposée couvrent une zone plus large, et provoquent donc une concentration de cette population. Le Valle de Los Chillos s'avère particulièrement vulnérable concernant ce point.

- Etablissements de soins (Cf. annexe 27 : *Etablissements de santé principaux du Valle de Los Chillos*)

A la demande des partenaires, notamment pour la préparation de l'exercice de simulation évoqué en troisième partie, j'ai réalisé un inventaire des établissements sur la totalité du territoire du Valle de Los Chillos. Ce travail répondait alors à deux objectifs, le premier concernant les établissements en zone de risque et leur fréquentation, et le second relatif à la capacité des établissements à donner des soins en cas de crise. J'ai pris en compte les établissements publics et privés, d'une certaine importance en privilégiant le rôle qu'ils pourraient jouer en cas de crise (présence d'un service d'urgence, capacité d'hospitalisation). On pointe ici un élément majeur de vulnérabilité. On remarque d'abord que les établissements se concentrent dans les zones urbaines, et sont parfois très éloignés de certains secteurs ruraux. D'un point de vue qualitatif, le niveau d'équipement est faible, seuls 16 des 42 établissements recensés disposent d'un service d'urgence.

La capacité d'hospitalisation pour l'ensemble du Valle de Los Chillos est aussi inégalement répartie mais surtout très faible, avec un total de 223 lits, parmi lesquels 123 sont concentrés dans l'hôpital psychiatrique Julio Endara, considéré comme très vulnérable dans l'étude menée sur Quito. L'hôpital cantonal de Sangolquí, qui centralise les informations sur l'ensemble du territoire et qui propose 25 lits, se trouve en zone exposée. Il reste alors 57 lits (sans Julio Endara) hors de la zone exposée, répartis sur le territoire. Une crise nécessiterait donc l'appui et la coordination avec les hôpitaux de Quito. Aussi, le critère d'isolement de la zone Est s'avère particulièrement préoccupant. En effet, seuls les sous centres de santé publics restent dans cette zone et ne disposent ni de service d'urgence, ni de capacité (lits) d'hospitalisation.

- Autres établissements sensibles pris en compte

Les deux points évoqués plus hauts sont de loin les plus sensibles, du fait de la quantité de personnes concernées et du rôle joué en cas de crise. D'autres établissements, bien que peu nombreux, doivent cependant faire l'objet d'une attention particulière. On recense notamment 9 « centres de thérapie » regroupant au total 180 personnes. Sont inclus les maisons de personnes âgées (2), les centres de réhabilitation suite à des problèmes de délinquances et/ou de drogues (3), les centres de thérapies pour des jeunes enfants ayant des difficultés mentales (4), ainsi qu'un centre d'attention pour handicapés physiques et mentaux.

Ces personnes sont spécialement vulnérables, d'abord pour la question de l'évacuation (notamment les personnes âgées et les handicapés), et parce qu'elles nécessitent des soins particuliers. Par ailleurs, dans le cas des personnes en réhabilitation, la question de l'hébergement dans les zones de refuges peut s'avérer délicate.

Enfin, certains établissements militaires et locaux de police se trouvent situés en zone de risque. Jouant un rôle primordial dans la gestion de crise, le transfert du personnel et des capacités logistiques doit être envisagé.

3.3 Concentration de la population de jour : bilan

(Cf. annexe 28 : *Total de la population de jour en semaine et en fin de semaine pouvant être affectés par les lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos*)

Les résultats obtenus suite au travail réalisé montrent que la population de jour sur la zone d'étude considérée s'avère relativement importante. La première colonne du tableau ci-dessous représente la population estimée en zone exposée, plus précisément la population qui se situe dans le périmètre délimité par le zonage de l'Institut Géophysique. La colonne « Total » correspond à l'ensemble des zones prises en compte, c'est-à-dire :

- la zone exposée,
- une marge d'incertitude de 200m en bordure de cette zone,
- la zone isolée par les deux bras de lahars,
- la zone Est isolée de Quito (ou seuls ont été comptés quelques grandes entreprises et les piscines et termes).

Nous affichons sur ce tableau les données concernant les établissements scolaires car ils représentent une part caractéristique de la population en semaine, absente en fin de semaine. On peut considérer qu'une partie des enfants restent chez eux en fin de semaine, cependant cette donnée n'a pas pu être estimée. D'après le pourcentage d'élèves rassemblés dans ces établissements par rapport au total en âge d'être scolarisé, on peut penser qu'une partie provient de zones plus éloignées.

Tableau 8 : Estimation de la population « de jour » pouvant être affectée par les lahars du Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos, comparaison avec la population résidente (selon l'INEC, 2001)

	Zone d'exposition majeure	Total
Population "de jour" en semaine	46 983	71 941
... dont les établissements scolaires	16 786	33 202
Population "de jour" en fin de semaine	29 533	38 928
Population résidente (ou de nuit)	15 113	58 653

* La population restant au foyer n'est pas représentée dans ce tableau. On peut considérer la population âgée de plus de 65 ans, représentant 1200 personnes en zone de risque, et 4700 qui seraient affectées au total (estimant qu'elle ne travaille plus et qu'elle reste au foyer). Le nombre de « femme au foyer » aurait été intéressant à calculer mais il manquait des données. Un recensement plus précis pourra prendre en compte ce type d'informations, les données calculées ici sont en effet sûrement sous estimées.

Le bilan exposé est assez alarmant. La population de jour en zone exposée s'avère être bien supérieure à la population résidente estimée à 15 113 selon de recensement 2001. Elle triple en semaine, alors qu'elle double quasiment en fin de semaine. Si l'on considère seulement la population active, le chiffre est revu à la baisse mais reste relativement important, on obtient en effet un total de 12 952 personnes travaillant en semaine pour l'ensemble de la zone d'étude (zone exposée plus la marge de 200 m et les quelques établissements en zone isolée). On note que les établissements scolaires emploient 3249 personnes, inclus personnel administratif.

On peut expliquer ces données par la concentration des activités en zone exposée, notamment dans le secteur de San Rafael et du Triangulo, ainsi que par la concentration ponctuelle de certains lieux comme les centres commerciaux du San Luis, du River Mall et de la Plaza del Valle.

Le Valle de Los Chillos, et en particulier l'urbanisation de San Rafael jusqu'à Sangolqui, s'avère être une zone d'activité particulièrement dynamique, ce confirmé par la concentration de population. La mobilité, notamment la densité du trafic entre Quito et le Valle, fournit des éléments intéressants sur ce point (Cf. Photo 15).



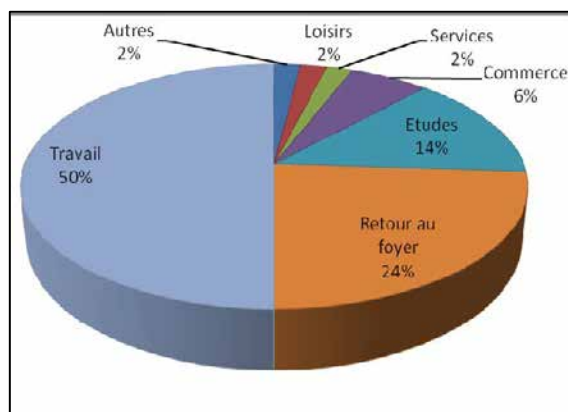
Photo 15 : Véhicules en attente devant le péage de l'autoroute de Rumiñahui pour descendre de Quito au Valle de Los Chillos. (Prise un matin en semaine, on distingue au fond le Cotopaxi).

D'abord, les flux de population entre Quito et le Valle de Los Chillos caractérisent une dynamique centre périphérie importante (Cf. carte 2 ci-dessous). On compte 20 000 équivalents véhicules par jour et plus de 50 000 personnes en direction de Quito, 16 000 véhicules et plus de 40 000 personnes dans la direction opposée (F. Yanez, 2007). Les motifs de ces déplacements en semaine, représentés sur le graphique 3, sont principalement liés à l'activité professionnelle (50 %), les retours au foyer (24 %) et les études (14 %). D'après une enquête menée sur les motifs de déplacements des personnes empruntant les transports en commun (F. Demoraes, 2005), les déplacements pour des raisons professionnelles sont plus importants en direction de Quito (41,4 %) mais représentent cependant 31,6 % dans l'autre sens. Logiquement, les retours au foyer atteignent 38,7 % vers le Valle de Los Chillos, et seulement 13,1 % jusqu'à Quito.



Carte 2 : Véhicules équivalents par jour transitant entre Quito et le Valle de Los Chillos en semaine, source Yanez, 2007

Graphique 3 : motifs de déplacements en semaine entre Quito et le Valle de Los Chillos et vice versa, source : Yanez, 2007



Les déplacements liés au tourisme atteignent seulement 2 % en semaine mais augmentent en fin de semaine où ils représentent quasi la majorité du trafic. On note que ce dernier est relativement moins dense en fin de semaine où l'on compte une moyenne de 15 000 équivalents véhicules par jour dans les deux sens.

La mobilité des populations du Valle de Los Chillos est donc caractérisée par des échanges importants avec Quito, échanges qui se font dans les deux sens. En effet, si la vocation du Valle de Los Chillos est principalement résidentielle, l'activité économique y prend aujourd'hui une place importante. On constate qu'une bonne partie de la population va travailler à Quito. Toutefois, le développement des activités attire aussi une population active importante (et la clientèle associée), de la zone même, ainsi que des populations quiténiennes. Nous avons réalisé une comparaison entre la population « de jour » et la population résidente par « manzanas » en calculant le rapport population « de jour » / population résidente (Cf. annexe 28 : *Variation entre la population « de jour » et la population résidente pouvant être affectés par les lahars du volcan Cotopaxi (à l'échelle des «manzanas»*)). On peut mettre en avant des zones de concentration journalière, où sont favorisées les activités plutôt que le résidentiel. On constate en effet que la population « de jour », à l'échelle d'une « manzana », est souvent plus de 10 fois supérieure à la population résidente, cela s'explique en majorité par la présence de grands établissements scolaires (en semaine) ou de centres commerciaux (semaine et fin de semaine). D'un autre côté, on observe que la population double voir triple pendant la journée dans certains secteurs du centre de San Rafael et de Sangolqui où la densité de population résidente est déjà élevée. On voit aussi ressortir les zones industrielles en semaine. Ainsi, cette carte nous permet de confirmer l'importance de la mobilité des populations dans le Valle de Los Chillos en mettant en avant les zones de concentration journalière. Ces zones doivent attirer notre attention en termes de gestion de crise, notamment concernant les capacités d'évacuation en fonction du type d'activité.

L'attractivité et le développement du Valle de Los Chillos pourrait être lourd de conséquence en cas de crise et implique de renforcer la préparation des autorités et de la population à l'affronter.

4. Synthèse et orientations pour la gestion du risque

4.1 Eléments majeurs de vulnérabilité

L'analyse de la vulnérabilité de la population exposée aux lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos fait ressortir plusieurs points clefs permettant d'orienter la gestion du risque. Il faut préciser que l'approche proposée ici concerne un aspect de la vulnérabilité considérant la quantification, la caractérisation et l'exposition de la population. D'autres aspects ont été abordés par Tania Serrano et Diana Salazar et vont permettre de compléter notre analyse. Les principaux résultats en termes de vulnérabilité sont les suivants :

- L'exposition de la population ne se résume pas à la zone de risque délimitée par le zonage (basé sur l'évènement de référence de 1877) mais il est nécessaire de prendre en compte les cas d'isolements plus ou moins marqués. On compte plus de 15 000 personnes en zone d'exposition majeure, 7000 dans la zone encerclée par les deux cours d'eau Rio Pita et Santa Clara, et plus de 35 000 personnes situées à l'Est du territoire dont l'isolement est moindre mais cependant suffisant pour être mentionné.
- La population résidente s'avère être peu vulnérable selon des critères socio économiques et démographiques dans les zones urbaines, cependant sa concentration couplée à une forte exposition est préoccupante. La population rurale est considérablement plus vulnérable compte tenu de sa pauvreté et d'un faible accès aux services. Moins exposée, elle pourrait cependant être plus durement affectée par l'isolement en cas de crise.
- La population « de jour » est 3 fois plus importante que la population résidente en semaine, et 2 fois plus en fin de semaine dans les zones exposées. Les implications en termes de gestion de crise et de préparation de la population sont majeures.
- Les établissements d'éducation regroupent plus de 16 000 élèves en zone exposée, sans compter les 8000 étudiants de l'ESPE en zone isolée.
- Les établissements de santé n'ont pas la capacité suffisante, ni les équipements nécessaires pour faire face à une crise et leur répartition est très inégale. La zone Est, isolée de Quito, est particulièrement desservie sur ce point.
- La faible capacité du réseau routier en rapport à l'importance du parc automobile, augmente les risques de congestion et poserait des problèmes concernant l'évacuation.
- Le développement territorial, en particulier la politique d'accueil des activités économiques du canton de Rumiñahui, implique de renforcer la préparation à la gestion de crise. Si l'on arrive à maintenir une densité raisonnable de population résidente, on a montré que le développement des activités est à l'origine de concentrations de population très importantes, trois fois plus dans l'ensemble de la zone, voir beaucoup plus pour certains secteurs.
- Par ailleurs, si l'exposition d'établissements sensibles et/ou ayant un rôle majeur en cas de crise est un facteur de vulnérabilité majeur, la concentration des activités en zone de risque est aussi préoccupante. Nous avons abordé la vulnérabilité de la population du fait de sa concentration, s'ajoute la vulnérabilité du secteur économique et touristique. D'abord la déclaration d'une alerte, même faible, sera nuisible à ces secteurs. Nous avons vu la baisse des investissements suite à la mini crise du Cotopaxi en 2001, accompagnée d'abandon de

constructions (surtout résidentielles) et de la chute du prix du terrain. A plus cours terme, le secteur touristique peut subir une baisse de fréquentation conséquente, comme cela a été le cas pour la ville de Baños lors des crises du Tungurahua.

En cas d'éruption, les dommages sont potentiellement très lourds, pouvant causer des pertes économiques importantes, et ce de façon beaucoup plus marquée pour le canton de Rumiñahui que pour l'Administration Zonale Valle de Los Chillos. Il faut compter sur la suspension des activités pour une durée plus ou moins longue, et au pire, à la perte des infrastructures. La population active en serait fortement affectée.

Ces conséquences auraient des répercussions bien au delà du Valle de Los Chillos, touchant les deux provinces du Pichincha et du Cotopaxi, affectant économies, axes de transport et de communication, nécessitant l'intervention au niveau national voir international.

4.2 Orientations pour la gestion de crise

Ces résultats fournissent une base de réflexion sur les enjeux de la gestion de crise et de manière plus générale sur la gestion du risque. L'aspect opérationnel a justifié la réalisation de cette étude. Nous chercherons donc à proposer plusieurs orientations en s'appuyant sur les expériences passées et sur les spécificités que nous avons maintenant définies dans le Valle de Los Chillos. Plusieurs points apparaissent problématiques, montrant la complexité de la tâche des différents responsables.

Compte tenu qu'elle occuperait la zone durant toute la durée de la crise, la population résidente sera la première à nécessiter l'attention des autorités.

L'information de cette population en période de crise est particulièrement importante. On a vu dans le cas de la Casa Cotopaxi qu'une relation de confiance s'est créée avec la communauté, avec des bons contacts avec les scientifiques de l'IG EPN. Elle est le résultat des actions de préparation organisées aujourd'hui, avec la participation des différentes parties. La coordination devrait cependant être renforcée avec Rumiñahui et avec les scientifiques de l'ESPE. Les tensions entre institutions sont à éviter à tout prix. Comme s'est attachée à le montrer Tania Serrano, la division administrative du Valle de Los Chillos est aussi un facteur de vulnérabilité majeur.

Un des points devant être traité en commun concerne l'identification des zones de refuges pour l'ensemble du territoire. Si les deux administrations ont accepté de partager leur information, celle-ci reste cependant inégale et peu communiquée (en tout cas pas dans sa totalité, chacun présente les zones de refuges de son territoire). Enfin, on notera sur ce point la nécessité de mieux systématiser l'information, afin d'actualiser la localisation, la capacité et les ressources des zones de refuges en lien avec les besoins de la population.

Par ailleurs, le travail réalisé sur la perception du risque par Diana Salazar sera d'un apport considérable. Il permettra de mieux cerner les caractéristiques socio culturelles, pouvant influencer le comportement des populations, et précisant la distinction entre populations urbaines et rurales que nous avons présentée ici.

Ces informations seront utiles à la poursuite de la préparation et de la sensibilisation de la population. Il est à noter que d'après les expériences de la Protection Civile, les populations rurales semblent plus enclines à suivre les recommandations de la part des autorités que de populations urbaines plus aisées. Ces dernières semblent s'avérer plus réticentes en particulier en ce qui concerne l'évacuation. Dans les deux cas, l'attachement aux biens rend toujours délicat ce type de décisions. La crainte du vol et l'individualisme semblent aussi être des facteurs de comportements de plus en plus influents.

Du point de vue de l'organisation territoriale, la concentration des services dans la zone urbaine centrale contraste avec les zones rurales plus éloignées et un peu délaissées. Les ressources et les besoins, ainsi que de la qualité d'accès des différentes parties du territoire sont très variables, et certaines lacunes se verraient accentuées en cas de crise.

La concentration de la population « de jour » s'avère être un point préoccupant. Comme nous l'avons souligné précédemment cette population triple en semaine et double les fins de semaine. Plusieurs problèmes doivent être envisagés.

D'abord concernant les décisions à prendre en fonction des niveaux d'alerte, il paraît particulièrement difficile d'ordonner la fermeture des établissements, du fait de l'acceptation des personnes concernées et des répercussions économiques. Une évacuation de dernière minute semble être un choix plus « judicieux », ou en tout cas moins contraignant. La préparation de cette population à ce type d'exercice doit être envisagée (en plus de la population résidente), ainsi que les entreprises elles mêmes, par exemple par la réalisation de plan d'évacuation.

La question de l'isolement est aussi à considérer avec attention. En effet, une part non négligeable de la population « de jour » provient de Quito. L'évacuation de cette population devra se faire dans la mesure du possible dans cette direction, car dans le cas contraire les capacités d'hébergement des refuges pourraient être dépassées.

S'ajoute la question du trafic en cas de déclenchement d'une alerte. Déjà en 1991, D'Ercole s'inquiétait du risque de congestion de la circulation (D'Ercole, 1991). Le parc automobile est en effet très important dans le Valle de Los Chillos et, comme la population, le nombre de véhicules augmente pendant la journée. L'exemple du centre commercial San Luis est frappant en la matière, en effet, le nombre de véhicule par jour occupant le parking est estimé à 4000 en semaine et 8000 en fin de semaine. Par ailleurs, les voies d'évacuation présentent une faible capacité et seraient par conséquent très vite saturées. Un travail sur ce point semble nécessaire et de plus répondrait à une préoccupation majeure qui ne concerne pas seulement la gestion risque mais le développement urbain de manière générale.

Les établissements scolaires attirent aussi notre attention, facteur de concentration d'une population aussi vulnérable que nombreuse. L'expérience de la crise du Pichincha en 1999 nous montre que les prises de décisions ne sont pas évidentes. En effet, la fermeture des établissements en cas d'alerte s'avère délicate, car contraignante pour les parents. Cependant, envisager l'évacuation de dernière minute implique une responsabilisation des établissements et la confiance des parents. En effet, on peut s'attendre à ce chacun veuille aller chercher son (ses) enfant(s) en cas d'alerte, comportement compréhensible mais qui pourrait avoir des conséquences catastrophiques. L'afflux de personnes supplémentaires en zone de risque doit absolument être évité notamment compte tenu du problème de congestion du trafic.

La prise en compte des établissements hors zone de risque est aussi importante. Par exemple les problèmes d'isolement peuvent devenir plus graves si l'enfant est séparé de ses parents. De même, les établissements scolaires sont parfois des zones de refuges, et leur capacité ne prévoit pas la présence des élèves.

Dans ce sens, la poursuite des actions de préparation et de sensibilisation effectuées dans les établissements est primordiale. Elles doivent insister sur le rôle et la responsabilité de ces établissements en cas de crise et être discuté avec les parents.

La capacité et la répartition des établissements de santé sont un autre point faible. La prise en compte sérieuse de cette vulnérabilité est nécessaire, et doit envisager un contact avec les hôpitaux de Quito ainsi que le renforcement des capacités de soins dans le Valle de Los Chillos. Nous avons évoqué l'isolement de la partie Est concernant ce point. Combler ces

lacunes s'avère être un des enjeux primordiaux, par exemple avec des centres de soins temporaires et équipés de services d'urgences à mettre en place en phase de pré-crise. Il faut noter que l'on s'attend à un réveil progressif du Cotopaxi, laissant le temps à la préparation de la gestion de crise. Le Pichincha émet des signes d'alerte pendant un an. Il paraît cependant plus prudent, et plus responsable, d'être prêt avant d'être surpris.

Ce point doit être envisagé aussi à plus long terme, concernant l'installation de futures infrastructures. En effet, le nouvel hôpital devrait être construit à proximité du centre commercial San Luis, en zone exposée.

Plusieurs points ont attiré ici notre attention, et nous insisterons finalement sur un élément clef de la gestion de crise en cas d'éruption du volcan Cotopaxi, considérant la gestion des alertes et de l'évacuation. En effet, ce point est primordial dans le cas du Valle de Los Chillos compte tenu de l'étendue de la zone à évacuer, la quantité de personnes, les activités et biens associés. Nous avons précisé ci dessus les points de vulnérabilité de la population, sa concentration notamment pendant la journée et la difficulté, si ce n'est l'impossibilité, d'évacuer cette zone dès l'apparition des premières fumerolles. Il n'est pas envisageable de paralyser le Valle de Los Chillos pendant toute la durée de la crise.

Un travail sur la définition des niveaux d'alertes et des actions associées doit être envisagé et coordonné par les deux administrations du Valle de Los Chillos.

On insistera par ailleurs sur la pertinence et la nécessité de mettre en place un système d'alerte efficace et adapté au cas du Cotopaxi. On rappelle qu'un lahar met quelques 20 minutes pour parcourir les 40 km qui séparent le Valle de Los Chillos du premier détecteur de lahar. Un projet d'« Alerta Temprana », financé par le BID (Banco Interamericano de Desarrollo) et en coopération avec l'IG EPN, a récemment commencé et ouvre de bonnes perspectives. L'amélioration du système de détection doit être accompagnée d'un réseau d'appareils d'alerte (type sirènes) dans les zones exposées. La signalisation des zones de risque, des voies d'évacuation et des zones de refuges doit être envisagée, à l'attention de la population résidente, ainsi que pour les secteurs de concentration de la population « de jour ». En effet, les actions de sensibilisation et de préparation de la population ne concernent aujourd'hui que les résidents ; la population « de jour » doit aussi être pris en compte et avoir les moyens de disposer de l'information nécessaire.

La gestion de crise s'avère être complexe et va demander un investissement important de la part des autorités et des populations concernées. Cela nous pousse à revenir sur le thème de la planification préventive. Un équilibre doit être trouvé aujourd'hui, car si le développement de la zone est permis, sous condition d'améliorer les capacités de gestion de crise, certaines limites doivent être fixées. Les résultats présentés ici fournissent des éléments concrets sur ce point. Pour le Valle de Los Chillos, et particulièrement pour Rumiñahui, les enjeux de développement sont particulièrement importants, peut être plus que la prise en compte d'un risque de faible probabilité. Cependant, sans stopper ce développement, il semblerait plus responsable, compte tenu des résultats proposés, de considérer ce risque au moins pour les établissements sensibles, particulièrement les grandes infrastructures routières, les hôpitaux et les centres d'éducation.

Conclusions : analyse critique et perspectives

Nous avons présenté précédemment les principales conclusions en termes de vulnérabilité de la population et d'orientations à la gestion de crise. Il me semble maintenant intéressant de prendre un peu de recul afin de proposer une lecture critique de la prise en compte du risque dans le Valle de Los Chillos. Cette dernière partie sera plus globale, et s'appuie sur les différents résultats de mon travail ainsi que sur les connaissances développées au sein de l'équipe. Les aspects de la perception du risque et de la vulnérabilité institutionnelle traités par Diana Salazar et Tania Serrano sont en effet très complémentaires à mon approche sur la vulnérabilité des populations.

Risque et développement territorial dans le Valle de Los Chillos

L'analyse de la vulnérabilité des populations du Valle de Los Chillos révèle les spécificités d'une société et les relations qu'elle entretient avec le risque. D'après les différents résultats proposés, on a pu confirmer les interactions entre populations, politiques et organisation du territoire au sein du système étudié. Ainsi, caractériser la population et sa vulnérabilité nous a obligé à aborder diverses facettes de la gestion du risque et du développement territorial.

L'objectif de notre approche a été non seulement de mettre en avant les points de vulnérabilité, mais aussi de proposer une analyse des processus qui en sont à l'origine, afin d'améliorer la compréhension du risque.

La concentration de la population en zone exposée, plus que ses caractéristiques socio économiques et démographiques, est le facteur le plus aggravant et illustre bien le processus de construction du risque. La zone exposée se présente aujourd'hui comme une des zones de développement privilégiées du Valle de Los Chillos. A la vulnérabilité de la population, s'ajoute celle de l'économie, issu des choix de planification territoriale.

Les modalités de contrôle de l'occupation de sol par les autorités respectives permettent d'expliquer en partie cette situation. En effet, l'Equateur ne dispose pas de dispositif législatif comme on peut observer en France avec les Plans de Prévention de Risques (PPR), permettant d'interdire strictement toutes nouvelles constructions dans des zones évaluées comme très exposées (zone rouge des PPR). Seules des restrictions sont émises par les autorités, plus interprétées comme des recommandations que comme des obligations légales. En parallèle, la faiblesse des moyens financiers et humains ne permet pas un contrôle satisfaisant. Le canton de Rumiñahui dispose par exemple d'un seul « contrôleur » pour l'ensemble du territoire. En général, le paiement d'une amende permet de légaliser une construction réalisée sans permis, ce système restant peu dissuasif.

On constate cependant que le développement résidentiel en zone exposée fait l'objet d'une meilleure gestion par les autorités concernées. L'AZVCH dispose de plusieurs mesures de contrôle, par exemple concernant la division des lots avec l'objectif de limiter le morcellement parcellaire propice à l'augmentation des constructions, ainsi qu'une restriction concernant le nombre d'étages. A contrario, ces mesures semblent peu concerner les entreprises qui trouvent ici un terrain adéquat, et profite d'un accueil favorable en particulier dans le canton de Rumiñahui. Il est alors nécessaire d'aborder la question à plus petite échelle. La dynamique territoriale, caractérisée par une forte attractivité et des flux importants en provenance de Quito, est marquée par le besoin de renforcer un pôle urbain encore trop dépendant de la capitale voisine. Cette volonté est d'autant plus forte pour le canton de Rumiñahui, qui dispose d'une autonomie plus importante que l'Administration Zonale en terme d'aménagement du territoire. Ses ressources sont à l'inverse plus limitées. Le développement et la concentration des activités et services s'y poursuivent à partir d'une urbanisation existante et la prise en compte du risque apparaît comme secondaire. La

nécessité de générer ses propres ressources, liée une organisation territoriale fortement dépendante de la proximité de Quito, influence la politique de développement du canton. En effet, les activités, et les projets, se concentrent dans le secteur de San Rafael bien qu'exposé aux lahars, délaissant les zones rurales du Sud peu attractives. On revient ici sur la boucle de rétroaction illustrant le cas du centre commercial San Luis, où l'attractivité d'une zone, compte tenue de la qualité du réseau routier (proximité de Quito) et de l'accessibilité aux services, favorise l'arrivée de nouvelles activités, rendant la zone toujours plus attractive. En fin de compte, la planification territoriale fait face à un dilemme complexe, entre d'une part la prise en compte d'un risque contraignant, compte tenu de sa faible probabilité et de son ampleur, et d'autre part, l'arrivée d'investissements vers les périphéries attractives de Quito qui représente une chance de développement.

Acceptation du risque ou négligence ?

La notion de risque acceptable apparaît pertinente pour traiter le problème complexe du risque dans le Valle de Los Chillos. Comme nous l'avons vu lors des commentaires de la cartographie du risque, la menace du volcan Cotopaxi est sujette à de nombreuses incertitudes. Ces mêmes incertitudes se heurtent à la réalité de la dynamique actuelle et à la volonté de développement.

Pesant chacun des éléments, le niveau de risque n'apparaît pas suffisant pour justifier l'arrêt du développement. Les enjeux financiers ainsi que la conviction quasiment générale que la prochaine éruption provoquera des lahars de faible ampleur compte tenu du retrait du glacier, voir la négligence d'un possible réveil du volcan, jouent en ce sens.

Des projets d'ouvrages de protection ont été évoqués mais se heurtent à des problèmes de coûts. La même question revient alors, cela vaut-il la peine d'investir dans un ouvrage coûteux et dont on peut douter de l'efficacité, en plus pour un risque peu probable ?

On opte alors pour une politique de prévention, accompagnée d'une limitation des constructions (essentiellement résidentielles) et la préparation des populations à affronter une crise. Il existe donc bien une conscience du risque dans le Valle de Los Chillos, et la volonté de s'en prévenir. Le travail présenté ici rentre dans ce cadre.

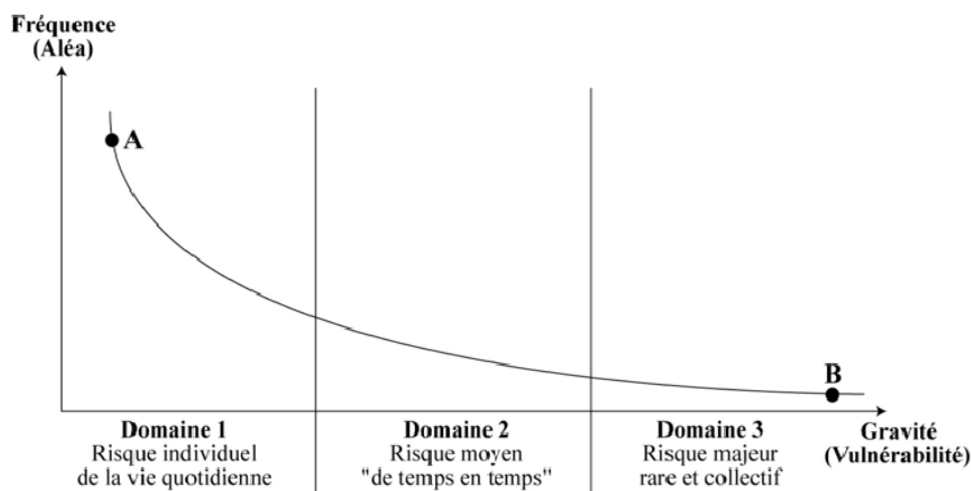
En parallèle, on continue de travailler sur la surveillance du volcan, notamment avec un programme récent concernant le système d'alerte (programme « Alerta Temprana »). On envisage la mise en place de nouveaux détecteurs de lahars, plus performants et de densifier le réseau de surveillance. On a commenté plus haut la question primordiale qu'est la gestion des alertes. Ce nouveau projet confirme l'importance accordée à ce sujet ainsi que la nécessité de préparation des organismes de la gestion de crise, et de la population, en coordination avec les autorités et les scientifiques.

Enfin, la participation des différents acteurs, notamment de la Casa Cotopaxi, et l'intérêt porté aux recherches réalisées sont le signe d'une conscience du risque encouru. Ces initiatives sont à encourager car elle propose une véritable prise en main du problème, avec les populations concernées.

On peut cependant se poser la question du niveau de risque acceptable. En effet, la préparation à la gestion de crise pourra sauver des vies, ce qui n'est pas négligeable. Les dommages potentiels restent cependant importants. Les retours d'expérience sur les catastrophes nous enseignent souvent que moins le phénomène est probable et/ou fréquent, plus les dommages sont importants (Pigeon, 2005 ; Albouy, 2002 ; Godard, 2002). Ce constat est illustré par la courbe de Farmer, qui relie la fréquence d'un aléa à sa gravité (ou l'endommagement) (Cf. graphique 4 ci-après). Plusieurs explications peuvent être évoquées. D'abord le fait que les sociétés ne sont pas préparées aux événements rares car plus ou moins conscientes de leur possibilité d'occurrence. Dans notre cas, le risque lié au Cotopaxi est

connu, mais parfois peu accepté. Il est vrai qu'il est difficile de s'imaginer ce volcan en éruption, il reste cependant dangereux.

Graphique 4 : Courbe de Framer : relation fréquence /intensité du risque



Ensuite, les incertitudes liées à la prévision de l'aléa sont souvent oubliées pour laisser place à un zonage de référence servant de base aux politiques de développement. On se concentre sur la référence des lahars de 1877, voir en la minimisant du fait du retrait du glacier, et on estime qu'au-delà le risque est nul. Or, comme nous l'avons montré dans la seconde partie, les incertitudes sont bien réelles, et amplifiées par l'anthropisation des processus physiques modifiant les conditions d'aléa. Sans pour autant prôner une politique du scénario du pire, la reconnaissance de ces incertitudes apparaît essentielle.

On saluera donc les politiques de prévention du risque, cependant avec ce regard critique. Ces politiques doivent se poursuivre et se renforcer. La question de l'après crise, qui n'a pas été abordé dans ce rapport, souligne des lacunes importantes. Il faut noter que les systèmes d'assurance sont quasiment inexistantes en Equateur, et la vulnérabilité économique et sociale s'en voit d'autant plus accentuée. Comment gérer alors la perte de son foyer, de son entreprise, et quelles sont les solutions envisageables pour la suite ? Nous pointons ici les limites qui caractérisent l'acceptabilité du risque dans le Valle de Los Chillos.

Les perspectives de la gestion du risque : apport théorique

Nous avons présenté ci dessus une analyse critique des liens entre la société et le risque. L'analyse de la vulnérabilité nous a permis de mettre en avant des limites et de mieux comprendre les enjeux de la gestion du risque dans le Valle de Los Chillos.

Le territoire est attractif et en plein développement, mais en même temps exposé à un risque potentiel et peu fréquent. La planification territoriale est fortement dépendante des enjeux économiques et la poursuite du développement des activités se justifie par les incertitudes caractérisant l'aléa. La division administrative incohérente avec l'homogénéité urbaine est la cause d'un manque de coordination, préjudicant à une approche globale de la gestion du risque. Enfin, la politique de préparation des populations à la gestion de crise est à souligner.

On fait face ici à un système complexe, tel que nous l'avons décrit dans la première partie. La complexité ne veut pas dire qu'il n'y a pas de solution, elle permet au contraire de reconnaître les incertitudes qui caractérisent les choix politiques et les processus de construction du

risque. Le recours aux théories de la complexité permet d'apporter une nouvelle vision sur les problématiques rencontrées.

La théorie cherche à définir les lois qui organisent un phénomène observable sur le terrain, nécessitant un aller retour entre réflexion et observation. Albouy (2002) écrit : « une théorie ne se démontre pas ni ne se valide, elle s'admet. Elle s'admet lorsqu'elle est utile pour l'analyse des faits ». Et si les faits la contredisent, elle n'a plus lieu d'être maintenue.

Parmi les théories de la complexité, on retiendra ici celle de l'auto organisation car elle fournit des clefs pour la compréhension des faits. Elle insiste sur les interactions internes entre éléments du système, l'environnement n'ayant pas de rôle direct sur sa structure. L'interdépendance, les mécanismes de compétition et de coopération entre les éléments du système font émerger un comportement global.

L'absence de liens avec l'environnement est difficile à soutenir pour un système géographique tel que le nôtre, ce qui limite l'application de cette théorie. Cependant, elle permet de mener une réflexion sur l'organisation et la dynamique du macro système du risque du Valle de Los Chillos.

Une des particularités des systèmes auto organisés est que l'on n'y distingue pas de centre organisateur. Par exemple, Internet est un système complexe auto organisé, il n'est dirigé par aucune administration centrale mais au contraire est totalement décentralisé. Sa dynamique résulte des relations qu'entretient un nombre croissant d'utilisateurs interconnectés (De Rosnay, 2000).

Le système du Valle de Los Chillos peut être entendu de cette façon, chaque entité s'organise en fonction des autres éléments du système. Ainsi, il paraît pertinent de chercher à renforcer les liens entre les différents acteurs, autour des enjeux du territoire. Une meilleure communication, la participation de la population aux prises de décisions politiques sont des pistes intéressantes. Elles illustrent le principe de gouvernance.

La coordination des acteurs vers un même objectif, en fonction des moyens disponibles et des attentes (risque accepté), apporte des solutions et les consensus nécessaires à une gestion globale du risque. Elle contraste avec un système de décision hiérarchique et cloisonné, qui ne peut traiter que partiellement les problématiques complexes qui lui sont exposées.

Les actions menées par la Casa Cotopaxi confortent ce point. En insistant non pas seulement sur l'information de la population mais sur sa formation et sa responsabilisation, elle a réussi à créer une véritable dynamique qui semble porter ces fruits. Deux exemples permettent d'illustrer ce propos.

Le premier concerne l'ouverture d'une nouvelle voie d'évacuation par les habitants d'un quartier exposé suite à un exercice de simulation, et illustre la prise d'initiative renforçant l'action politique. Il faut préciser que la grande majorité de quartiers sont entourés de murs non franchissables et ne disposent que d'une seule entrée gardée, pour des raisons de sécurité. La création d'une deuxième porte, preuve d'une véritable conscience du risque, leur permet d'accéder plus rapidement aux lieux de refuge.

Le deuxième exemple concerne un sujet abordé lors de la réunion du conseil administratif organisé par la Casa Cotopaxi. Le projet de construction d'un nouvel axe routier afin de désengorger la zone du Triangulo était évoqué. Les responsables de la communauté insistèrent lourdement sur la prise en compte du risque de lahar dans le choix de l'emplacement du tracé, exprimant leur inquiétude vis-à-vis de ce projet, ainsi que des problèmes liés à la congestion du trafic actuel et de la nécessité de réaliser des voies alternatives d'évacuation. La reconnaissance de leur statut, en tant que responsables de la communauté, facilite fortement la remontée de l'information.

Ces deux exemples montrent bien la prise de conscience du risque et la volonté d'un développement réfléchi. La politique menée par la Casa Cotopaxi joue ici le rôle de

catalyseur. Une véritable dynamique se crée, et peut être considérée comme un des points forts de la gestion du risque dans le Valle de Los Chillos.

La capacité des politiques à mettre en relation les différents éléments du système pour aborder le développement de façon globale apparaît alors comme une perspective d'envergure mais payante.

A l'inverse un raisonnement cloisonné peut être créateur de risque. Nous avons abordé rapidement dans la deuxième partie le projet de digue de déviation des lahars au niveau du site de la Caldera (Cf. photo 3 p. 23). Cette initiative, proposée par les scientifiques de l'ESPE et les autorités de Rumiñahui, illustre bien la vulnérabilité institutionnelle et le manque de coopération. La construction de cet ouvrage aurait déplacé le risque vers l'administration voisine.

Ainsi, l'application des théories de la complexité semble pouvoir apporter de nouvelles clefs améliorant l'analyse et la lecture géographique des risques. Elle permet de reconnaître les difficultés de la gestion politique, d'en saisir les enjeux et les incertitudes. Une meilleure compréhension des processus permet alors de proposer une politique plus efficace, c'est-à-dire une politique qui prend en compte les interactions partielles entre plusieurs systèmes, présentent à diverses échelles, et qui reconnaît ses capacités et ses limites. Elle doit savoir s'appuyer sur les différents niveaux d'organisation, afin de concilier les différents usagers du territoire, gérer le développement en limitant le risque présent.

Enfin, la théorie de l'auto organisation suppose l'absence de forçage extérieur au système, mais la réalité du terrain est autre. Il est donc nécessaire ici de dépasser le cadre théorique et d'ouvrir notre réflexion. Le risque dans le Valle de Los Chillos reflète en effet une problématique bien plus large, concernant le positionnement d'un pays face aux risques, d'un point de vue institutionnel, politique et juridique, mettant en avant la complexité des différentes échelles de gestion et leur coordination.

La réforme de la constitution pourrait être l'occasion de mettre en place un système intégral solide de la gestion du risque et mieux à même de traiter les aspects complexes de coévolution des sociétés avec le risque.

Conclusion

Quelles étaient les motivations qui nous ont amené à travailler sur la vulnérabilité de la population exposée aux lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos et pourquoi avoir abordé ce thème de cette façon ?

L'objectif était de proposer une approche opérationnelle afin d'améliorer les connaissances et fournir des orientations aux gestionnaires du risque, et notamment aux autorités locales. La vulnérabilité de la population est apparue comme un thème primordial de la gestion du risque, et son analyse correspondant aux attentes des différents acteurs.

L'Equateur a en effet conscience des nombreux risques menacent sa population. Par ailleurs, les limites techniques sont vite atteintes face au risque volcanique ou sismique. La construction sociale du risque apparaît comme un sujet clef. On insiste alors sur la nécessité de mettre en place une coordination multisectorielle afin de concevoir la gestion du risque comme enjeu de développement, c'est-à-dire réfléchir à la planification territoriale préventive, à sa prise en compte dans les politiques, afin d'assurer un développement en co-évolution avec le risque. On cherche en même temps à forger une culture du risque, non seulement de la population mais aussi des responsables politiques. Une nouvelle approche du risque est en train de se développer.

Dans ce contexte, il est apparu particulièrement intéressant de travailler sur la vulnérabilité avec l'objectif de proposer une approche globale du risque. La formation d'une équipe de travail nous a permis de traiter le problème de façon transversale, abordant divers aspects de la vulnérabilité à la fois distincts mais complémentaires. En effet, si chacun développait un thème particulier, le partage des points de vue et des connaissances a largement contribué au résultat final, aboutissement d'une réflexion commune.

Nous avons dû dépasser les limites de l'approche classique, segmentant aléa et vulnérabilité, humain et naturel, pour essayer de comprendre les processus de construction du risque dans toute leur complexité.

Nous avons cherché à définir les spécificités de la société et les relations qu'elle entretient avec le volcan Cotopaxi. La caractérisation de la population et de sa vulnérabilité, ont permis d'éclairer l'organisation sociale et les enjeux de développement, et incitent à lecture plus politique et critique du risque.

Ce travail correspond en même temps à la proposition d'une approche nouvelle, renforcée par l'utilisation d'outils pertinents que sont la cartographie et l'analyse de bases de données. La méthodologie employée pour l'étude réalisée sur Quito nous a servi de base, aidant à la justification des résultats. Il a cependant été nécessaire d'adapter certains points aux spécificités de notre cas d'étude, notamment compte tenu du changement d'échelle, ainsi que les modalités de la menace liée aux lahars du volcan Cotopaxi. Cela nous a aussi permis de mettre en avant des distinctions, en effet, si le Valle de Los Chillos apparaît peu vulnérable en comparaison à d'autres territoires à l'échelle de District Métropolitain de Quito, le travail réalisé souligne des faiblesses considérables. Il permet aussi de fournir des données et des orientations qui correspondent aux attentes des acteurs locaux.

Ainsi, comme nous l'avons évoqué dans la première partie, une base de données, aussi complète soit elle, est inutile sans analyse. Nous avons donc cherché à formaliser notre raisonnement, afin de justifier les résultats et de prouver leur pertinence. Le travail proposé enrichit en même temps la compréhension et l'analyse de la vulnérabilité, et fourni des clefs pour orienter la gestion du risque.

Le soutien des différents acteurs, et leur participation, a largement influencé cette recherche, afin de mieux répondre aux attentes mais aussi de prendre en compte les capacités et les objectifs de ces derniers.

Enfin, en nous proposant ce thème, nos partenaires avaient bien en tête les problèmes potentiels qui caractérisaient leur territoire. Ils savaient que le secteur de San Rafael est un lieu de concentration de la population pendant la journée, peut être pas que cette population triplait en semaine, ni sa répartition. Notre apport a été de préciser quels étaient réellement les points essentiels de la vulnérabilité du Valle de Los Chillos, et de réduire ainsi les incertitudes. Conscients qu'on ne peut éliminer les risques, on a cherché à améliorer nos connaissances des enjeux et des éléments vulnérables, afin de fournir des clefs pour la prise de décisions. Ces résultats leur apportent des arguments et des faits justifiés, leur permettant d'impulser une meilleure gestion du risque. Ils ouvrent aussi de nouvelles perspectives et des pistes de réflexions.

Enfin, j'espère que ce travail pourra être mis en valeur et orienter les différents acteurs de la gestion du risque, afin d'améliorer la compréhension de cette problématique complexe, d'insister sur l'importance des relations entre les aspects sociaux, politiques et territoriaux, ainsi que de renforcer la volonté, qui existe déjà, et la capacité de cette société à prendre en main son développement.

Listes des photos

Photo 1 : Bloc déposé par les lahars au Nord de San Rafael	20 -
Photo 2 : Dépôts de lahars sur les flancs du Cotopaxi (photo IG EPN).....	20 -
Photo 3 : La Caldera vue d'avion, 28 m d'escarpement séparent le Santa Clara du Rio Pita mais furent franchis par les lahars en 1877 (source : IG EPN)	22 -
Photo 4 : Trafic dans la zone du « Triangulo »	26 -
Photo 5 : Le centre commercial San Luis construit après 2001 en zone exposée, vue depuis le Sud avec au fond le volcan Ilalo.	26 -
Photo 6 : Vue panoramique du Valle de Los Chillos depuis le volcan Ilalo, photo Tania Serrano, 2006	32 -
Photo 7 : Lotissements récemment construits en bordure du Rio San Pedro (Nord de San Rafael, paroisse de Conocoto, AZVCH)	33 -
Photo 8 : Densification du bâti le long du Santa Clara à Sangolqui avec le centre commercial du River Mall et des logements de plusieurs étages.....	33 -
Photo 9 : Lotissements de résidence à revenus élevés, San Rafael.....	33 -
Photo 10 : Cultures sous serre en bordure du Rio Santa Clara à Rumipamba au Sud du canton Rumiñahui	40 -
Photo 11 : Tomates dédiées à l'exportation nationale, canton de Rumiñahui.	40 -
Photo 12 : Centre commercial El Prado à San Rafael déjà un peu ancien	46 -
Photo 13 : Centre commercial en construction en bordure du Rio Santa Clara.....	46 -
Photo 14 : Centre commercial River Mall situé à l'entrée de Sangolqui aussi en bordure du Santa Clara	46 -
Photo 15 : Véhicules en attente devant le péage de l'autoroute de Rumiñahui pour descendre de Quito au Valle de Los Chillos.	50 -

Liste des tableaux

Tableau 1 : Population rurale et urbaine dans le Valle de Los Chillos (Source : INEC 2001)	¡Error! Marcador no definido.
Tableau 2 : Croissance de la population du Valle de Los Chillos et perspectives	¡Error! Marcador no definido.
Tableau 3 : Estimation de la population pouvant être affectée en cas de crise dans le Valle de Los Chillos	¡Error! Marcador no definido.
Tableau 4 : Critères de vulnérabilité socio démographique	¡Error! Marcador no definido.
Tableau 5 : Synthèse du niveau de vulnérabilité socio démographie	¡Error! Marcador no definido.
Tableau 6 : Liste des lieux de fréquentation pris en compte pour l'évaluation de la population « de jour » dans le Valle de Los Chillos	¡Error! Marcador no definido.
Tableau 7 : Entreprises et population active pouvant être affectée (zone exposée plus zone isolée) par les lahars du Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos	¡Error! Marcador no definido.
Tableau 8 : Estimation de la population « de jour » pouvant être affectée par les lahars du Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos, comparaison avec la population résidente (selon l'INEC, 2001).....	¡Error! Marcador no definido.

Liste des graphiques

Graphique 1 : Evolution de la population de l'Administration Zonale Valle de Los Chillos de 1950 à 2001	- 32 -
Graphique 2 : Evolution de la population depuis 1950 et perspectives dans le Valle de Los Chillos	- 33 -
Graphique 3 : Motifs de déplacements en semaine entre Quito et le Valle de Los Chillos et vice versa, source : Yanez, 2007	- 50 -
Graphique 4 : Courbe de Framer : relation fréquence /intensité du risque	- 58 -

Liste des cartes

Carte 1 : Zonage des lahars du Cotopaxi (IG EPN).	- 22 -
Carte 2 : Véhicules équivalents par jour transitant entre Quito et le Valle de Los Chillos en semaine, source Yanez, 2007	- 50 -

Sigles

AZVCH :	Administration Zonale Valle de Los Chillos
BID :	Banco Interamericano de Desarrollo
COSUDE :	Agencia Suiza para el desarrollo y la Cooperación en el Ecuador
DIPLASEDES:	Direcciones de Planeamiento de Seguridad por el Desarrollo Nacional
EEQ :	Empresa eléctrica Quito
EMAAP :	Empresa municipal de alcantarillado y agua potable
ESPE :	Escuela Superior Politécnica del Ejercito
DMPT :	Direction Métropolitaine de Planification Territoriale
DMQ :	District Métropolitain de Quito
IG EPN :	Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional
IRD :	Institut de Recherche pour le Développement
PACIVUR :	Programa Andino de Capacitación e Investigación sobre la Vulnerabilidad y los Riesgos en Medio Urbano
USFQ :	Universidad San Francisco de Quito

Bibliographie

Aguliera Ortiz E., 2004, *El riesgo volcánico del Cotopaxi*, Escuela Politécnica del Ejercito, ESPE, 12 p.

Albouy F.X., 2002, *Le temps des catastrophes*, Descartes & Cie, 168 p.

Andrade D. et al., 2005, *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*, IG-EPN, IRD, Corporación editoría nacional, Quito-Ecuador, 147 p.

Asté J.P., 1994, Les outils d'aide à la prévention et à la gestion du risque en milieu urbain. *Revue de Géographie Alpine*, 82, 4 : 125-129 p.

Back P., 1999, *Quand la nature s'organise*, Paris, Flammarion, 280 p.

Baussart O., Cambot V., D'Ercole R., Gnemmi L., Pigeon P. & Wattez J., 2000, *Analyse du système urbain d'Annecy et définition de ses enjeux*, Département de Géographie, Université de Savoie, 96 p. (coordination R. D'Ercole et P. Pigeon)

Caceres B. et al., 2004, *Determinación del volumen del casquete de hielo del volcán Cotopaxi*, INAMHI, IG-EPN, INGEOMINAS, 54p.

Camacho A.P. (Dir.), 2005, *Sistematización del proyecto: « Comunidades afectadas por el Tungurahua: mitigando los riesgos de vivir cerca a un volcán activo »*, ECHO Ayuda Humanitaria Comisión Europea, Ed. Monigote Quito, 68 p.

Dauphiné A., 2003, *Les théories de la complexité chez les géographes*, Ed. Economica, 248p.

Dauphiné A., 2001, *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Armand Colin, U. Série Géographie, 288p.

Dauphiné A., Protovolo D., 2003, *Les catastrophes et la théorie des systèmes auto organisés critiques*, extrait de l'ouvrage collectif coordonné par **Moriniaux V.**, 2003, *Les risques*, Edition du temps.

Demoraes F., 2004, *Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito (Équateur)*, Thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie, Chambéry, 587 p.

D'Ercole R. et Metzger P., 2004, *Vulnerabilidades del Distrito Metropolitano de Quito*, Colección Quito Metropolitano, MDMQ-IRD, Quito, Equateur, 512 p.

D'Ercole R. et Demoraes F., 2003, *Risques et réponses institutionnelles en Equateur – Cartes et méthodes*. Contribution aux Mélanges jubilaires « René Lhénaff », Cahiers de Géographie, N° 1 « *Dynamique et vulnérabilités des milieux montagnards méditerranéens et alpins* » - Collection EDYTEM – CISM - Université de Savoie, pp. 157-168.

D'Ercole R., Trujillo M., 2003, *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador. Los desastres, un reto para el desarrollo*, COOPI, Oxfam GB, IRD – Quito, Ecuador, 225 p.

D'Ercole R. et Metzger P., 2002, *Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito*, Colección Quito Metropolitano, MDMQ-IRD, Quito, Ecuador, 226p.

D'Ercole R. et Metzger P., 2000, *La vulnérabilité de Quito (Equateur) face à l'activité du Guagua Pichincha. Les premières leçons d'une crise volcanique durable*, Cahiers Savoisiens de Géographie, n° 1, Université de Savoie, p.39-52.

D'Ercole R. et Pigeon P., 1999, *L'expertise internationale des risques dits naturels : intérêt géographique*, Annales de Géographie, p.339-357.

D'Ercole R., 1996, *Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan Cotopaxi (Equateur)*, Bulletin de l'IFEA, tome 25 n°3, p.479-507.

D'Ercole R., 1994, *Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse* - Revue de Géographie Alpine, n°4, Tome LXXXII, p. 87-96

D'Ercole R., 1991, *Vulnérabilité des populations face au risque volcanique. Le cas de la région du volcan Cotopaxi (Equateur)*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 460p.

D'Ercole R., 1989, *La catástrofe del Nevado del Ruiz, ¿Una enseñanza para el Ecuador? El caso del Cotopaxi* - Estudios de Geografía, vol.2 : Riesgos naturales en Quito : lahares, aluviones y derrumbes del Pichincha y del Cotopaxi, Colegio de Geógrafos del Ecuador, Corporación Editora Nacional, Quito, p. 5-32.

De Rosnay J., 2000, *L'homme symbiotique*, Editions du Seuil, 408 p.

Godard O., Henry C., Lagadec P., Michel-Kerjan E., 2002, *Traité de nouveaux risques*, Ed. Gallimard, 620 p.

Lavigne F., Thouret J-C., 2000, *Les lahars : dépôts, origines et dynamique*. Bulletin Société Géologique de France (5): p. 545-557

Lavigne F., 1998, *Les lahars du Merapi, Java central, Indonésie. Déclenchement, budget sédimentaire, dynamique et zonage des risques associés*. Thèse, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand II.

Leone F. et Vinet F., 2006, *La vulnérabilité, un concept fondamental au cœur des méthodes d'évaluation des risques naturels*, p. 9-26, extrait de l'ouvrage de **Leone F. et Vinet F.,** 2006, *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles*, Collection Géorisques n°1, publications de Montpellier III, 133 p.

Le Pennec J-L et al., 2005, *Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua*, IG-EPN, IRD, Corporación editoría nacional, Quito-Ecuador, 115 p.

Lutoff C., 2000, *Le système urbain niçois face à un séisme : méthode d'analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels*, Thèse de doctorat, Université de Savoie, Chambéry, 368 p.

Pigeon P., 2006, *L'efficacité des politiques gérant les risques dits naturels en France : lecture géographique*, p. 27 à 34, extrait de l'ouvrage de **Leone F. et Vinet F.,** 2006, *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles*, Collection Géorisques n°1, publications de Montpellier III, 133 p.

Pigeon P., 2005, *Géographie critique des risques*, Ed. Economica, 217 p.

Pigeon P., 2002, *Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits « naturels »*, Annales de Géographie, n° 627-628, p. 452-470.

Prigogine I., 1996, *La fin des certitudes*, Ed. O. Jacob, Paris

Reghezza M., 2006, *La vulnérabilité : un concept problématique*, p. 35 à 40, extrait de l'ouvrage de **Leone F. et Vinet F.,** 2006, *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles*, Collection Géorisques n°1, publications de Montpellier III, 133p.

Serrano T., 2001, *Concentraciones de población en el Distrito Metropolitano de Quito: de día, periódicas y excepcionales*, MDMQ, IRD, 21 p.

Thouret J-C. & D'Ercole R., 1996, *Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales*, Cahiers des Sciences Humaines, 96-2, p.407-422.

Thouret J-C., 1996, *Les phénomènes naturels dommageables : approche globale, bilan et méthodes de prévention*, In Baily A.S. (Dir.) *Risques naturels, risques de sociétés*, Economica, Paris, p.19-33.

Tazieff H., 1990, *Le Volcanisme et sa prévention*. Masson, Pratiques de la géographie, 256 p.

Walliser B., 1977, *Systèmes et modèles : introduction critique à l'analyse des systèmes*, Le Seuil, Paris : 248 p.

Yacelga F., 2007, *Estado de situación de la gestión del riesgo y propuesta de creación del sistema integral de gestión del riesgo en el Distrito Metropolitano de Quito*, Proyecto Reducción de Riesgos en Ciudades de la Comunidad Andina, UNDP, Comisión Europea - Ayuda Humanitaria.

Yacelga F., 2006, *Caracterización del escenario de ocupación informal en laderas periurbanas de Quito*, Informe final, Proyecto Reducción de Riesgos en Ciudades de la Comunidad Andina, UNDP, Comisión Europea - Ayuda Humanitaria.

Yanez L.F., Ronquillo Ch., 2007, *Estudio de optimización del transporte colectivo sobre la principal vía de conexión entre el Valle de Los Chillos y su integración al sistema de transporte del DMQ, Autopista Rumiñahui*, Universidad Central del Ecuador, DMQ, 32 p.

Reves :

Cahiers Savoyiens de Géographie, (2000) n° 1, Université de Savoie : " **La géographie des risques dits 'naturels' : entre géographie fondamentale et géographie appliquée** ", 115p (coordination de la revue avec Patrick Pigeon).

Revue de Géographie Alpine (1999) : "**Croissance urbaine et risques naturels dans les montagnes des pays en développement**", n°4, Tome LXXXII (coordination de la revue avec Jean-Claude Thouret).

Jérémy ROBERT

« Vulnérabilité de la population exposée aux lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos, Quito – Equateur »

Caractérisation, quantification et cartographie de la population

ANNEXES

Mémoire de Master 2 Recherche

« Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision »
sous la direction de Patrick PIGEON et Robert D'ERCOLE

Membres du Jury :

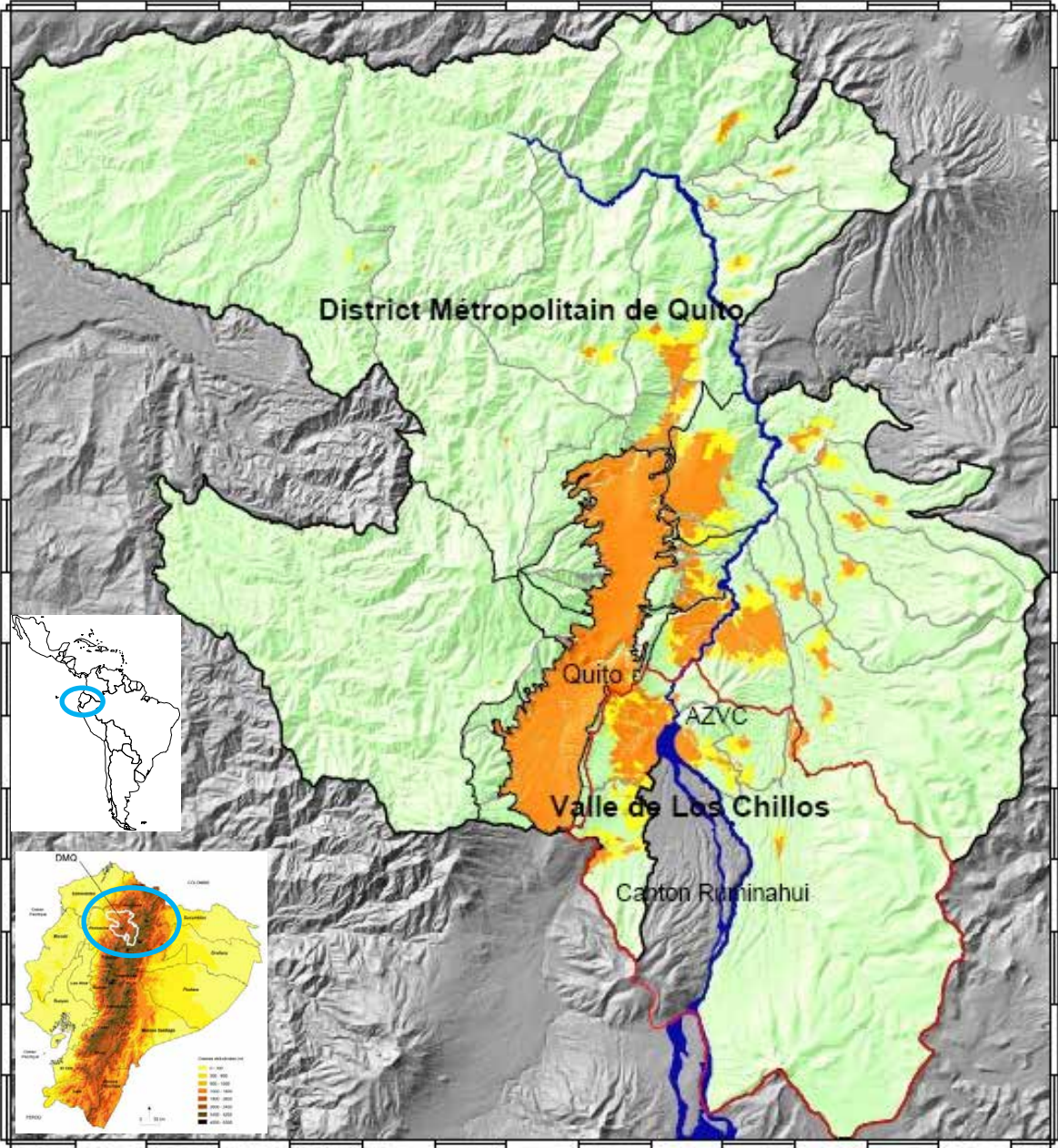
Patrick PIGEON
Jean Jacques Delannoy
Stéphane Héritier

Université de Savoie
Université de Savoie
Université Jean Monnet

Septembre 2007

Tableau récapitulatif des acteurs de la gestion risque dans le Valle de Los Chillos

Etudes scientifiques	PREVENTION		PREPARATION			CRISE			
	Planification territoriale, contrôle de l’usage et occupation du sol		Ouvrages de protection	Surveillance / Alerte précoce	Sensibilisation / Information / formation	Organisation de secours	Protection/ Réponse	Récupération	Reconstruction
IRD			USFQ (propositions des ouvrages de protection)	IG EPN	Protection civile provinciale et nationale	Armée	Protection civile (Provinciale et nationale)	ONG´s internationales	ONG´s internationales autres organismes
IG EPN			ESPE (propositions des ouvrages de protection)	BID (financement)			IG EPN (expertise, gestion de l'alerte)		
ESPE			Entreprises de travaux publics, ...	IG EPN (Surveillance)			DIPLASEDES		
IG EPN IRD	Niveau du District	Direction Métropolitaine de Planification Territoriale : orientations et politiques.			Corposeguridad (financement)	Pompiers, Police du DMQ	D.M. Sécurité Civile		
		Direction Métropolitaine de Sécurité Civile, unité gestion des risques : actions ponctuelles.			Jefatura de Seguridad Civil a través la Casa Cotopaxi	Pompiers, Police du DMQ			
	AZVCH : Niveau local	Unité de gestion urbaine, controle de la ville.			IG EPN (conférences)	Direction des urgences (911)			
		Commissaire : contrôle			Représentants de la communauté	ONG´s internationales			
					IRD				
	Entreprises mixtes (pub/priv)	EMAAP, EEQ,...							
ESPE	Direction de planification : unité de contrôle urbain				Direction de Sécurité Civile de Rumiñahui	Pompiers, Police, Croix Rouge de Rumiñahui	Pompiers, Police, Croix Rouge de Rumiñahui		
	Commissaire : contrôle				ESPE (programme en collaboration avec l'université San Francisco, FOBES, financé par COSUDE)		Protection civile Cantonale de Rumiñahui		
	Direction gestion de l'alimentation en eau potable						ONG´s internationales		



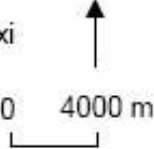
Le Valle de Los Chillos : localisation, découpage administratif et occupation du sol

- Limite du District Métropolitain de Quito
- Limite des administrations zonales
- Division paroissiale
- Limite du territoire d'étude
Administration Zonale Valle de Los Chillos
et Canton de Ruminahui

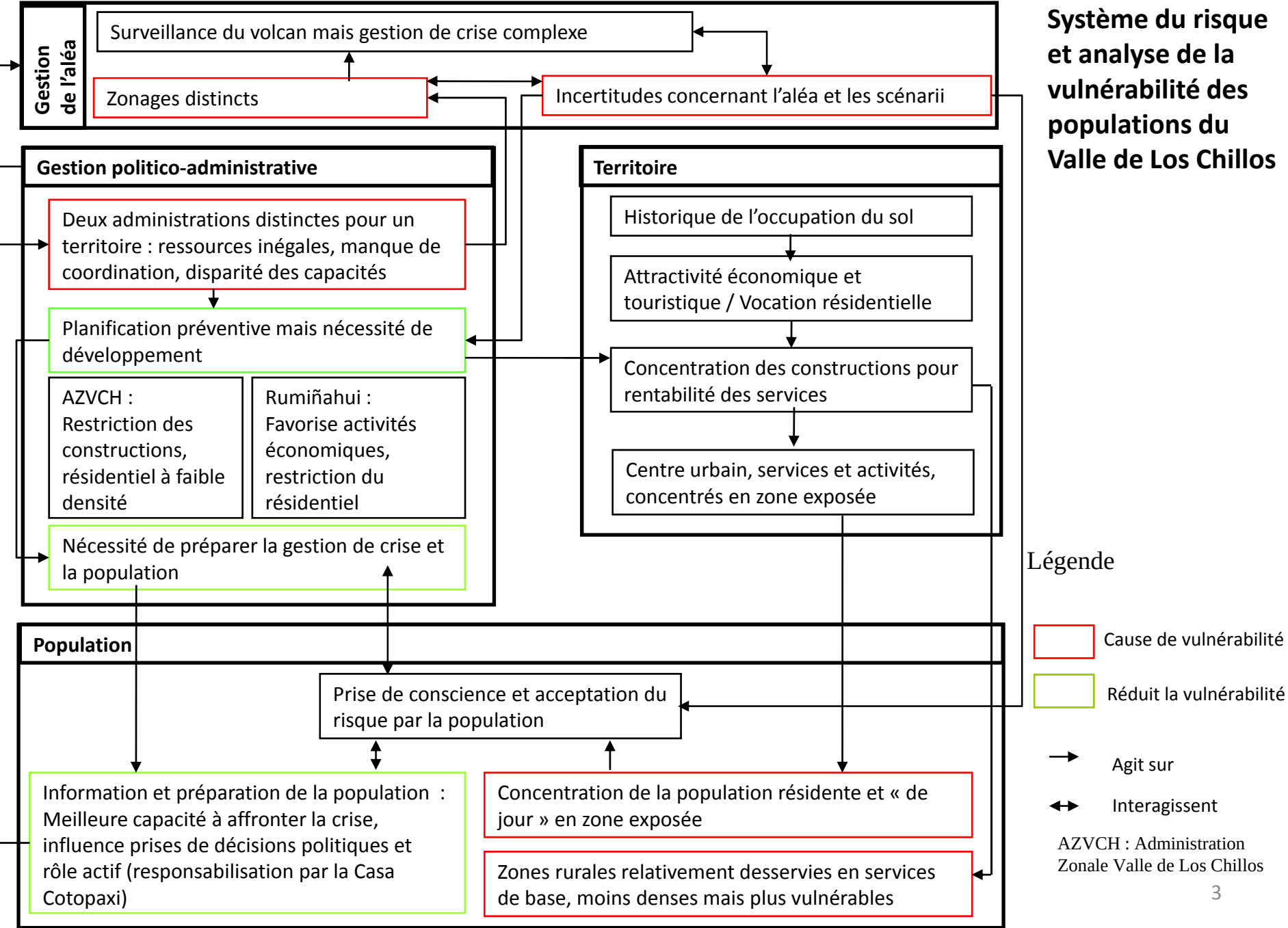
Planification d'occupation du sol du DMQ

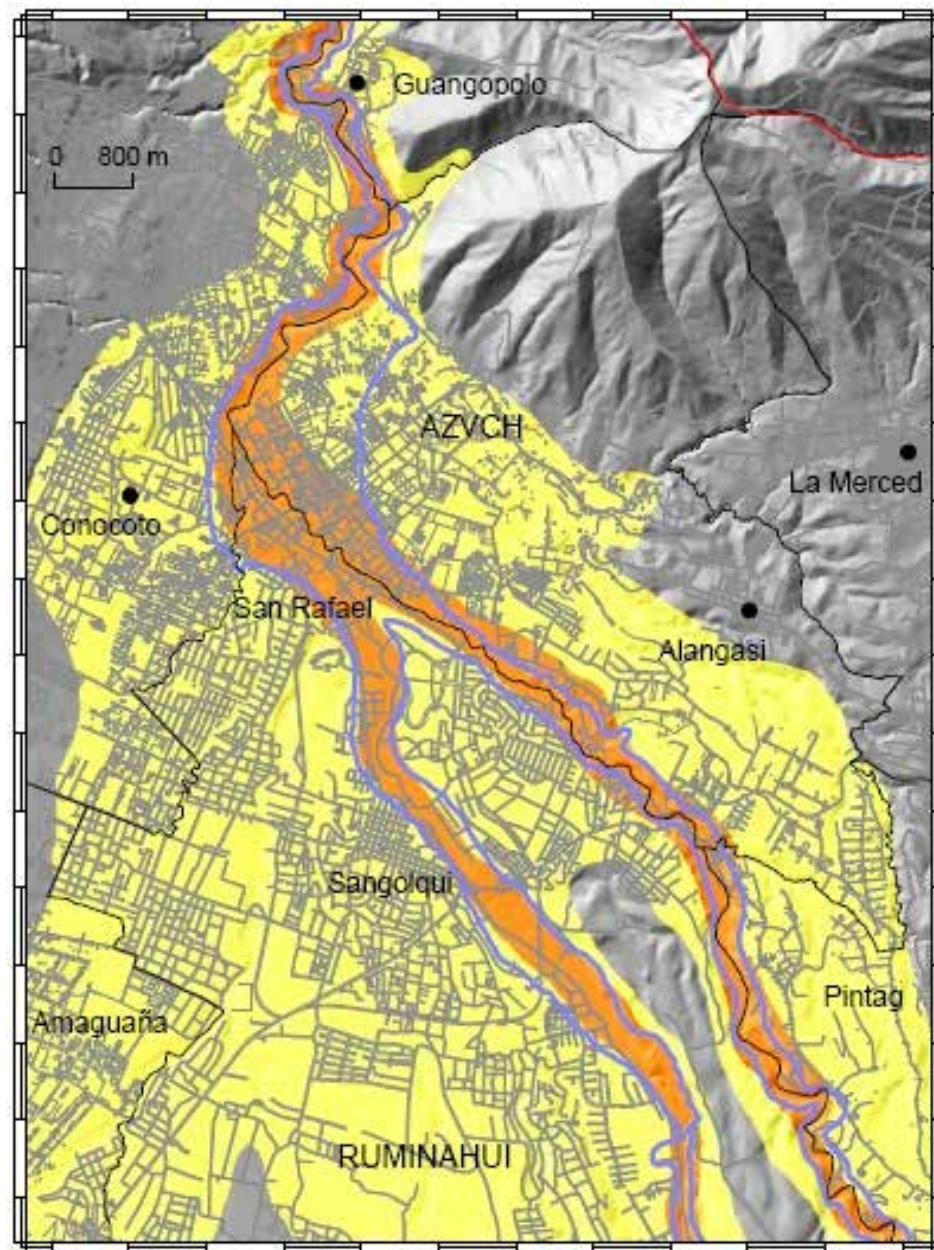
- Non urbanisable
- Sol urbanisable
- Sol urbain

Zones exposées aux lahars
en cas d'éruption du Cotopaxi



Source : Direction de planification territoriale du DMQ
Plan General de Desarrollo Territorial
y Plan de Uso y Ocupación del Suelo, révision 2006.



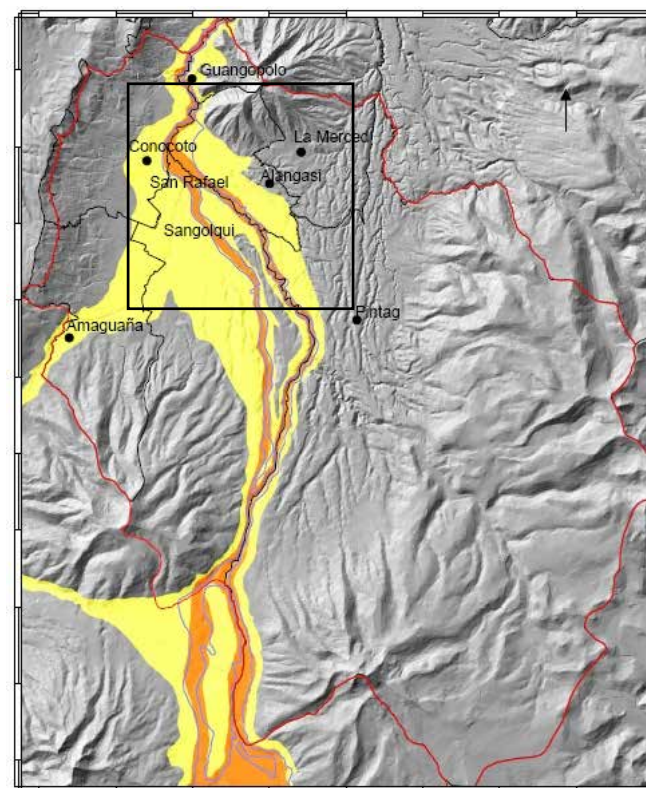


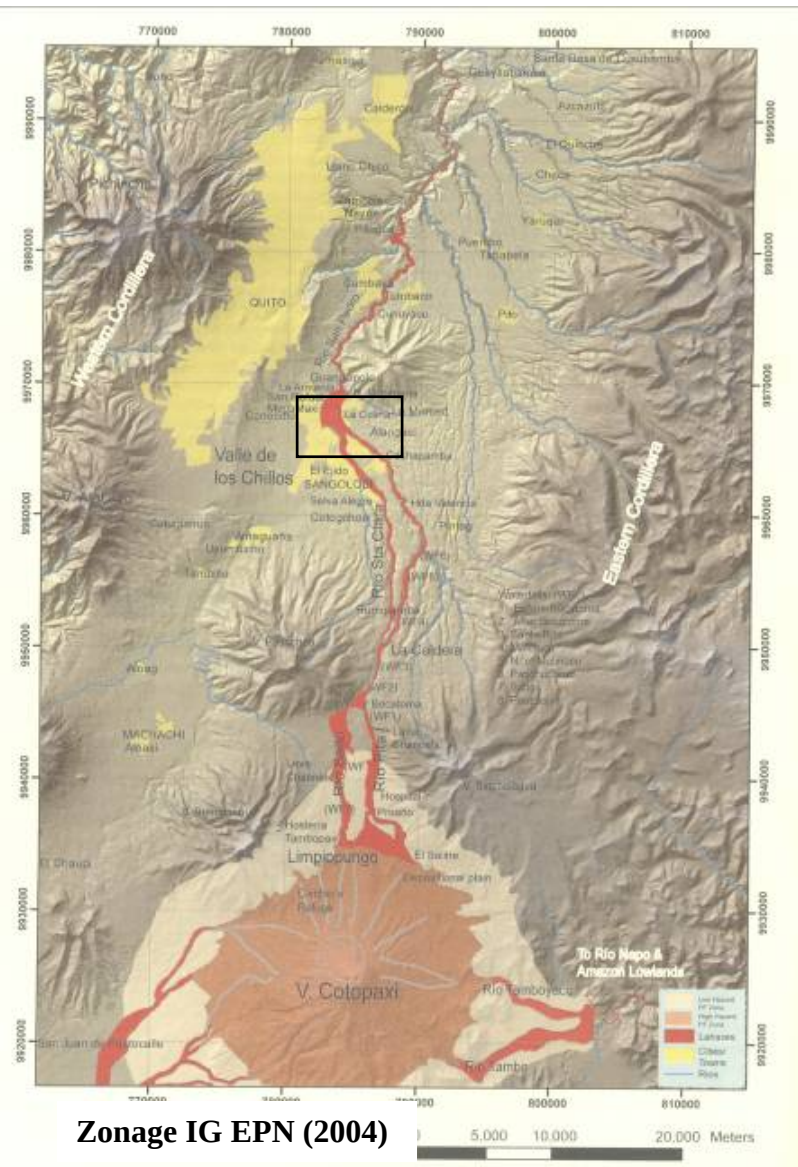
Cartographies des lahars du volcan Cotopaxi : zonage de 1989 et actualisation

Ancien zonage (1989)

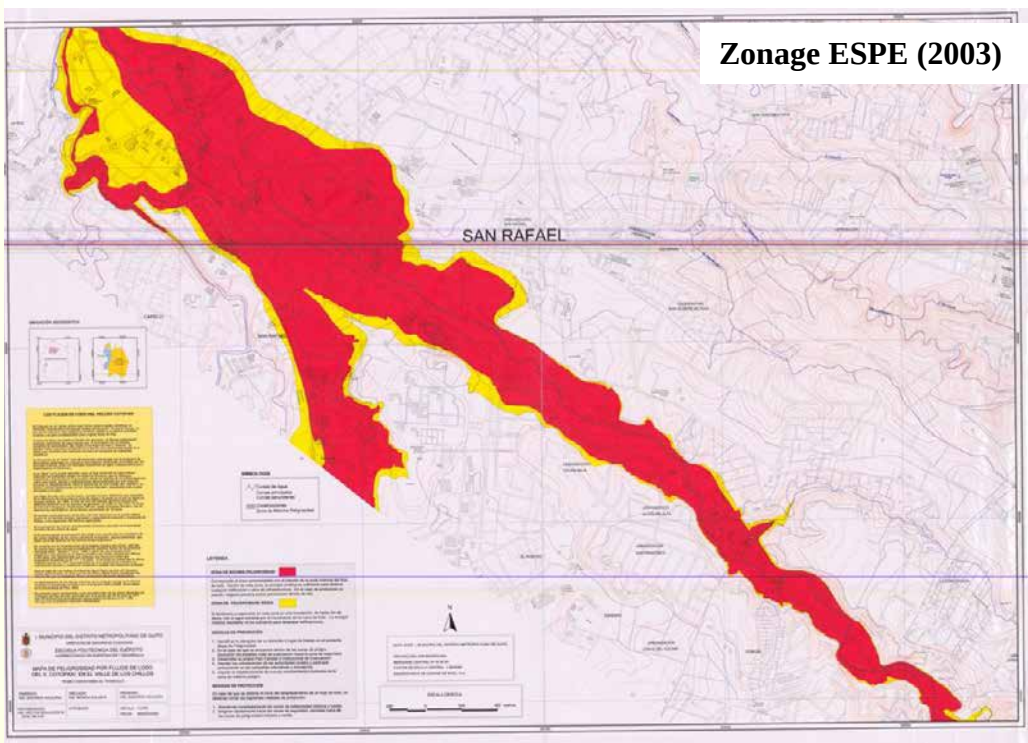
- Zone de risque mineur
- Zone de risque majeur (référence de 1877)

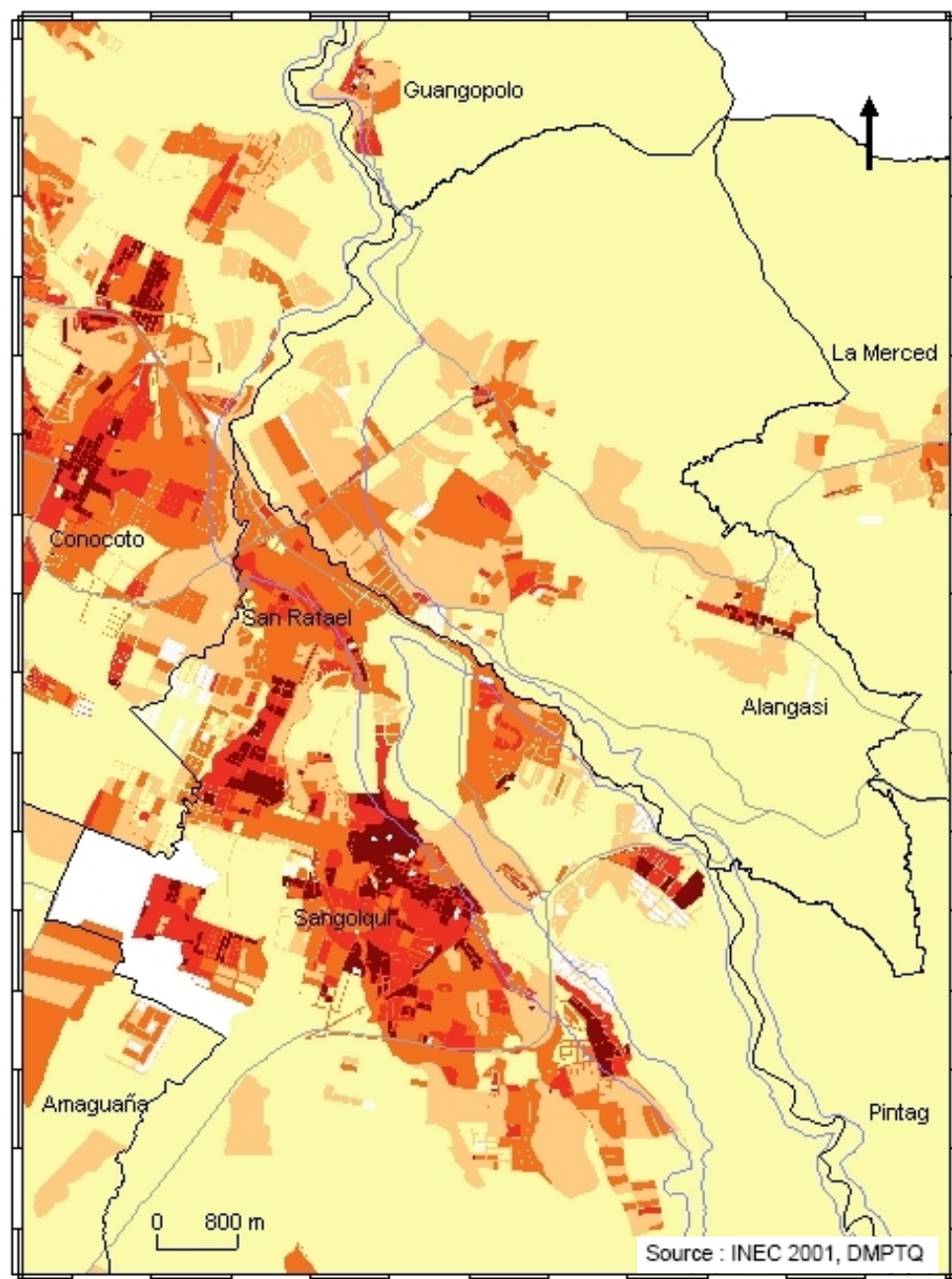
Zonage actualisé en 2004



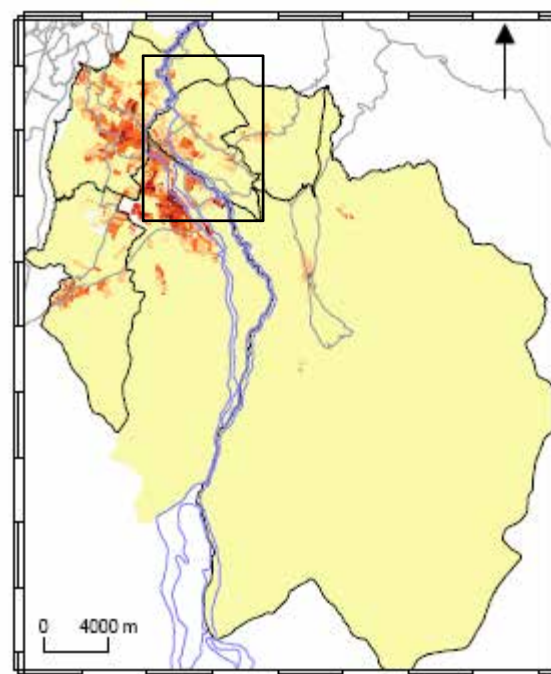
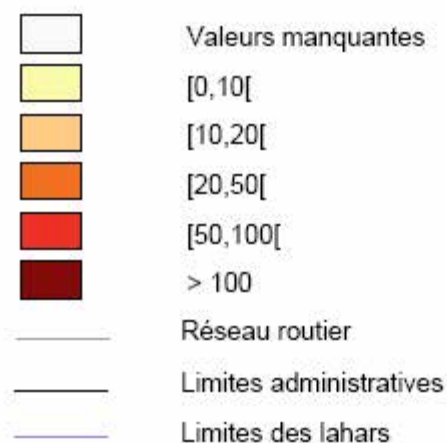


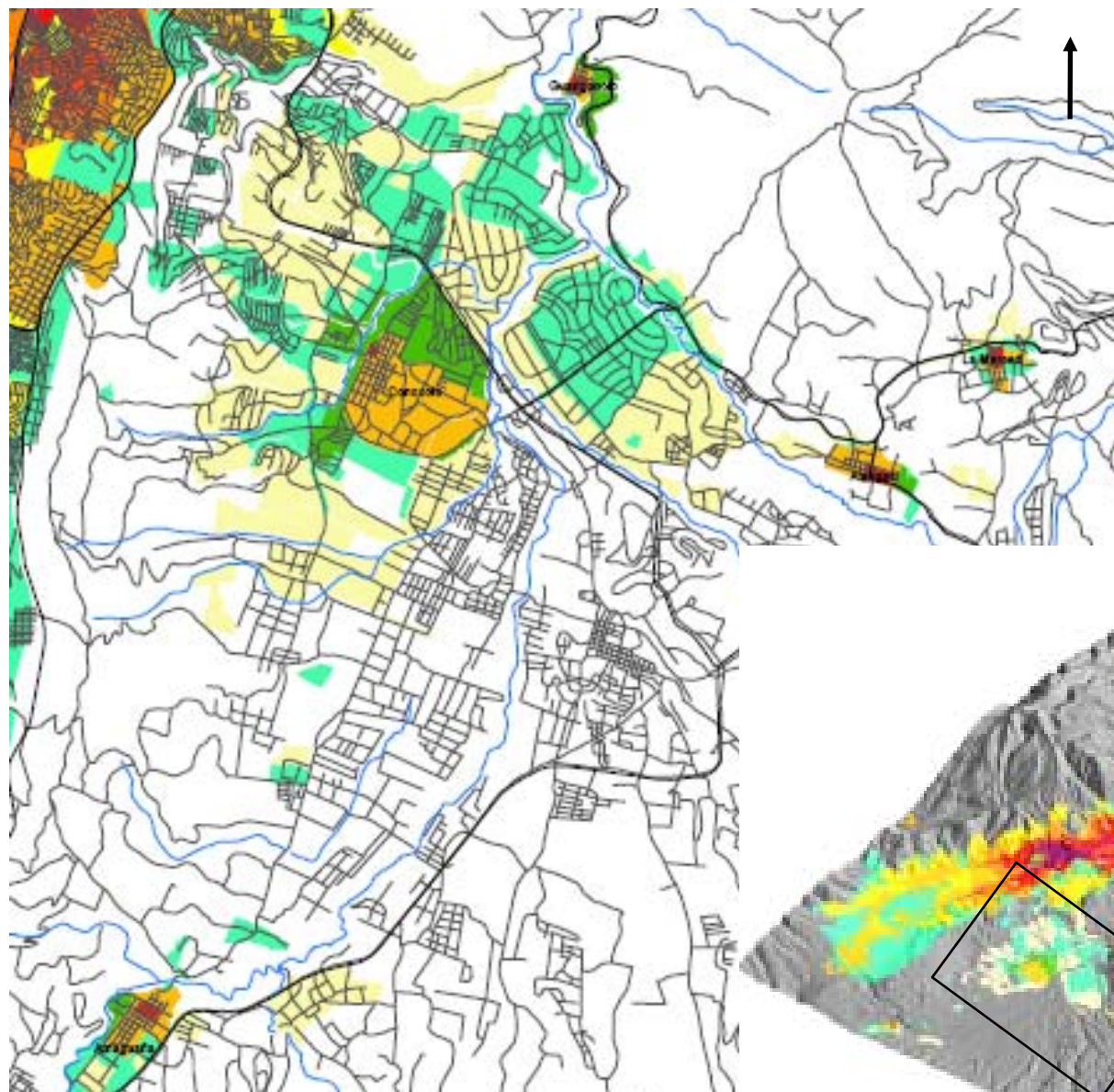
Cartographies des lahars du volcan Cotopaxi :
zonages de l'IG EPN et de l'ESPE



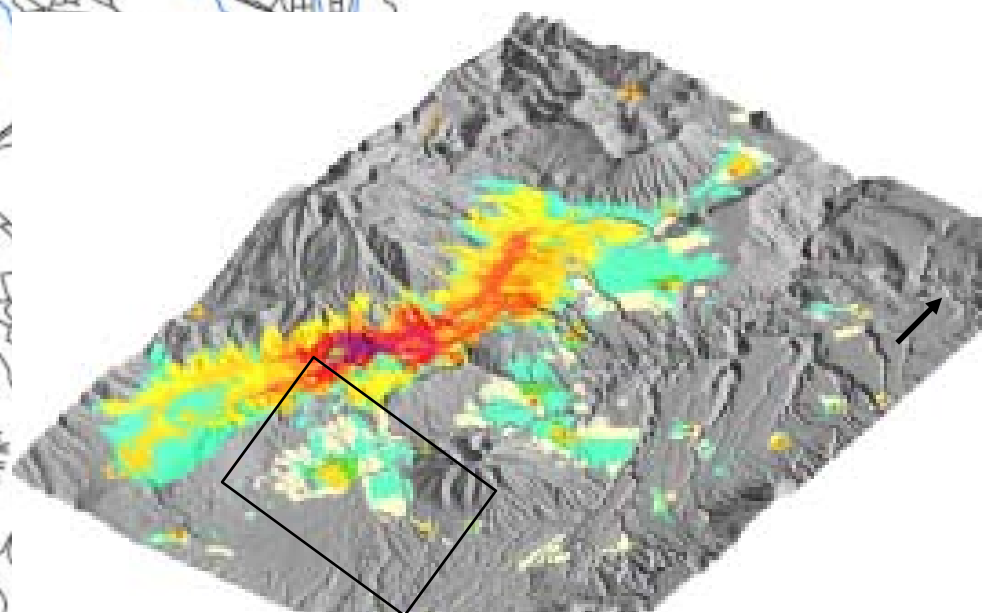


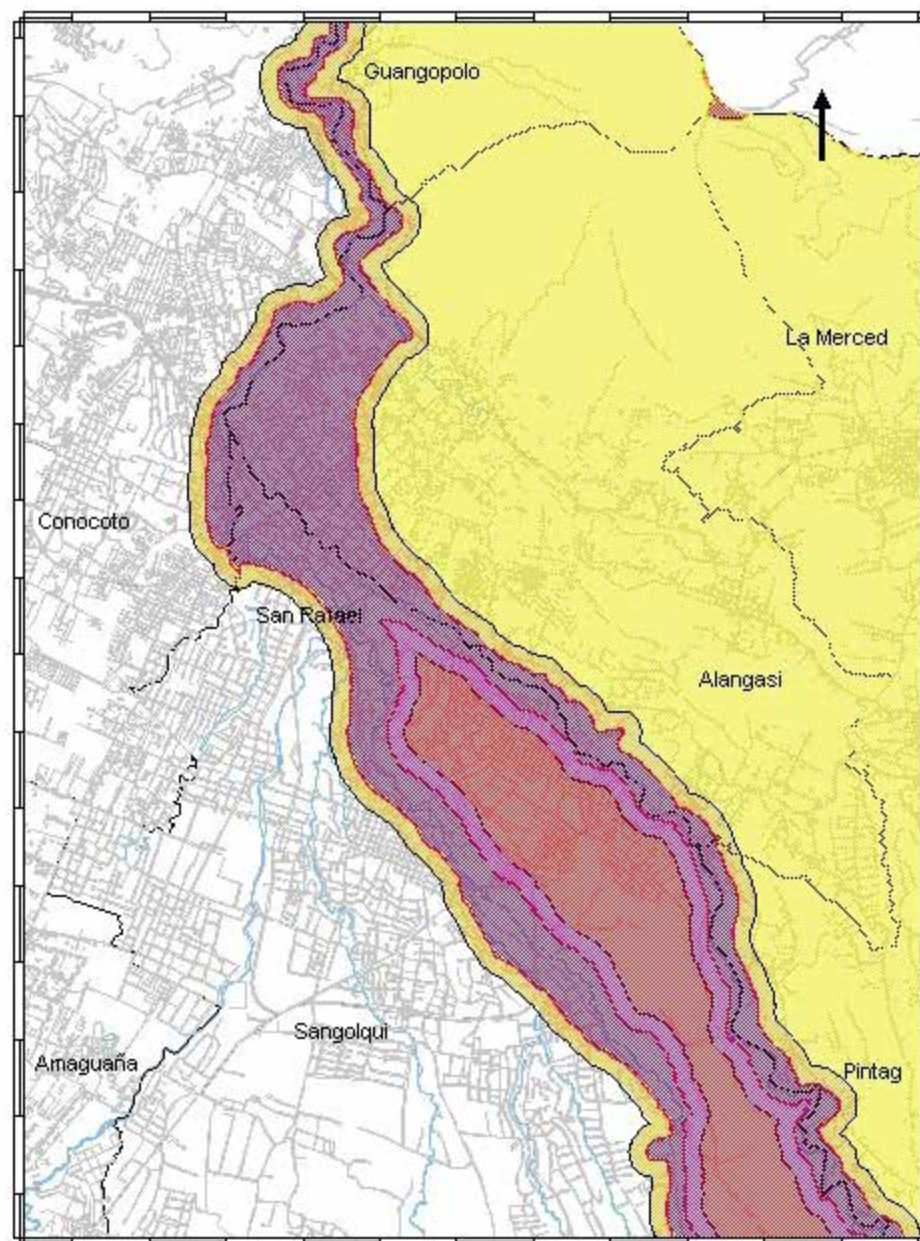
Densité de la population par hectare dans le Valle de Los Chillos





Etapes de croissance urbaine
du District Métropolitain de
Quito et du Valle de Los Chillos
de 1760 à 2006





Types d'exposition aux lahars du volcan Cotopaxi : exposition directe et isolement

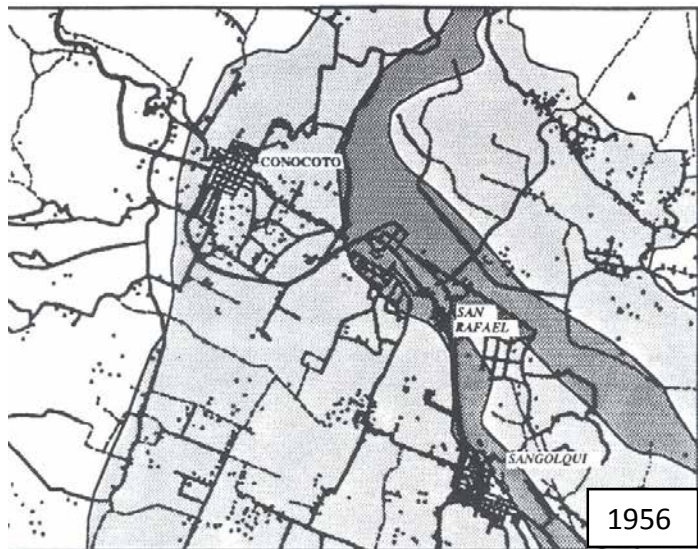
Niveau d'exposition

-  5 : Zone d'exposition majeure selon l'Institut Géophysique (Référence de 1877)
-  4 : Marge de 200m et isolement marqué
-  3 : Isolement marqué
-  2 : Marge de 200m
-  1 : Isolement faible

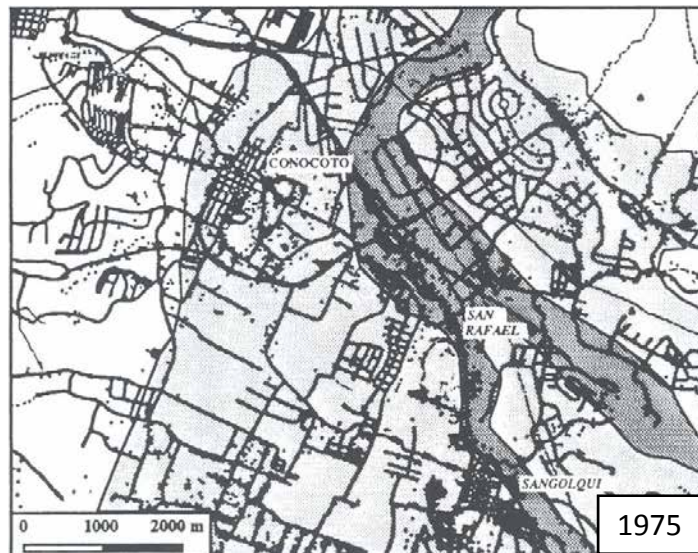
-  Réseau hydrographique
-  Réseau routier
-  Limites administratives
-  Limites des lahars

Source : INEC 2001, DMPTQ

0 800 m

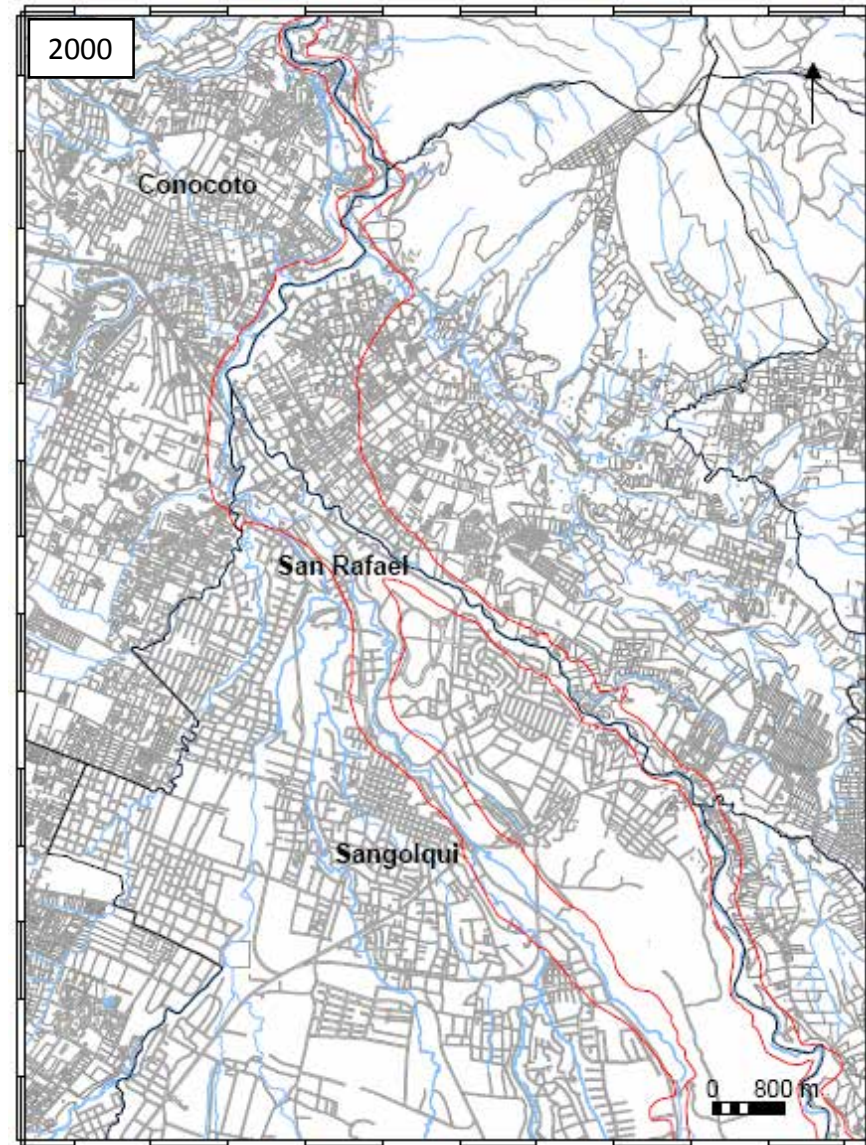


Risque majeur de lahars
 Risque mineur de lahars

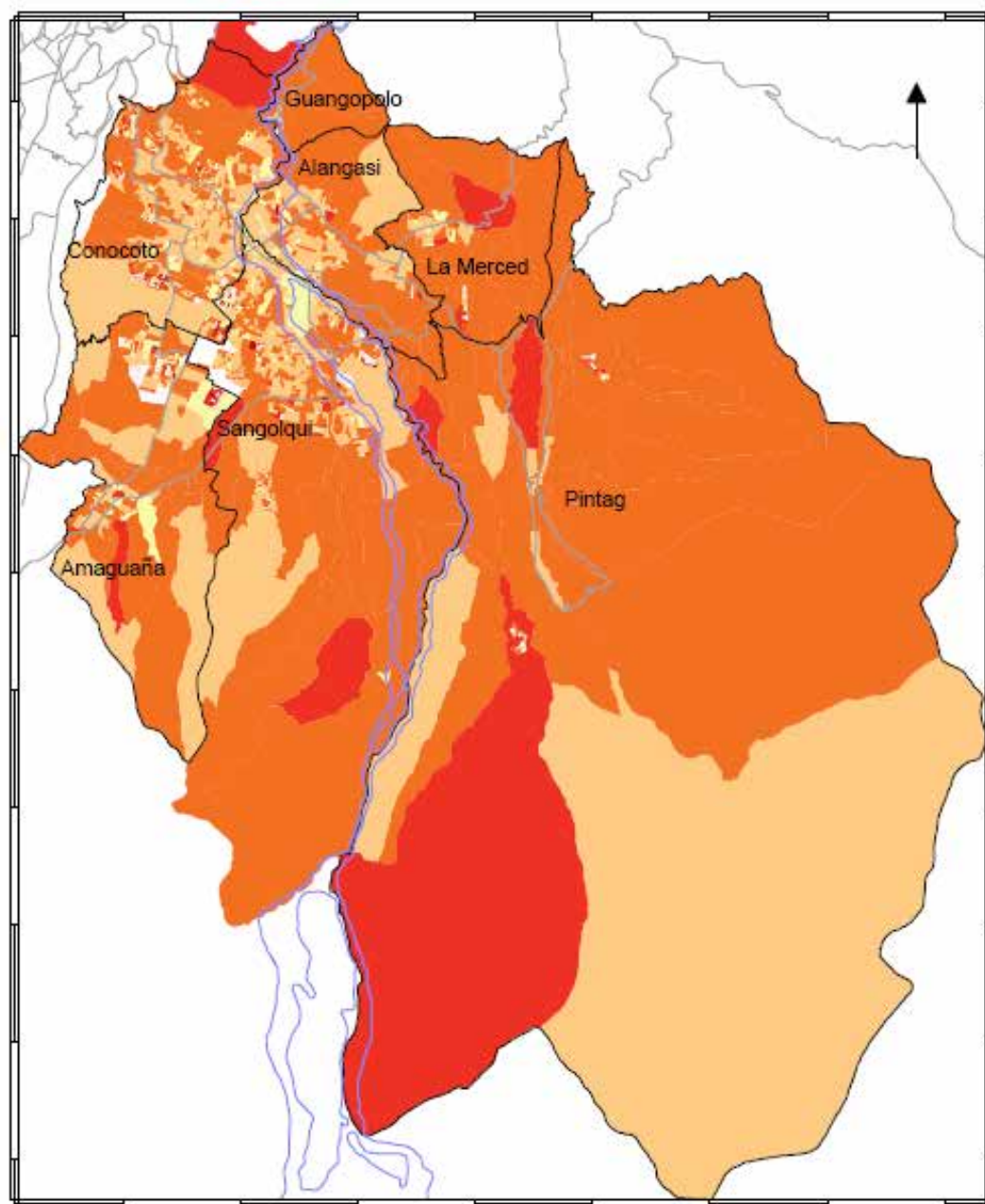


Source : D'Ercole, 1991, selon le zonage de 1989

Croissance urbaine dans le Valle de Los Chillos de 1956 à 2000

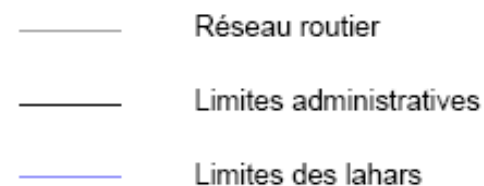
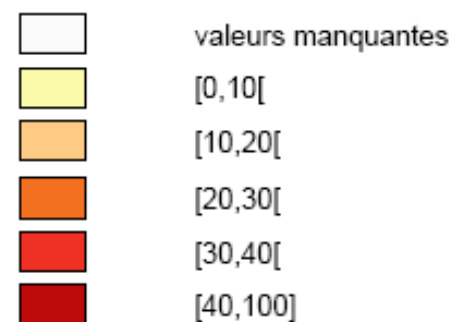


Source : DMPT



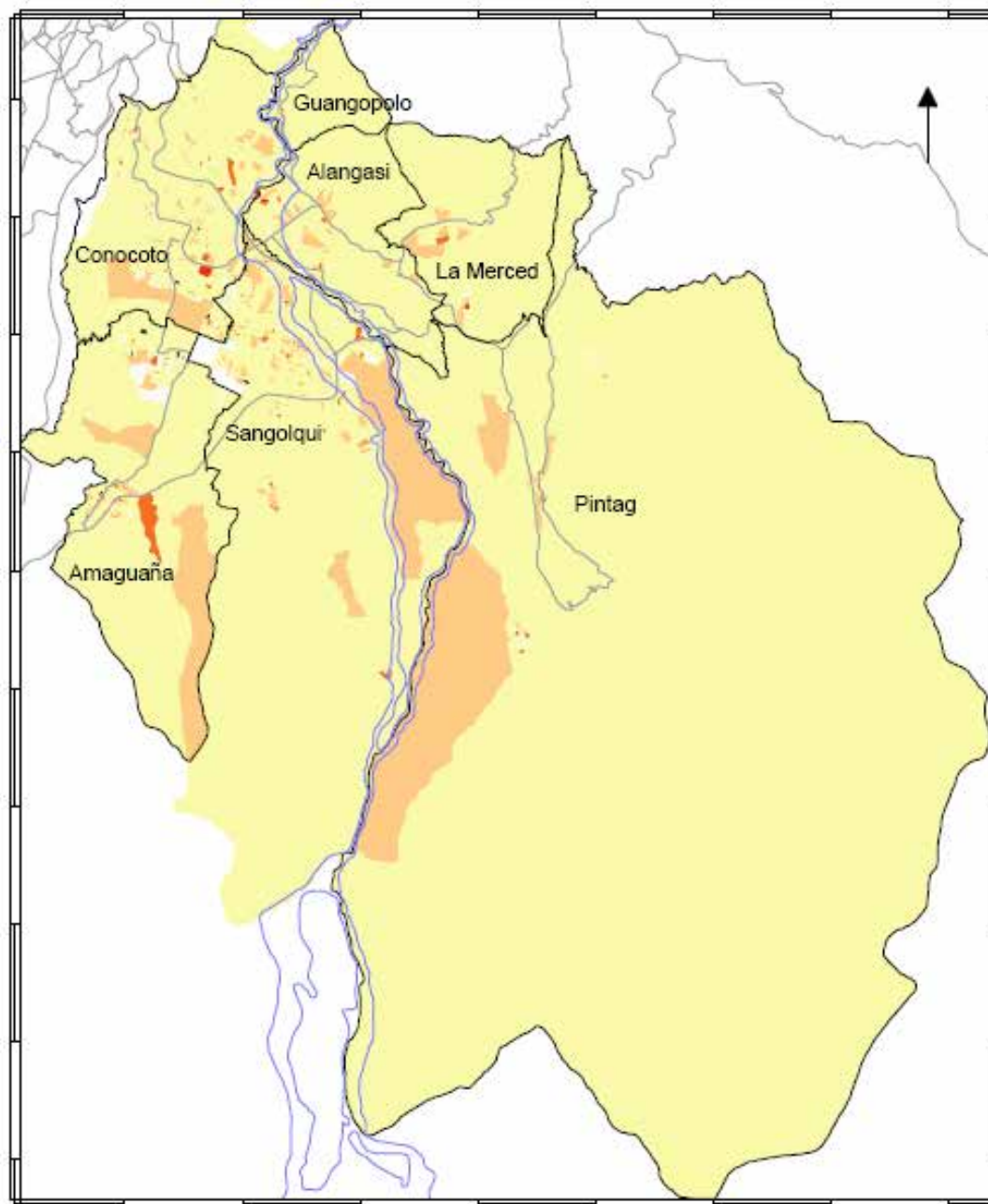
Vulnérabilité liée à l'âge : populations jeunes

Pourcentage de la population d'âge inférieur à 10 ans



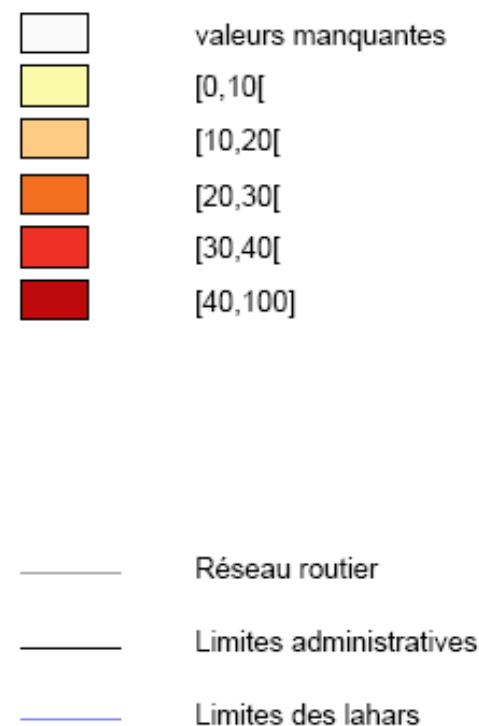
Source : INEC 2001, DMPTQ

0 4000 m



Vulnérabilité liée à l'âge : populations âgées

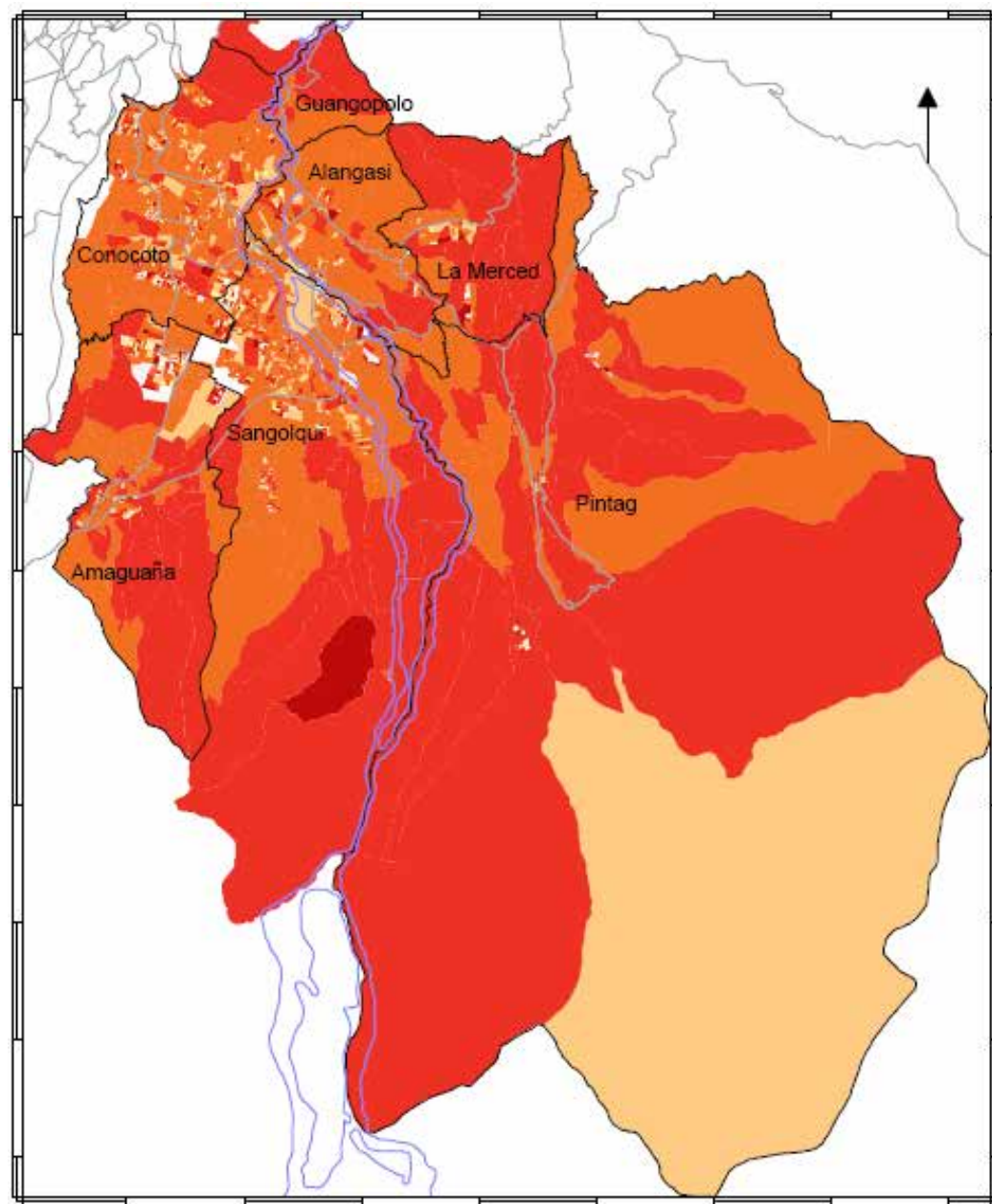
Pourcentage de la population d'âge supérieur à 65 ans



Source : INEC 2001, DMPTQ

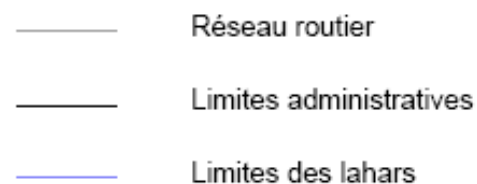
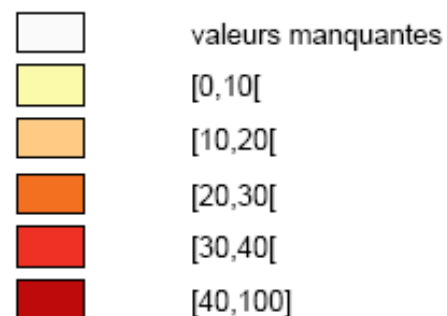
0 4000 m





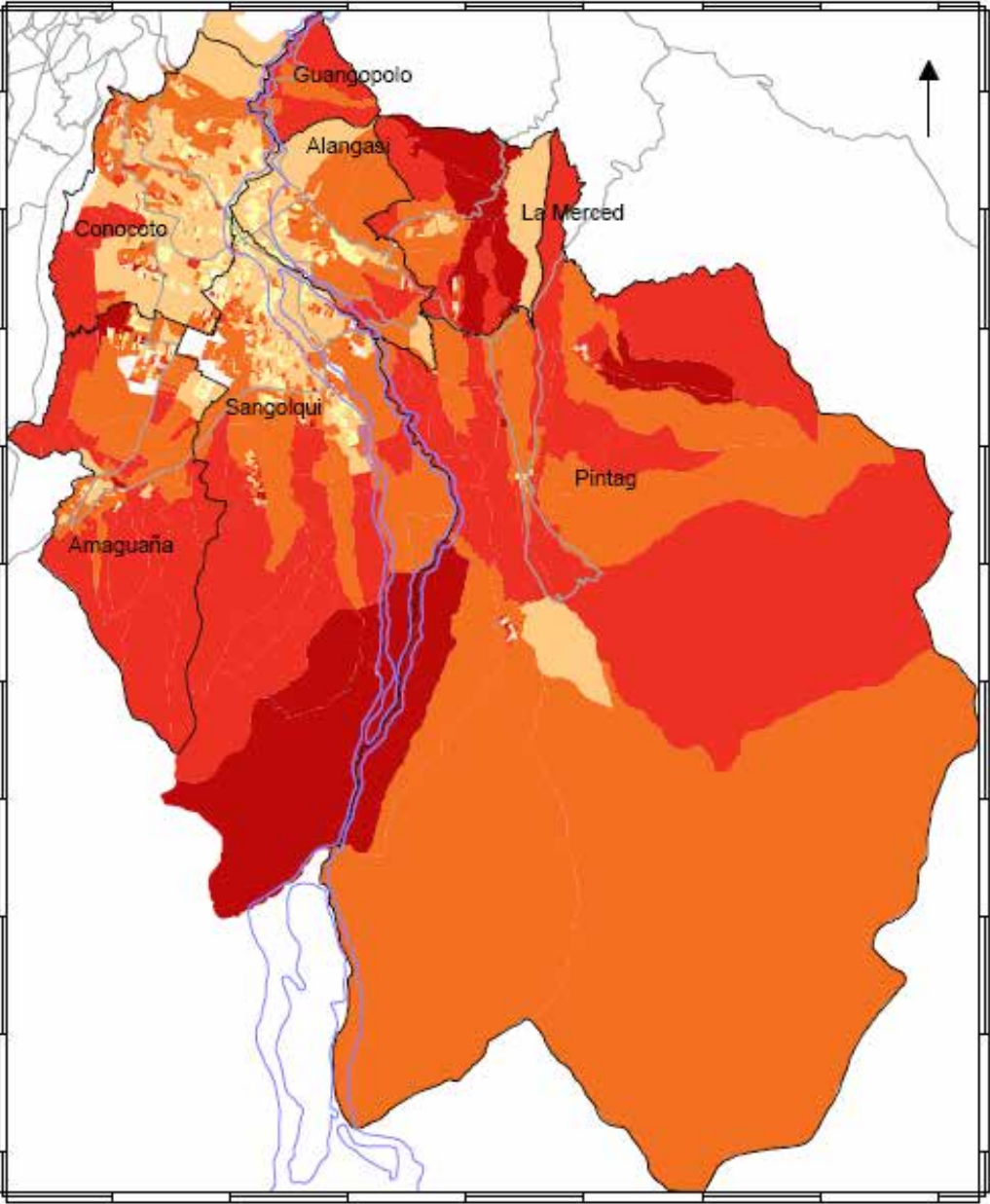
Vulnérabilité de la population liée à l'âge

Pourcentage de la population d'âge inférieur à 10 ans et supérieur à 65 ans



Source : INEC 2001, DMPTQ

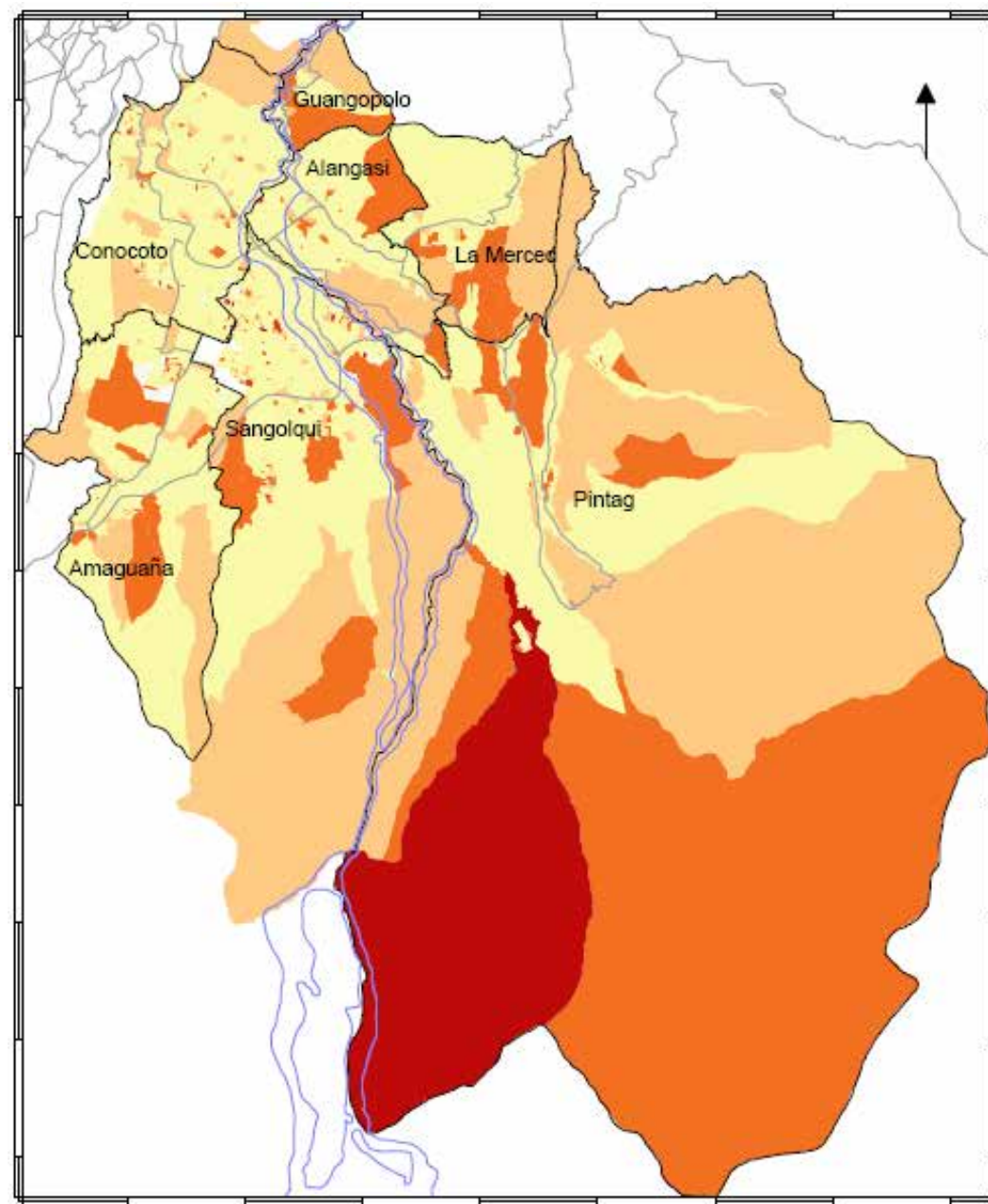
0 4000 m



**Vulnérabilité de la population :
niveau d'éducation**

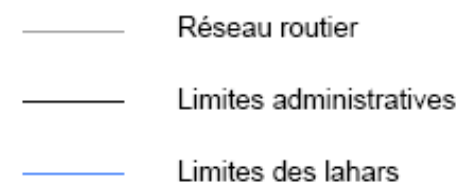
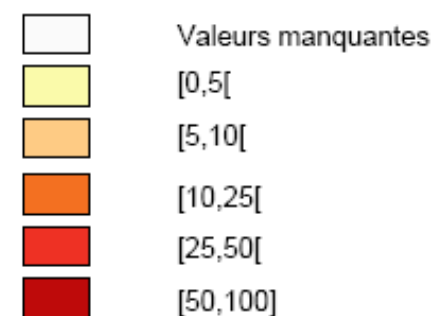
Pourcentage de la population ayant un faible niveau
d'instruction (aucune, alphabétisation , "primaria y basica")

- Valeurs manquantes
 - [0,20[
 - [20,40[
 - [40,60[
 - [60,80[
 - [80,100]
-
- Réseau routier
 - Limites administratives
 - Limites des lahars



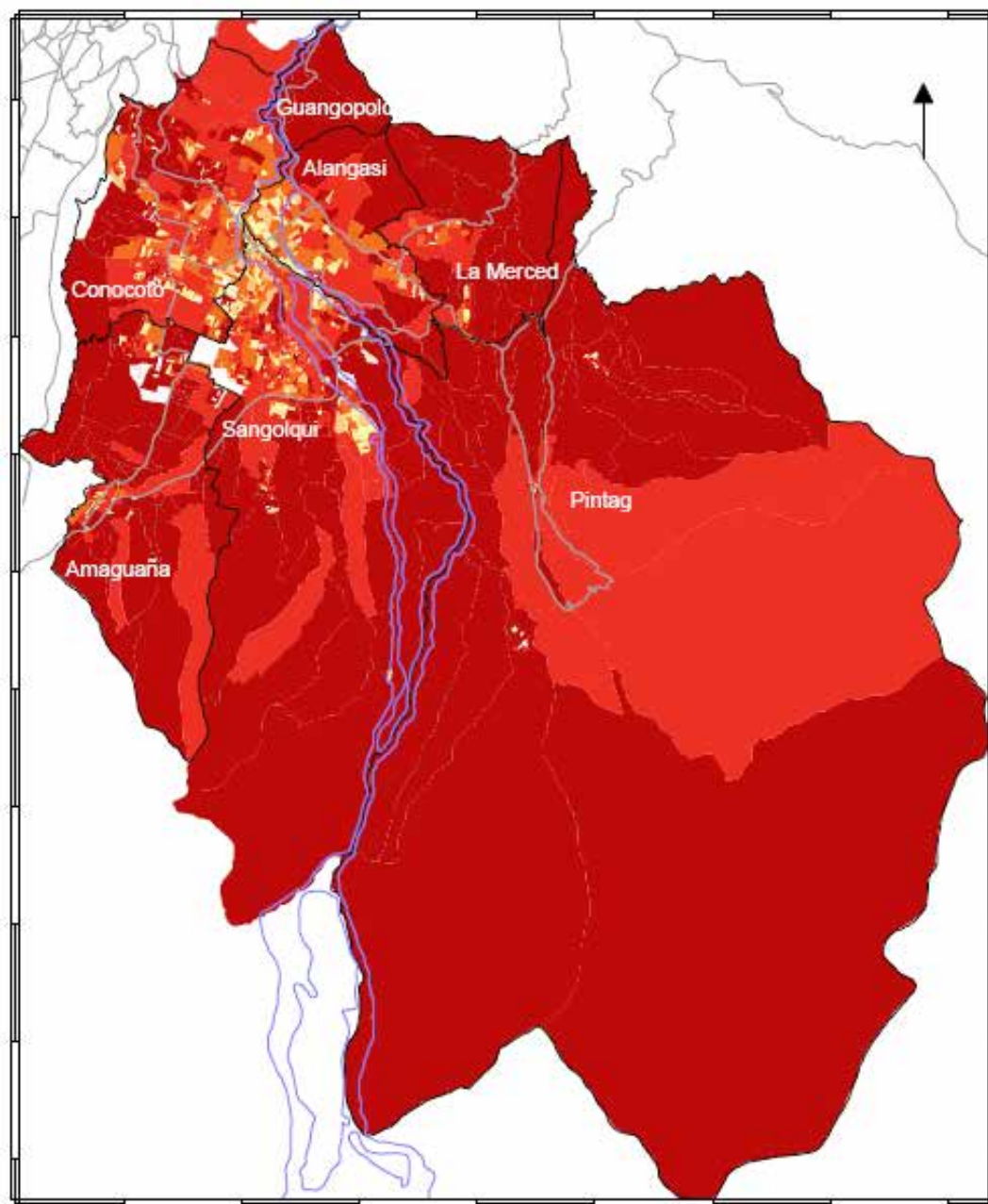
Vulnérabilité de la population : accès au réseau d'électricité

Pourcentage de la population ayant accès
au réseau d'électricité



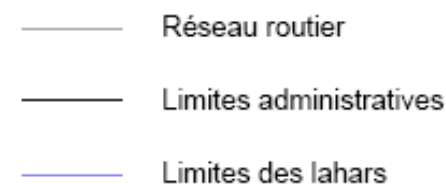
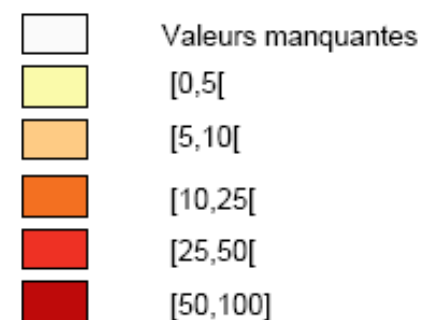
Source : INEC 2001, DMPTQ

0 4000 m



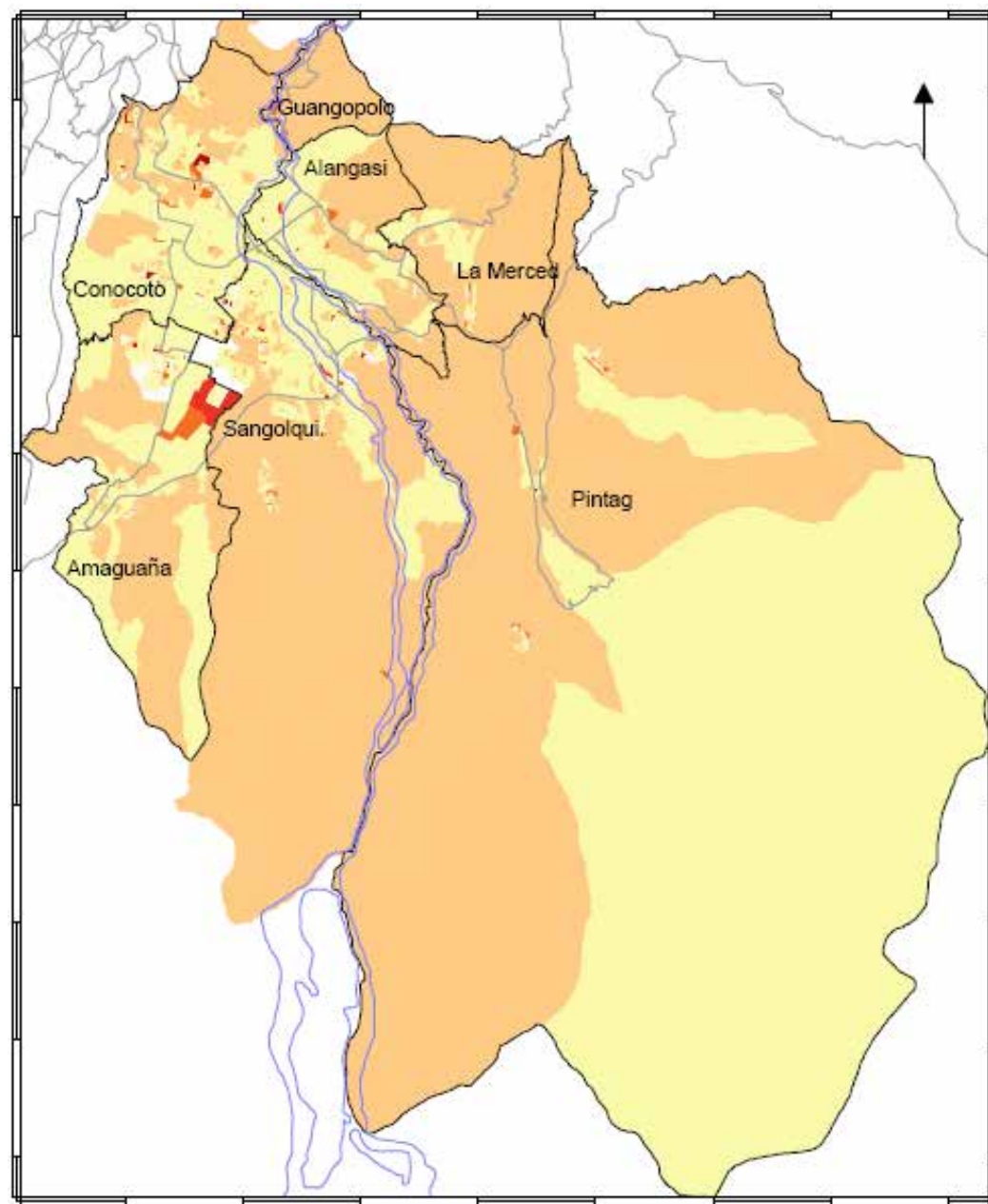
Vulnérabilité de la population : accès au réseau téléphonique

Pourcentage de la population ayant accès au réseau téléphonique



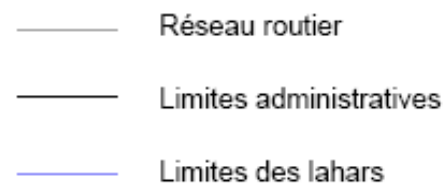
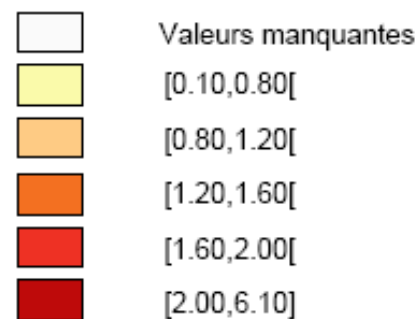
Source : INEC 2001, DMPTQ

0 4000 m



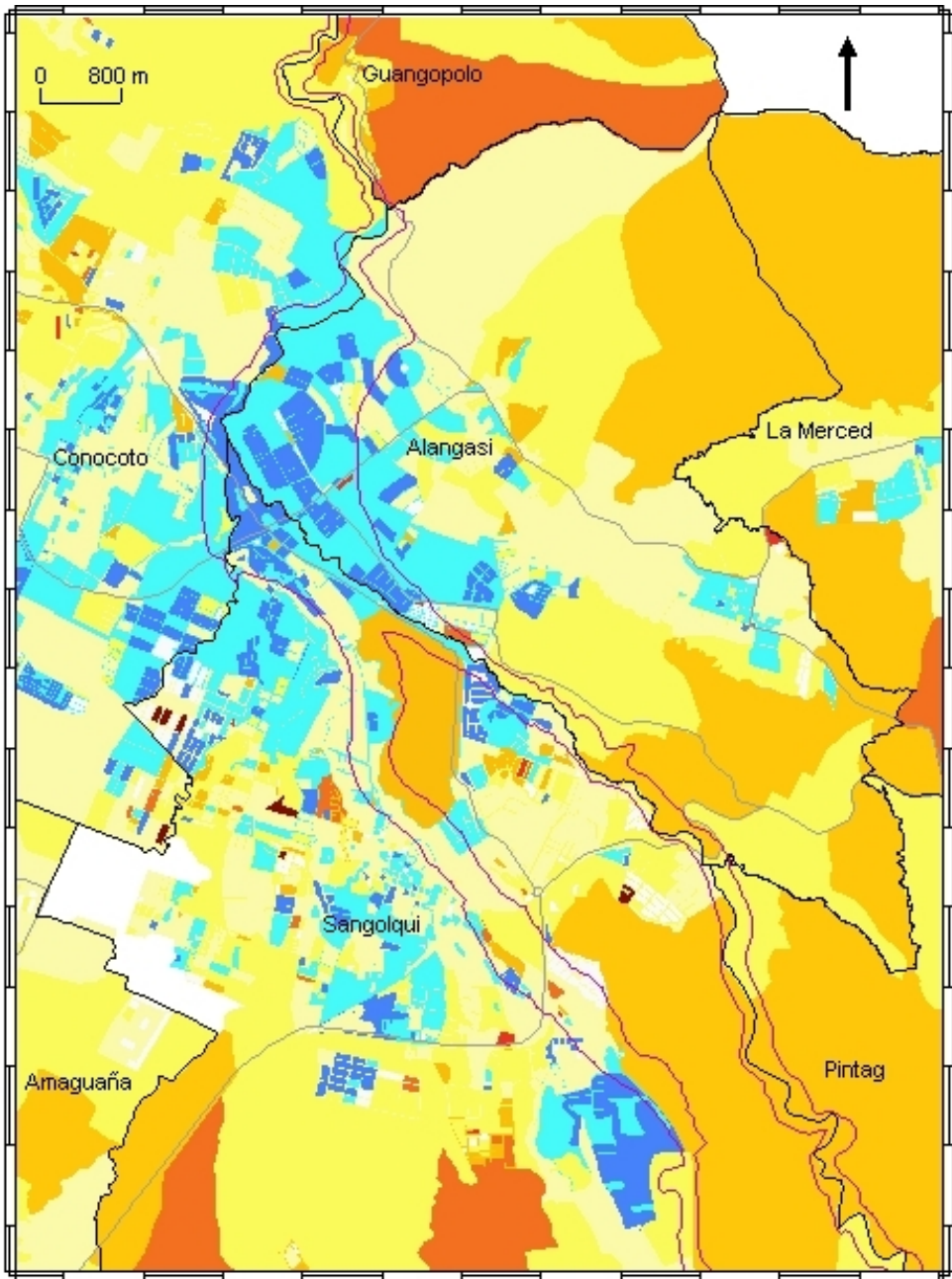
Vulnérabilité de la population : promiscuité

Nombre de personnes par pièces ou promiscuité

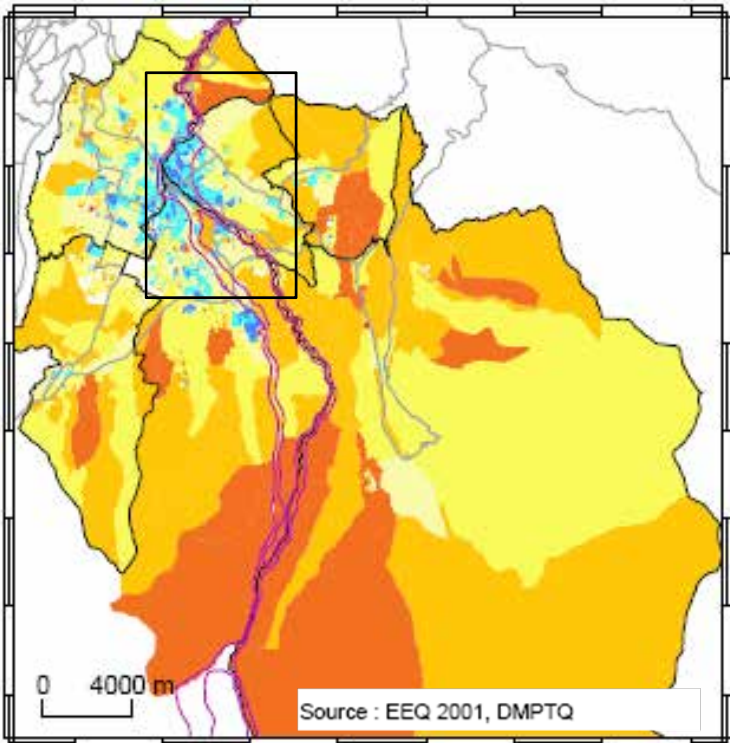
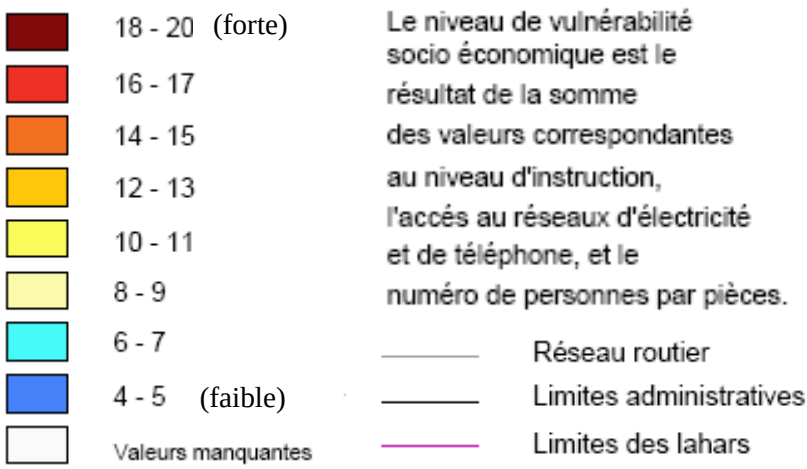


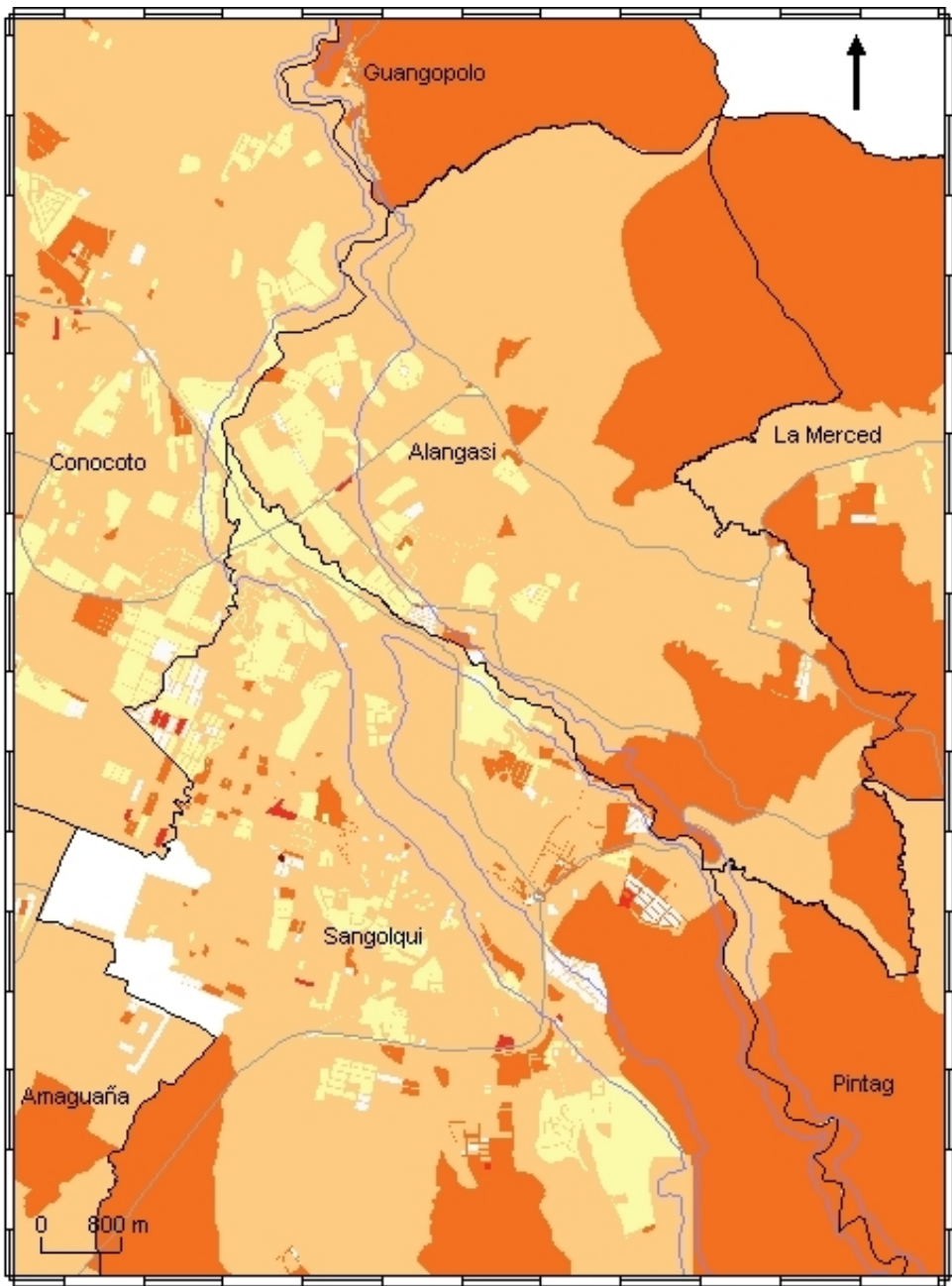
Source : INEC 2001, DMPTQ

0 4000 m

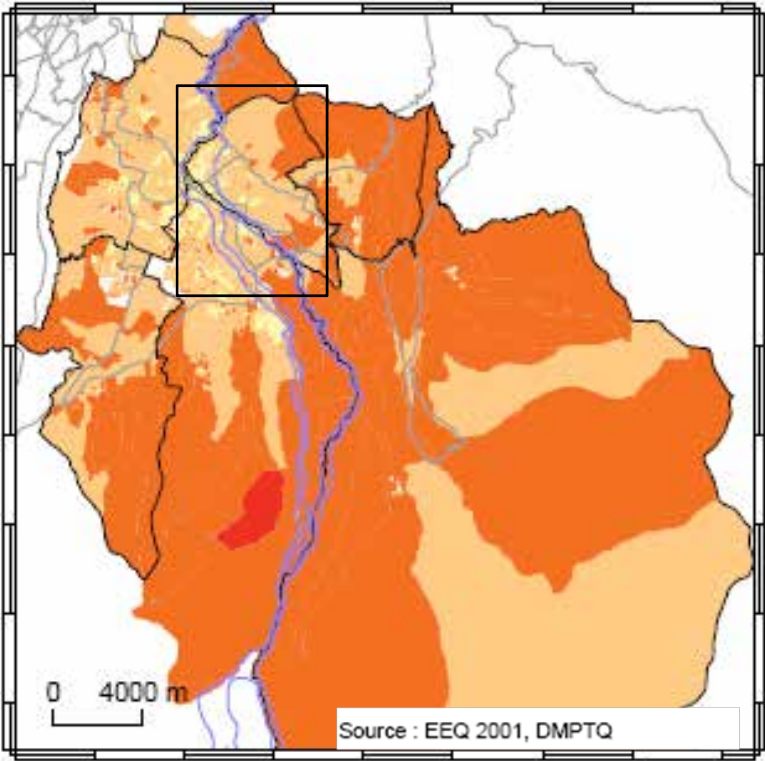
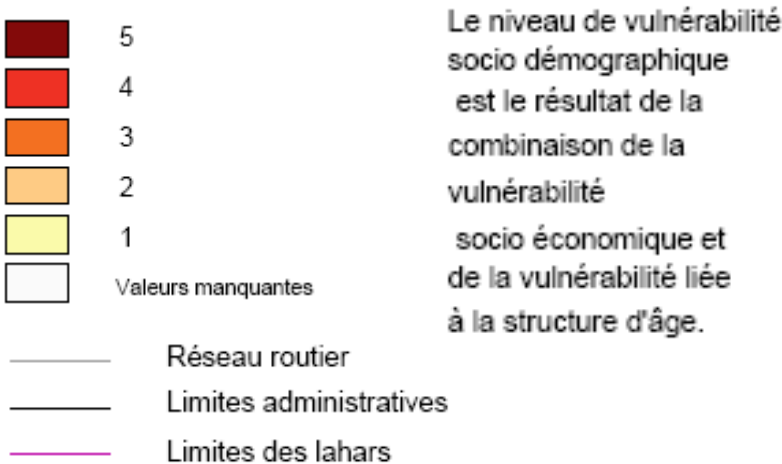


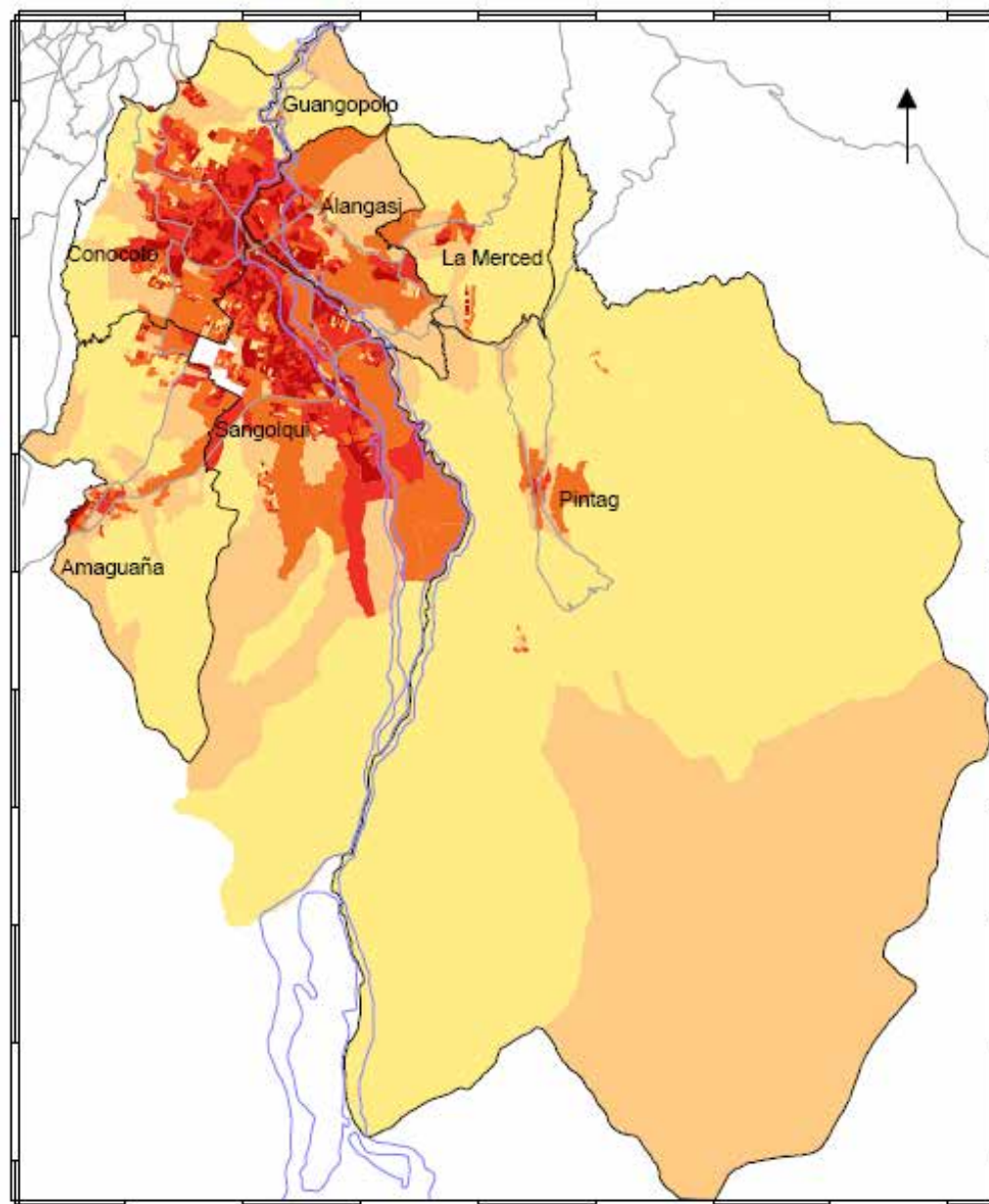
Vulnérabilité socio économique





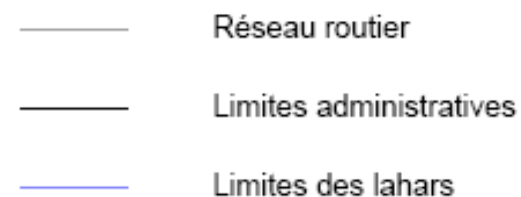
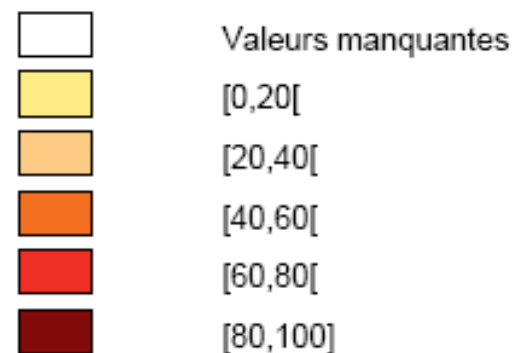
Vulnérabilité socio démographique





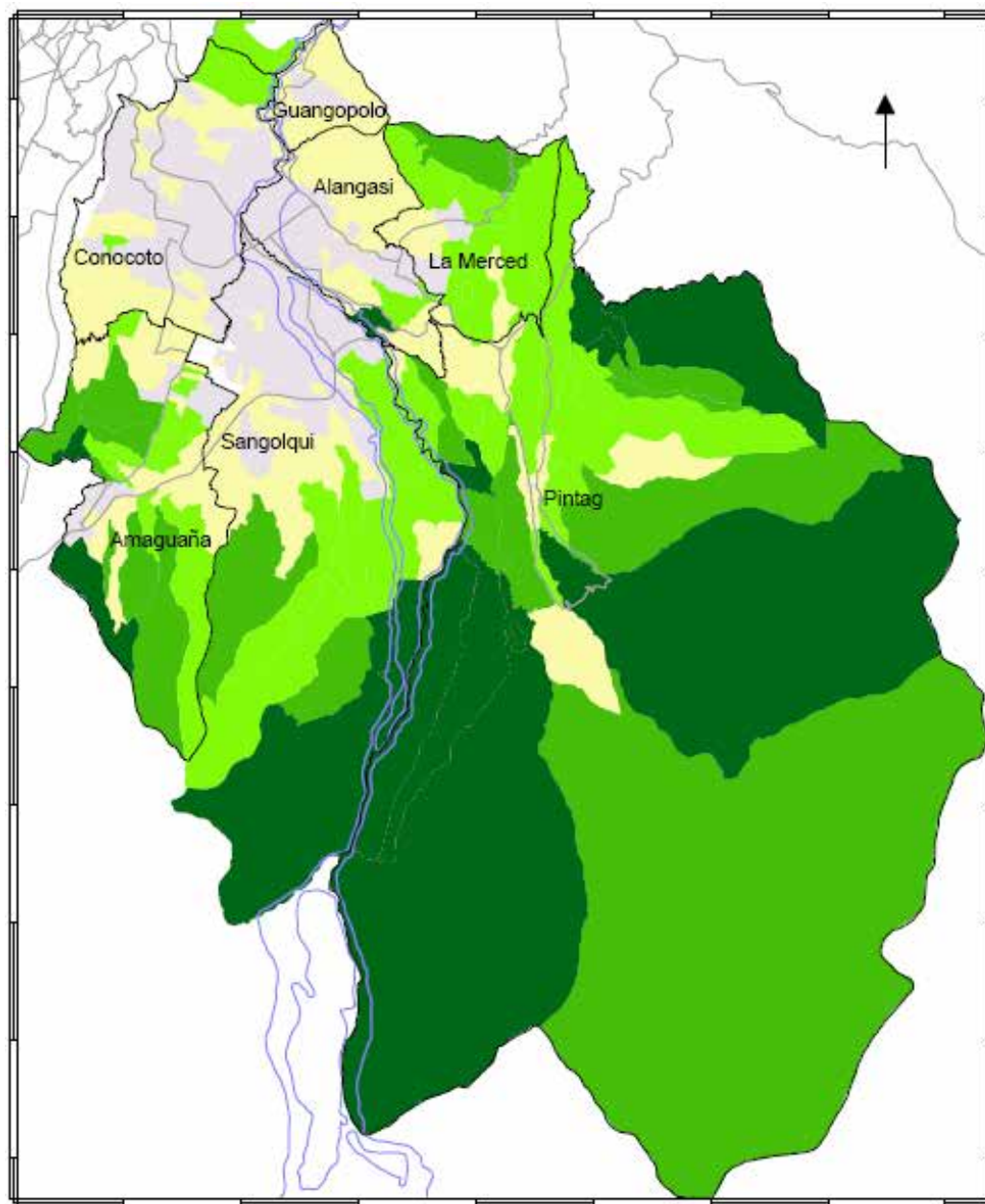
Accès à l'eau potable à l'intérieur de l'habitation

Réseau d'eau potable à l'intérieur de l'habitation (en %)



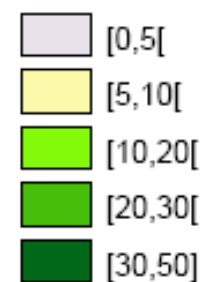
Source : EEQ 2001, DMPTQ

0 4000 m



Répartition de la population vivant de l'agriculture dans le Valle de Los Chillos

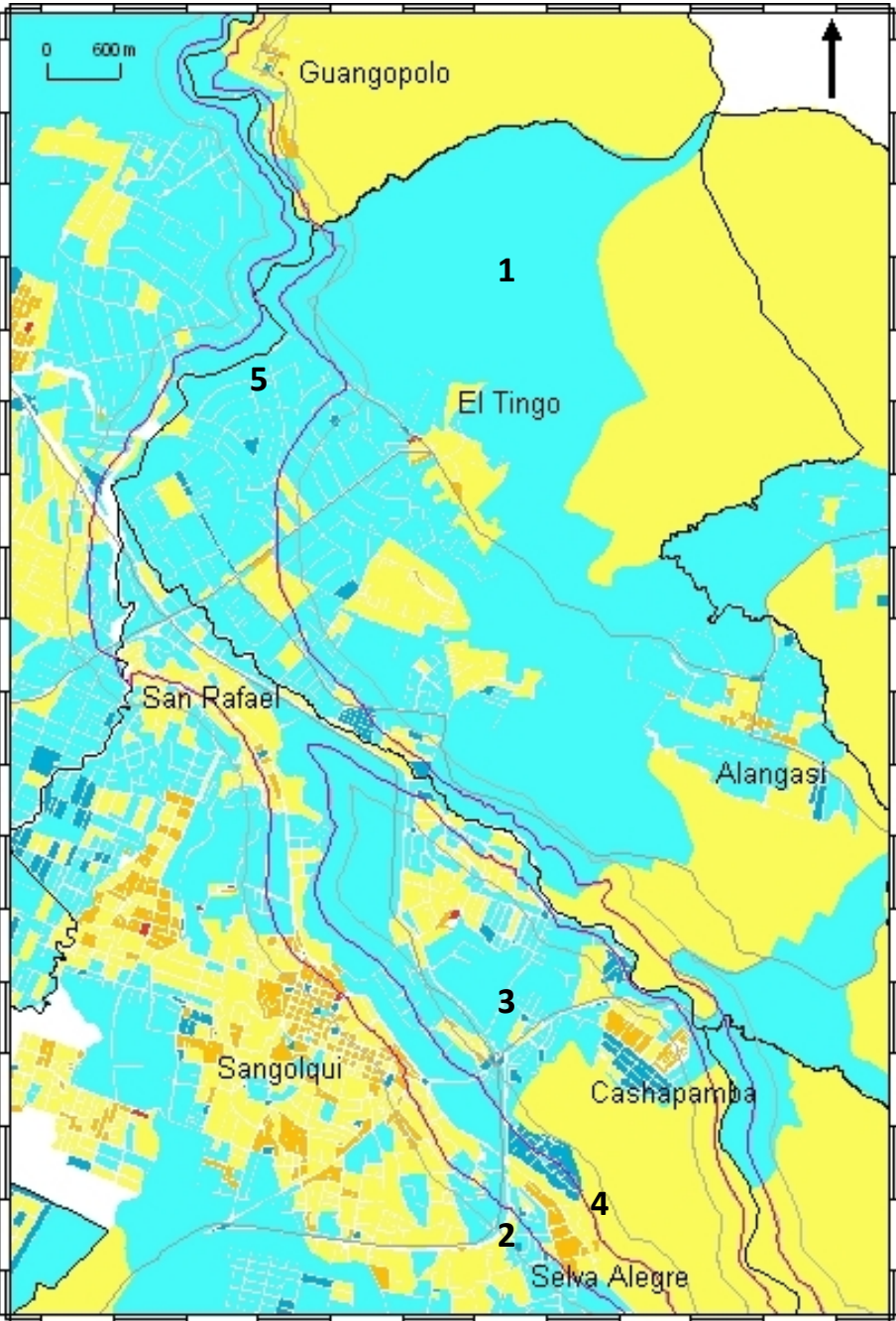
Pourcentage de la population exerçant une activité agricole



— Réseau routier
 — Limites administratives
 — Limites des lahars

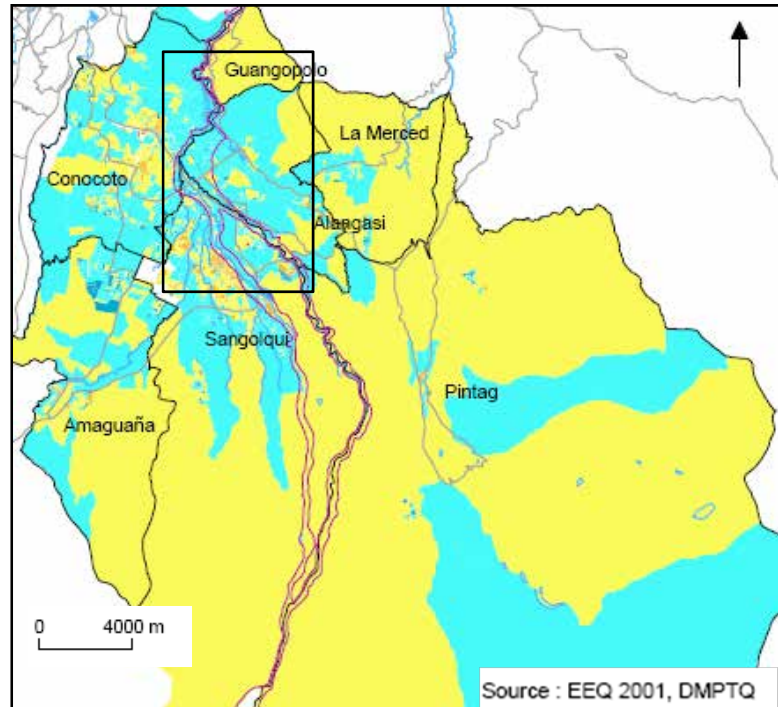
Source : EEQ 2001, DMPTQ

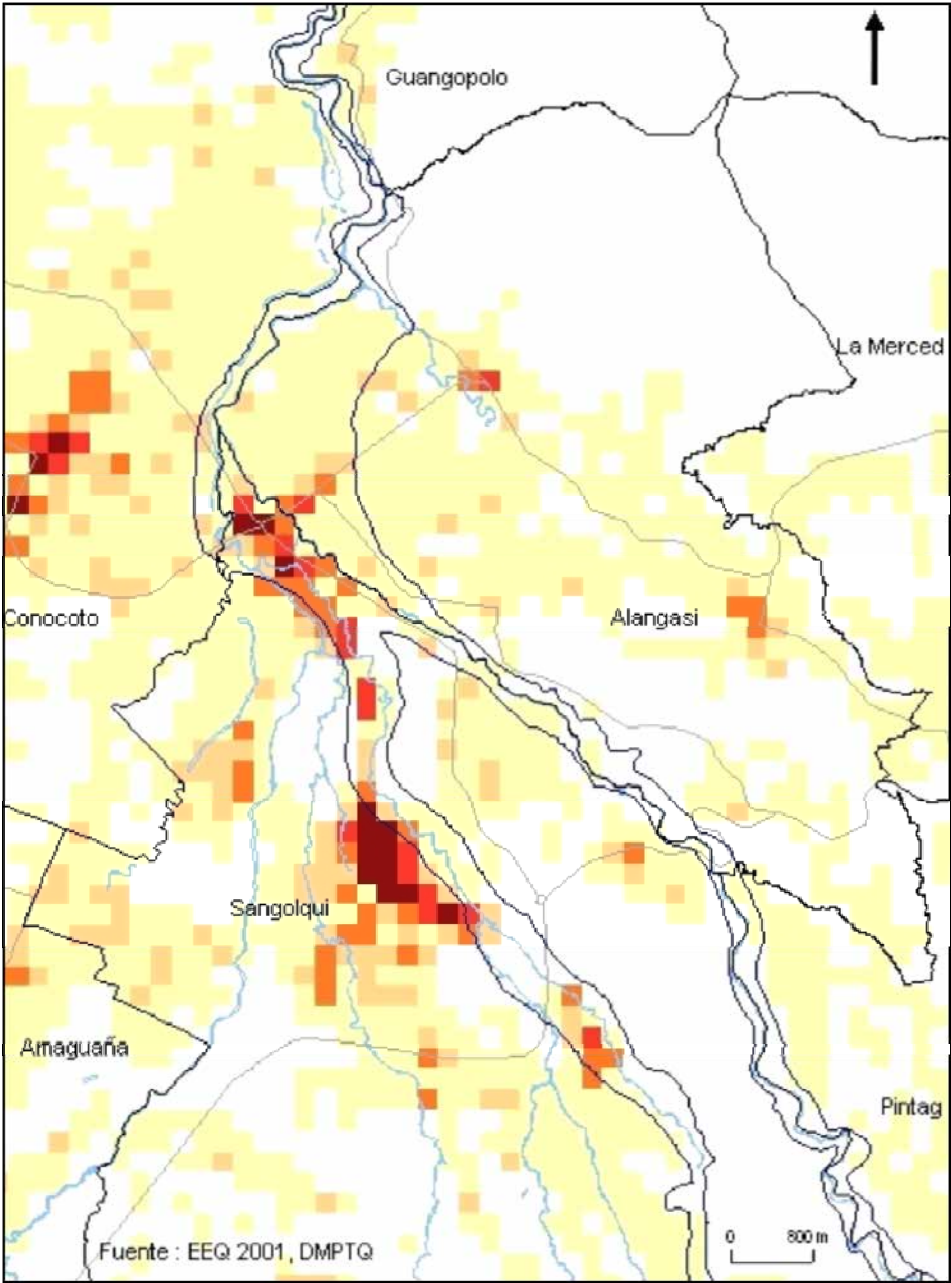
0 4000 m



Vulnérabilité socio démographique et densité

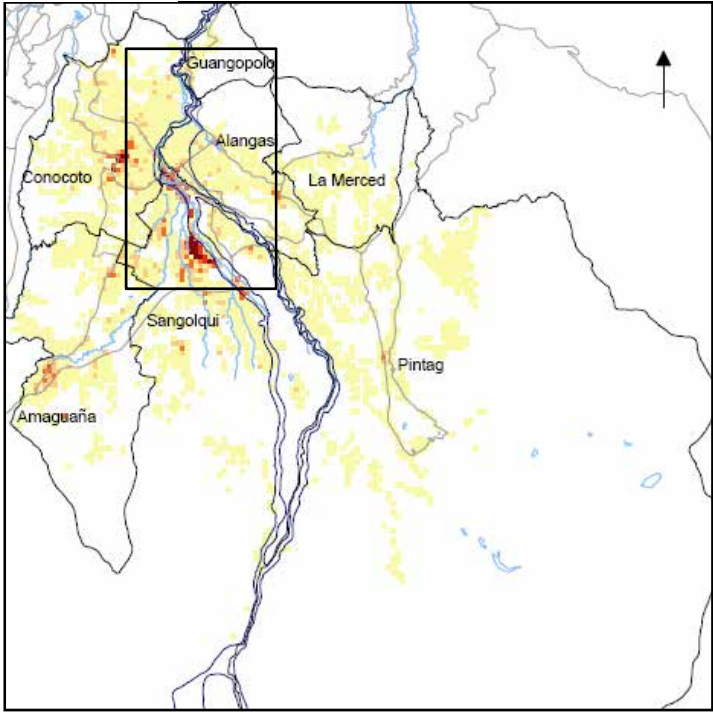
Classes de vulnérabilité		Niveau d'exposition
	[0,2[	5 : Zone d'exposition majeure selon l'Institut Géophysique (Référence de 1877)
	[2,4[	4 : Marge de 200m et isolement marqué
	[4,6[	3 : Isolement marqué
	[6,8[	2 : Marge de 200m
	[8,10]	1 : Isolement faible
	Réseau routier	
	Limites administratives	
	Limites des lahars	
	Marge de 200 m	

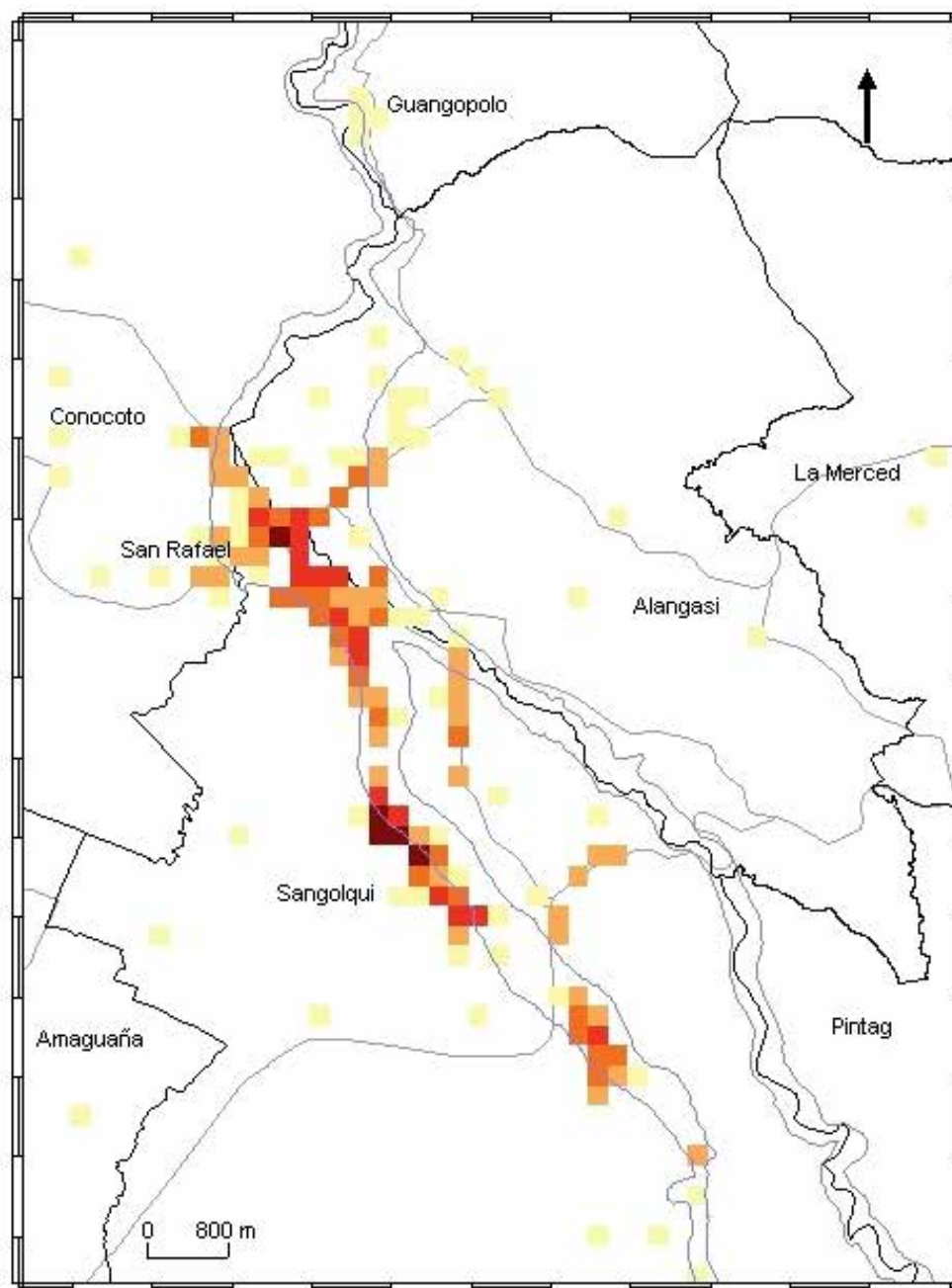




Localisation des zones d'activités : compteurs électriques industriels et commerciaux

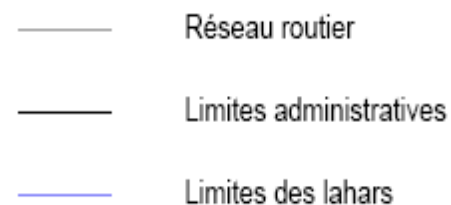
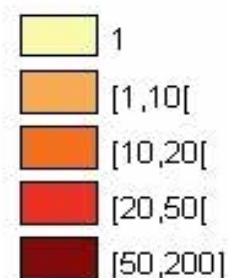
Numéro de compteurs électriques industriels et commerciaux par maille de 200 m de côté

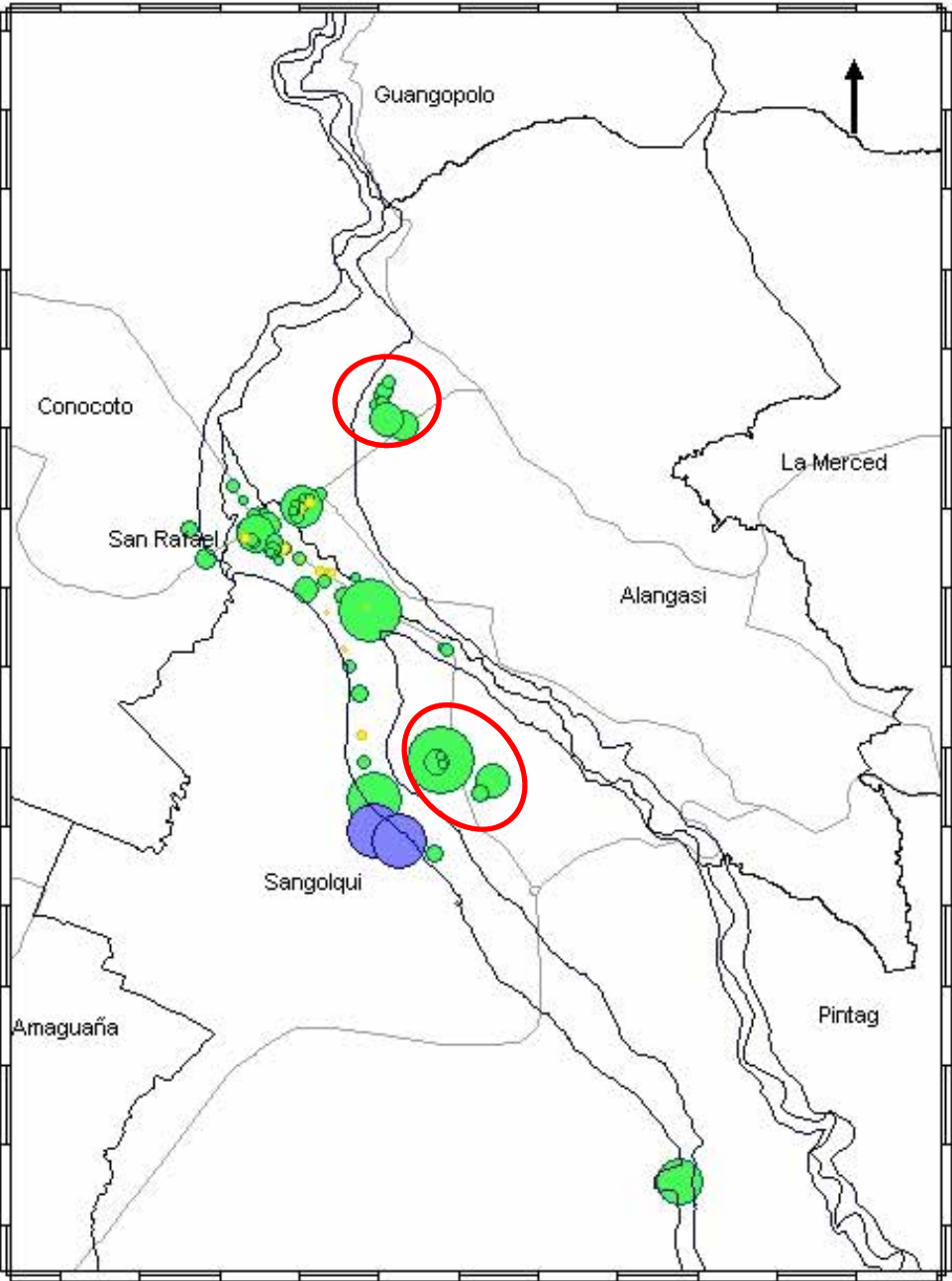




Localisation des petits commerces pouvant être affectés par les lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos

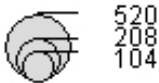
Nombre de petites entreprises et petits restaurants par maille de 200 m de côté





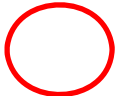
**Localisation des entreprises principales
du Valle de Los Chillos pouvant être
affectées par les lahars du volcan
Cotopaxi**

Nombre de personnel par établissements



Type d'activité

- Entreprise
- Marché
- Restaurant

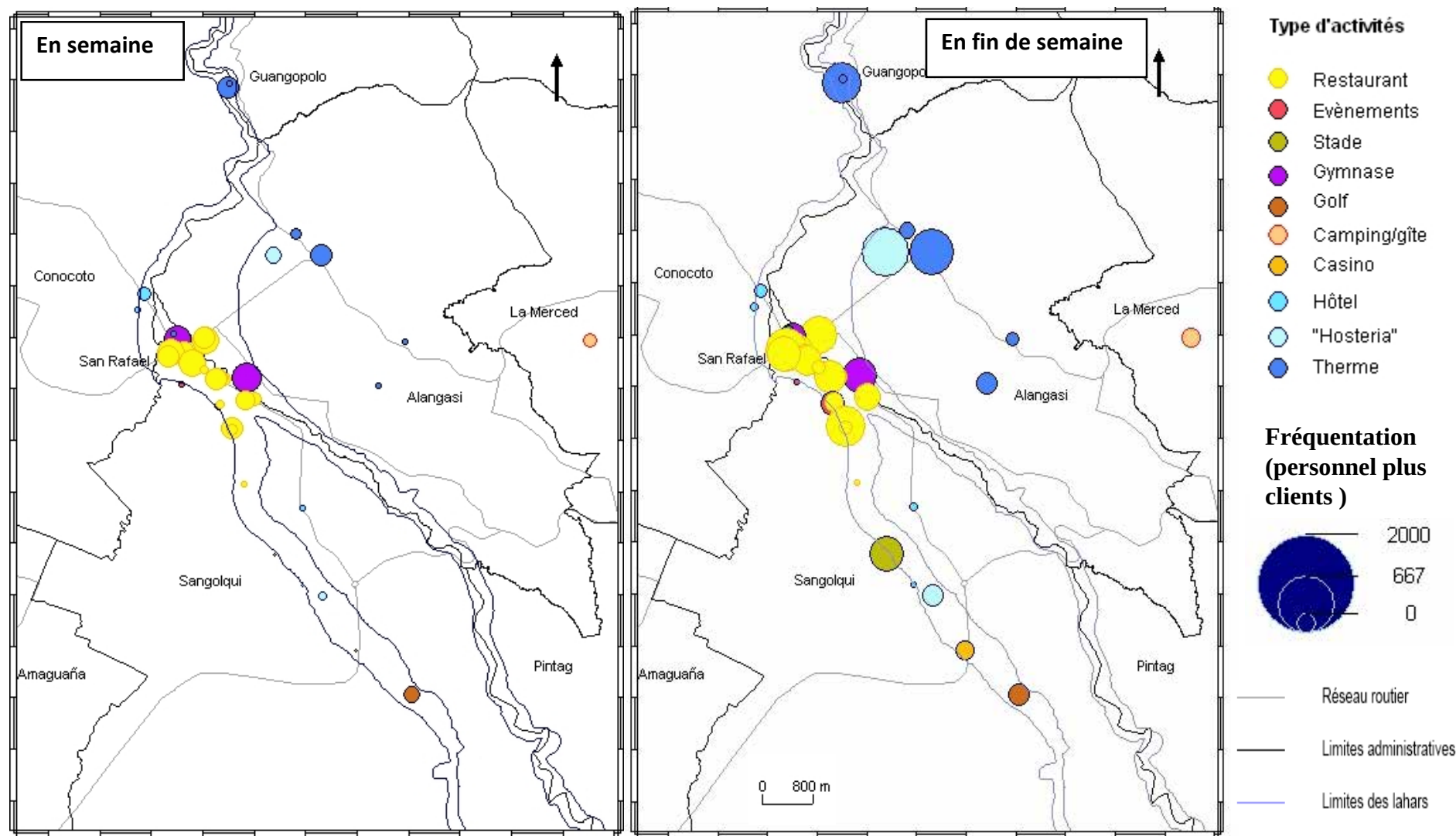
 Zones industrielles

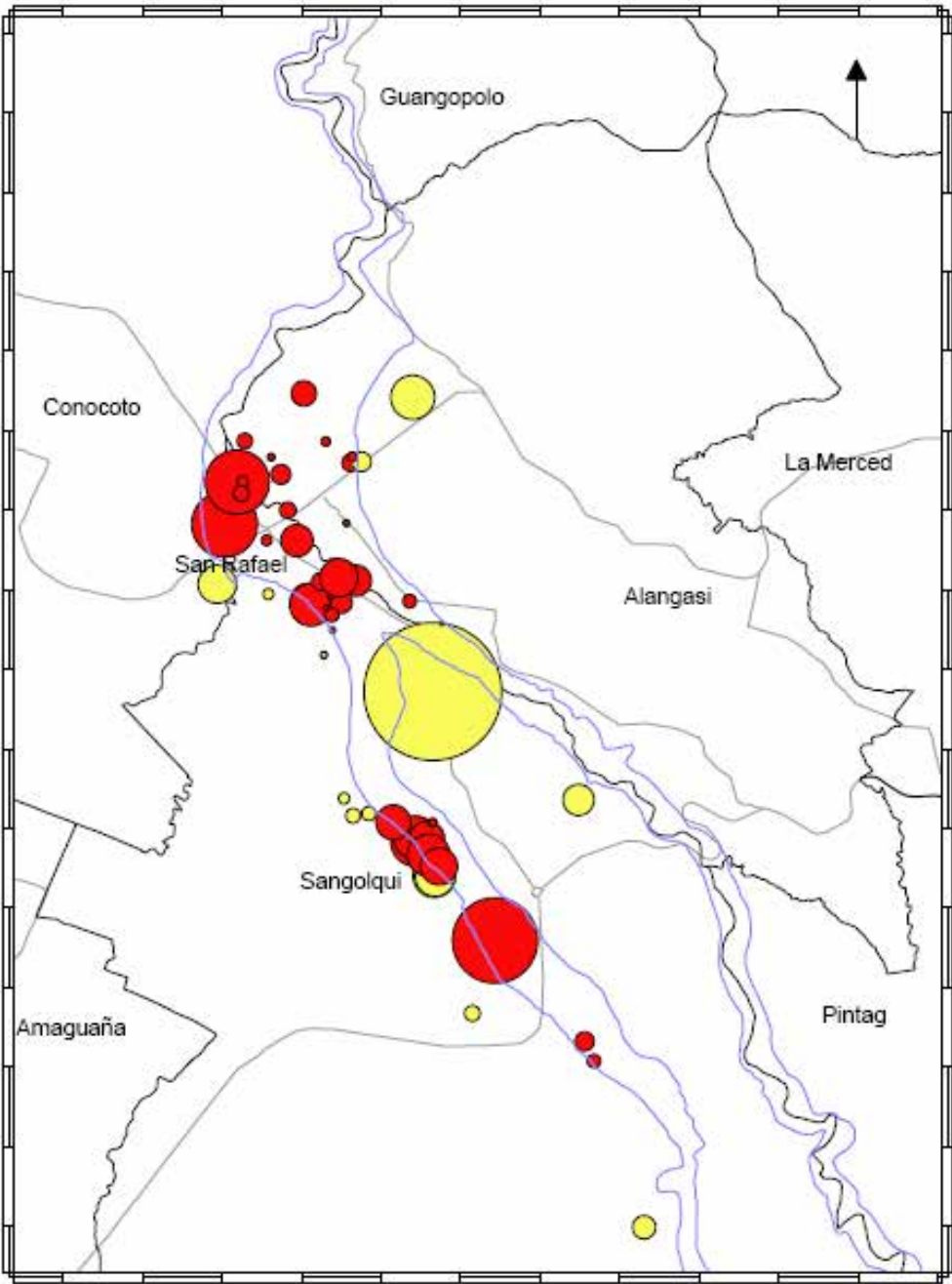
- Réseau routier
- Limites administratives
- Limites des lahars

Source : INEC 2001, DMPTQ

0 800 m

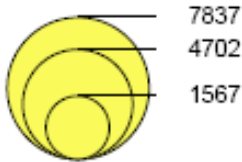
Fréquentation des lieux de loisirs et touristiques pouvant être affectés par les lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos





**Etablissements scolaires exposés
au risque de lahar ou à proximité,
dans le Valle de Los Chillos**

Nombre d'élèves par établissement

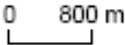


Situation en zone exposée

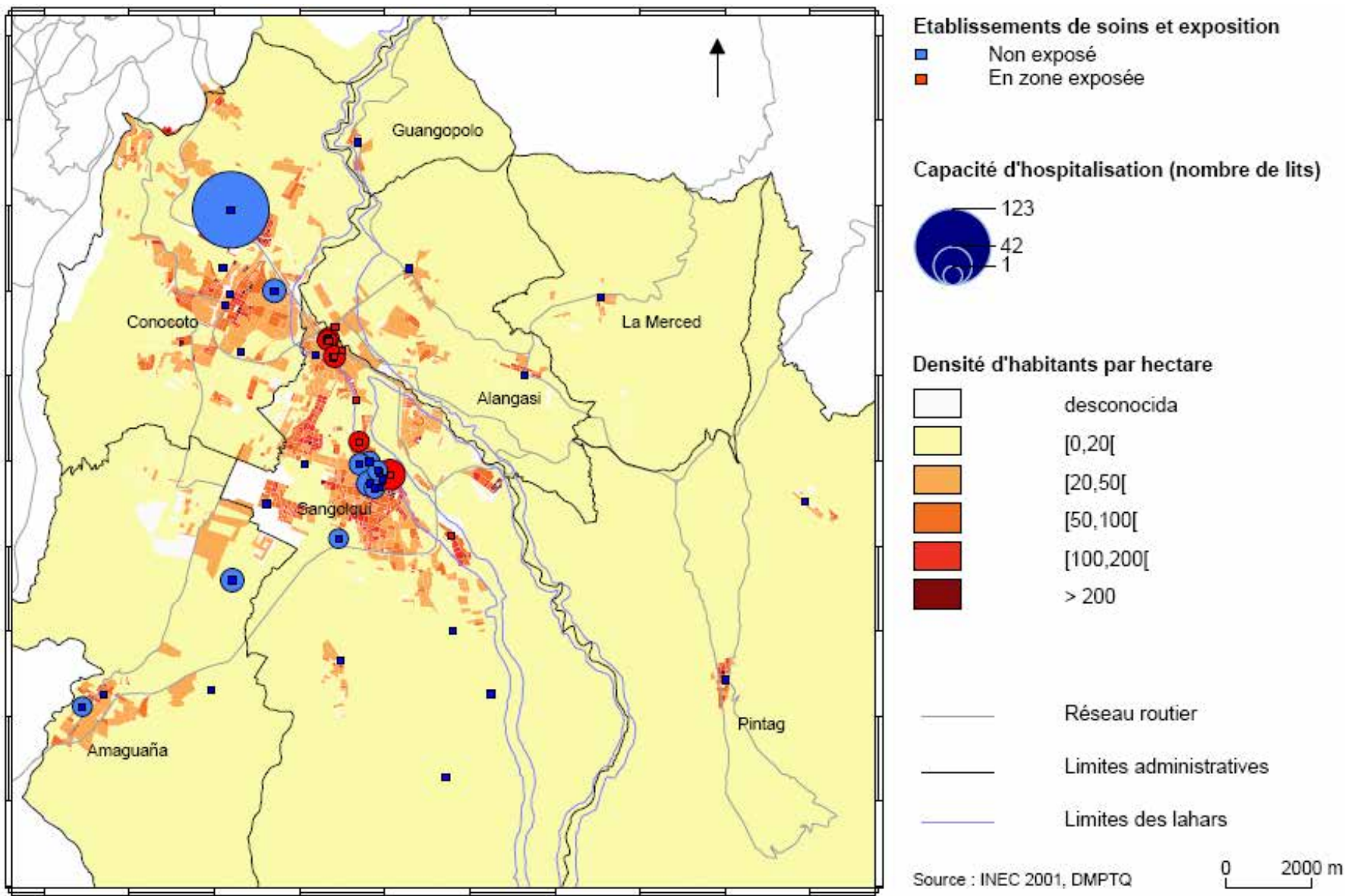


- Réseau routier
- Limites administratives
- Limites des lahars

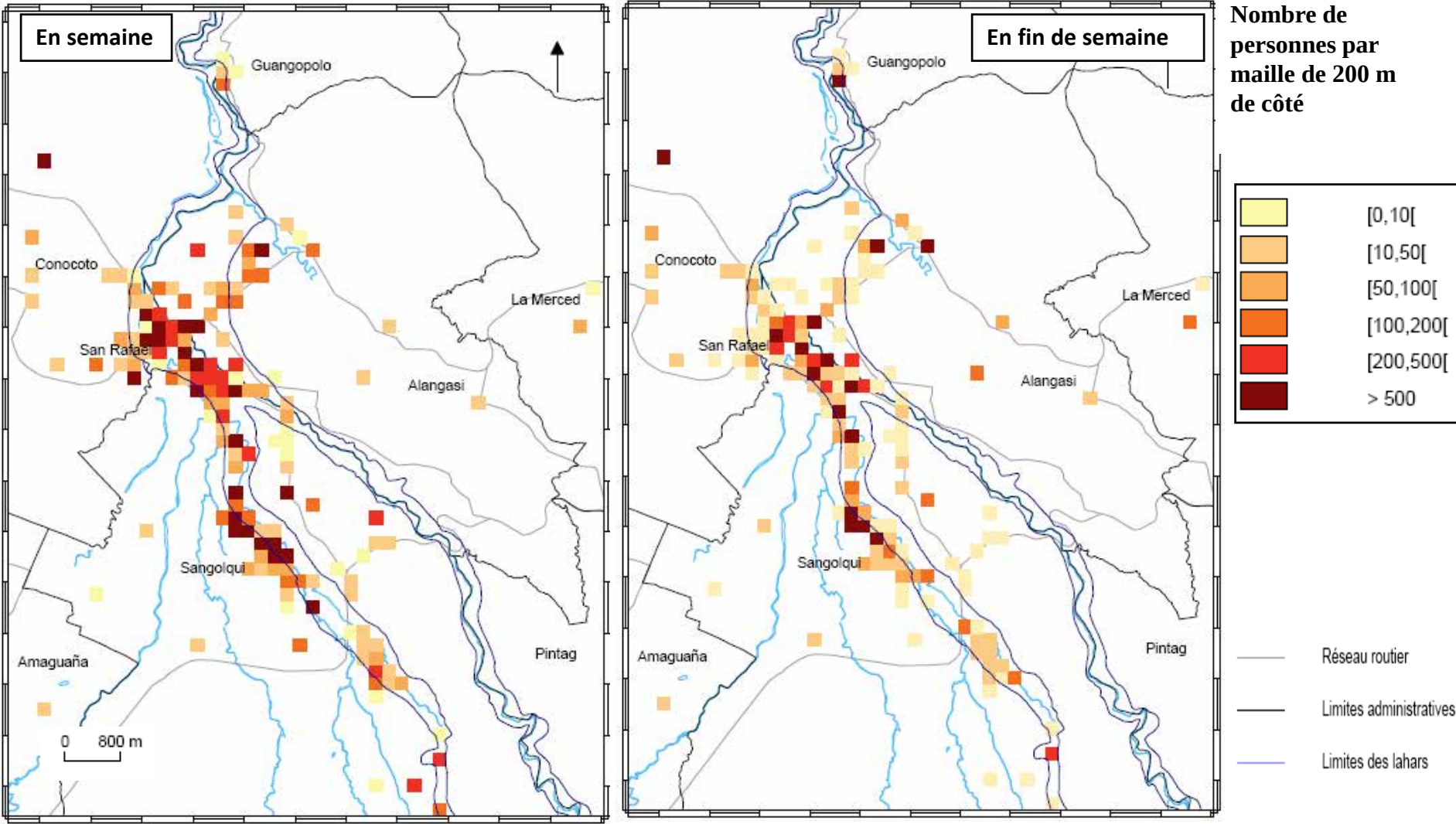
Source : INEC 2001, DMPTQ



Etablissements de santé principaux du Valle de Los Chillos



Total de la population de jour en semaine et en fin de semaine pouvant être affectés par les lahars du volcan Cotopaxi dans le Valle de Los Chillos



Variation entre la population « de jour » et la population résidente pouvant être affectés par les lahars du volcan Cotopaxi (à l'échelle des «manzanas»)

