



HAL
open science

Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan Cotopaxi (Equateur)

Robert d'Ercole

► **To cite this version:**

Robert d'Ercole. Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan Cotopaxi (Equateur). Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines, 1996, Les risques naturels et leur gestion en Equateur. Diversité des exemples, complémentarité des approches, 25 (3), pp.479-507. hal-01172040

HAL Id: hal-01172040

<https://hal.science/hal-01172040>

Submitted on 6 Jul 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

REPRÉSENTATIONS CARTOGRAPHIQUES DES FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ DES POPULATIONS EXPOSÉES À UNE MENACE VOLCANIQUE APPLICATION À LA RÉGION DU VOLCAN COTOPAXI (ÉQUATEUR)

Robert D'Ercole *

Résumé

Suivant une définition sociale, la vulnérabilité est la propension plus ou moins prononcée à subir des dommages. L'atténuation des risques naturels auxquels les hommes sont confrontés suppose la réduction de la vulnérabilité en matière de vies humaines, de biens et d'activités. Il s'agit au préalable d'identifier les facteurs de vulnérabilité, d'en mesurer la portée, et de localiser dans l'espace les secteurs les plus sensibles. La cartographie de la vulnérabilité et de ses facteurs est une étape indispensable vers une cartographie globale du risque à laquelle de nombreux chercheurs et décideurs aspirent.

À partir de l'exemple des régions des provinces du Pichincha et du Cotopaxi exposées aux conséquences de l'activité du volcan Cotopaxi, l'article propose quelques jalons méthodologiques pour une cartographie de la vulnérabilité des populations menacées. Des typologies spatiales de vulnérabilité sont représentées à partir d'une analyse factorielle. La carte intégrée des facteurs de vulnérabilité permet la réalisation de diagnostics locaux, tandis qu'une troisième carte fournit des orientations pour des actions de préparation. Une réflexion est également menée sur l'intérêt et sur les limites d'utilisation de ces cartes.

Mots-clés : *Vulnérabilité, cartographie, risque volcanique, Cotopaxi, Équateur.*

CARTOGRAFÍA DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD DE LAS POBLACIONES EXPUESTAS A UNA AMENAZA VOLCÁNICA

APLICACIÓN A LA REGIÓN DEL VOLCÁN COTOPAXI (ECUADOR)

Resumen

Según una definición social, la vulnerabilidad es la propensión más o menos pronunciada a sufrir perjuicios cuando ocurre un fenómeno natural destructor. La mitigación de los riesgos naturales que enfrentan los hombres supone la reducción de la vulnerabilidad de éstos, de sus bienes y actividades económicas. Se trata previamente de identificar los factores de vulnerabilidad, medir sus consecuencias y localizar los sectores más sensibles. La cartografía de la vulnerabilidad y su factores constituye una etapa indispensable para una cartografía global del riesgo, la cual buscan los científicos y los tomadores de decisiones.

Basado sobre el ejemplo de los sectores amenazados por el volcán Cotopaxi en las provincias de Pichincha y Cotopaxi, el artículo presenta algunos métodos de cartografía de la vulnerabilidad poblacional. Apoyándose en un análisis factorial, los tipos espaciales de vulnerabilidad están representados en un primer mapa. El segundo, al integrar los factores de vulnerabilidad permite un

* Département de géographie, Université de Savoie, Chambéry

diagnóstico sector por sector, mientras el tercer mapa propone algunas recomendaciones en cuanto a la preparación de la población. Se discute también el interés, los límites y el uso de estos mapas.

Palabras claves: *Vulnerabilidad, cartografía, riesgo volcánico, Cotopaxi, Ecuador.*

CARTOGRAPHY OF VULNERABILITY OF PEOPLE AT RISK

CASE-STUDY : THE COTOPAXI VOLCANO AREA (ECUADOR)

Abstract

According to a social definition, vulnerability is the more or less pronounced propensity to bear damage when a natural phenomenon strikes. Mitigation of natural hazards means the reduction of vulnerability of himself, of his property and of his economic activities. Firstly, it is necessary to identify the vulnerability factors, to measure their consequences and to locate the sectors posing the biggest problems. Mapping vulnerability and its factors is an indispensable step towards global risk cartography which is the goal of researchers and risk managers.

Based on the case study of the Pichincha and Cotopaxi provinces which are at risk from the Cotopaxi volcano, this article gives methods for the cartography of people's vulnerability. Spatial vulnerability typologies shown on a map are based on a multivariate analysis. The map integrating vulnerability factors allows a local diagnosis, whereas a third map gives advice for preparative measures. Lastly, the advantages and the limits of the use of such maps are discussed.

Key words: *Vulnerability, Cartography, Volcanic risk, Cotopaxi volcano, Ecuador.*

1. UNE PROBLÉMATIQUE : LA VULNÉRABILITÉ ET SA CARTOGRAPHIE

La notion de vulnérabilité prête généralement à confusion. Le débat dont elle a fait l'objet lors d'un récent colloque (1) a permis de dégager deux définitions complémentaires. La première, technique et plus ancienne, considère la vulnérabilité comme un indice (de 0 à 1) ou un pourcentage de ce qui peut être perdu (vies humaines, biens, valeurs diverses) en un lieu donné en cas de catastrophe. La deuxième, sociale, désigne la vulnérabilité comme la propension à subir des dommages, suivant la capacité de réponse des sociétés concernées vis-à-vis de menaces d'origine naturelle, anthropique ou mixte. La complémentarité de ces deux définitions vient du fait que si la première s'attache principalement aux conséquences potentielles tangibles sur les éléments exposés d'un événement catastrophique donné, la deuxième porte plus particulièrement son regard sur les facteurs anthropiques qui tendent à moduler le poids de ces conséquences. La seule présence de populations dans les zones à risque constitue un facteur de vulnérabilité, mais cette dernière s'accroît lorsque les conditions propices se multiplient : la forte croissance de cette population, les modes irrationnels d'occupation et d'utilisation du sol, les contraintes socio-économiques et psycho-sociologiques, les faiblesses fonctionnelles à propos de gestion de l'urgence ou encore les déficiences institutionnelles ou politico-administratives du système de gestion des risques et de ses rouages.

De nombreuses études, en sciences humaines, ont analysé la plupart de ces facteurs de vulnérabilité, permettant de mieux comprendre les situations porteuses de risque. L'un des problèmes majeurs réside dans la cartographie de la vulnérabilité et de ses facteurs,

(1) Colloque international de Clermont-Ferrand, "Croissance urbaine et risques naturels dans les pays en développement", (2-3 dec 1994). Voir notamment la synthèse de la table ronde portant sur le thème de la vulnérabilité (D'Ercole, 1994b) Voir également l'article de Thouret & D'Ercole (1996)

compte tenu d'une menace potentielle donnée. Y parvenir supposerait réaliser une véritable carte de risque combinant, d'après la définition du risque, la menace (ou aléa, c'est-à-dire le phénomène selon sa nature, sa probabilité d'occurrence et sa capacité destructrice) et la vulnérabilité exprimant à la fois les enjeux, les dommages potentiels, mais aussi les facteurs humains susceptibles d'accroître les conséquences de l'événement.

La prise de conscience de cette complexité fait que les documents que l'on appelait cartes de risque il y a quelques années encore, sont devenus cartes d'aléas ou de menaces potentielles, dans la mesure où ils ne représentent que la nature et l'extension possible des phénomènes considérés.

Ont été ensuite appelés cartes de risque les documents où les enjeux humains (ou éléments exposés) étaient superposés aux aléas. Mais cela est encore insuffisant car le facteur humain peut facilement moduler l'effet des aléas sur les enjeux. Les différences parfois énormes en ce qui concerne le nombre de victimes enregistrées ces dernières années à la suite de séismes comparables et dans des conditions de densité humaine voisines, au Japon et aux États-Unis d'une part, en Arménie ou en Iran d'autre part, illustrent bien ce problème (2). Le croisement de l'aléa et des enjeux doit donc être complété par une approche qualitative considérant le facteur anthropique pour lequel il s'agit de distinguer, ne serait-ce qu'artificiellement, le technique du social.

Dans le premier cas, il s'agit par exemple de cartes issues de zonages ou de microzonages sismiques prenant en compte les caractéristiques physiques du site comme la topographie ou les propriétés mécaniques des sols et, en même temps, la qualité de l'habitat et des infrastructures (exemple des scénarios sismiques de Quito : voir Chatelain et al. dans ce numéro).

Dans le deuxième cas, les quelques cartes existantes ou en cours d'élaboration s'intéressent plus particulièrement aux populations exposées et tentent de déboucher sur une hiérarchisation socio-spatiale des facteurs de vulnérabilité que ces populations présentent (Chardon, 1994). C'est dans cet esprit que l'analyse et la cartographie de la vulnérabilité de la population exposée au volcan Cotopaxi ont été réalisées.

VULNÉRABILITÉ DE LA POPULATION EXPOSÉE AU VOLCAN COTOPAXI : LES BASES DE LA CARTOGRAPHIE (3)

Le volcan Cotopaxi (5 897 m) est situé à 60 km au sud de Quito et domine deux bassins peuplés. Au Nord, dans la province du Pichincha, les cuvettes de Machachi et de Los Chilllos avec la petite ville de Sangolqui et celle de Tumbaco, sont séparées par de vieux reliefs volcaniques érodés et parcourues par des cours d'eau issus du Cotopaxi (río San Pedro, Santa

(2) 25 000 morts en Arménie le 7 décembre 1988 ; 45 000 en Iran le 21 juin 1990, contre 62 et 34 aux États-Unis respectivement les 17 octobre 1989 et 17 janvier 1994 ; 239 et 5 300 au Japon les 12 juillet 1993 et 17 janvier 1995 (Kobé). Ce dernier séisme est de loin le plus meurtrier depuis le grand séisme du Kanto de 1923. On peut néanmoins imaginer qu'un événement aussi violent (7,2 de magnitude), au foyer proche de la surface (13 km) aurait occasionné un bilan beaucoup plus lourd dans un pays en développement.

(3) Nous fournissons brièvement ici les données de base ayant permis de déboucher sur une cartographie synthétique des facteurs de vulnérabilité de la population menacée par le Cotopaxi. Pour de plus amples informations sur ces données ou sur d'autres aspects des travaux réalisés entre 1988 et 1991 dans la région du Cotopaxi, nous renvoyons le lecteur à la thèse de doctorat qui en fait la synthèse (D'Ercole, 1991). Plusieurs rapports ou publications ont également développé certains aspects de la recherche engagée (voir références bibliographiques : D'Ercole, 1989 ; 1990 ; 1991 ; 1992 ; 1993 ; 1994a ; D'Ercole & Moncayo, 1991 ; Peltre & D'Ercole, 1992).

Clara, Pita). Au Sud, dans la province du Pichincha, le bassin prend la forme d'un long plan incliné incisé par de nombreux cours d'eau également issus des flancs du volcan, et se prolonge par la vallée du rio Cutuchi dans laquelle se trouve la capitale de la province, Latacunga.

Ces deux bassins ont maintes fois été dévastés par le volcan dans le passé, comme en 1742, 1768 et 1877, notamment en raison de l'écoulement de lahars (coulées de débris et de boue liées à la fonte brutale d'une partie du glacier recouvrant le Cotopaxi, sous l'effet des produits incandescents émis pendant une éruption). Deux points sont d'ores et déjà à noter. D'une part, la dernière grande éruption, en 1877, a fait un millier de victimes dans une région dix fois moins peuplée qu'aujourd'hui. D'autre part, les principaux dommages humains et matériels ont toujours été plus importants dans la province méridionale, habitée depuis longtemps, alors que les lahars recouvriraient les territoires d'haciendas à très faible densité humaine dans la province du Nord. Aujourd'hui les données ont changé, car si le volcan menace plus de 300 000 personnes, les deux tiers d'entre elles sont concentrées dans les régions exposées de la province du Pichincha. Parmi ces 300 000 personnes, la moitié est menacée par les lahars en zone de risque majeur et mineur (vaste zone recouverte par les lahars produits lors d'une grande éruption il y a 2 400 ans) et environ 35 000 d'entre elles se situent dans la zone de risque majeur (zone affectée par les lahars de 1877, représentative des secteurs affectés durant la période historique).

La carte des aléas (ou des menaces potentielles) du Cotopaxi, bâtie par l'École Polytechnique Nationale de Quito (Hall & Von Hillebrandt, 1988) à la suite de premiers travaux nord-américains (Miller *et al.*, 1978), permet de repérer ces différentes zones ainsi que les secteurs susceptibles d'être affectés par d'autres phénomènes éruptifs comme les écoulements et retombées pyroclastiques et les avalanches de débris type Mont St. Helens (Fig. 1). Elle a constitué la base physique et spatiale de notre étude. Pour sa part, la figure 2 superpose les limites des menaces et la population matérialisée ici par sa densité. Elle permet notamment d'observer la forte concentration de population dans la vallée de los Chilllos, liée à l'extension de la ville de Quito située à l'Ouest et en amont. Comme cela a été signalé précédemment, il ne s'agit là que d'une ébauche de carte de risque dans la mesure où elle réduit le fait humain à sa plus simple expression : sa répartition et sa densité.

Malgré un système de surveillance du volcan qui commence à s'étoffer, aucun ouvrage de génie civil ne protège les populations face à la force destructrice des lahars. Dans l'hypothèse d'une éruption imminente ou effective du Cotopaxi, la sauvegarde des populations dépend donc de la capacité des hommes, depuis les autorités centrales jusqu'à ceux dont la vie est en jeu, à gérer la situation de crise et notamment à réussir la seule parade possible : l'évacuation préventive ou d'extrême urgence des plus exposés vers des lieux sûrs. Or, ce qui peut se résumer en un geste de sauvegarde, simple en théorie lorsqu'il s'agit seulement de s'élever de quelques dizaines de mètres pour se mettre à l'abri des coulées, est dans la réalité la source d'une multitude de problèmes et de contraintes. De nombreux exemples indiquent que les évacuations sont rarement réussies, notamment dans les pays en développement, dans la mesure où les réalités sociales battent régulièrement en brèche les solutions techniques. Cela se traduit par l'absence de messages d'alerte livrant la population à elle-même (éruption du Chichón en 1982), par des messages qui ne parviennent pas ou sont mal interprétés (Armero en 1985), ou par de fréquents refus d'évacuer (région du volcan Galunggung en

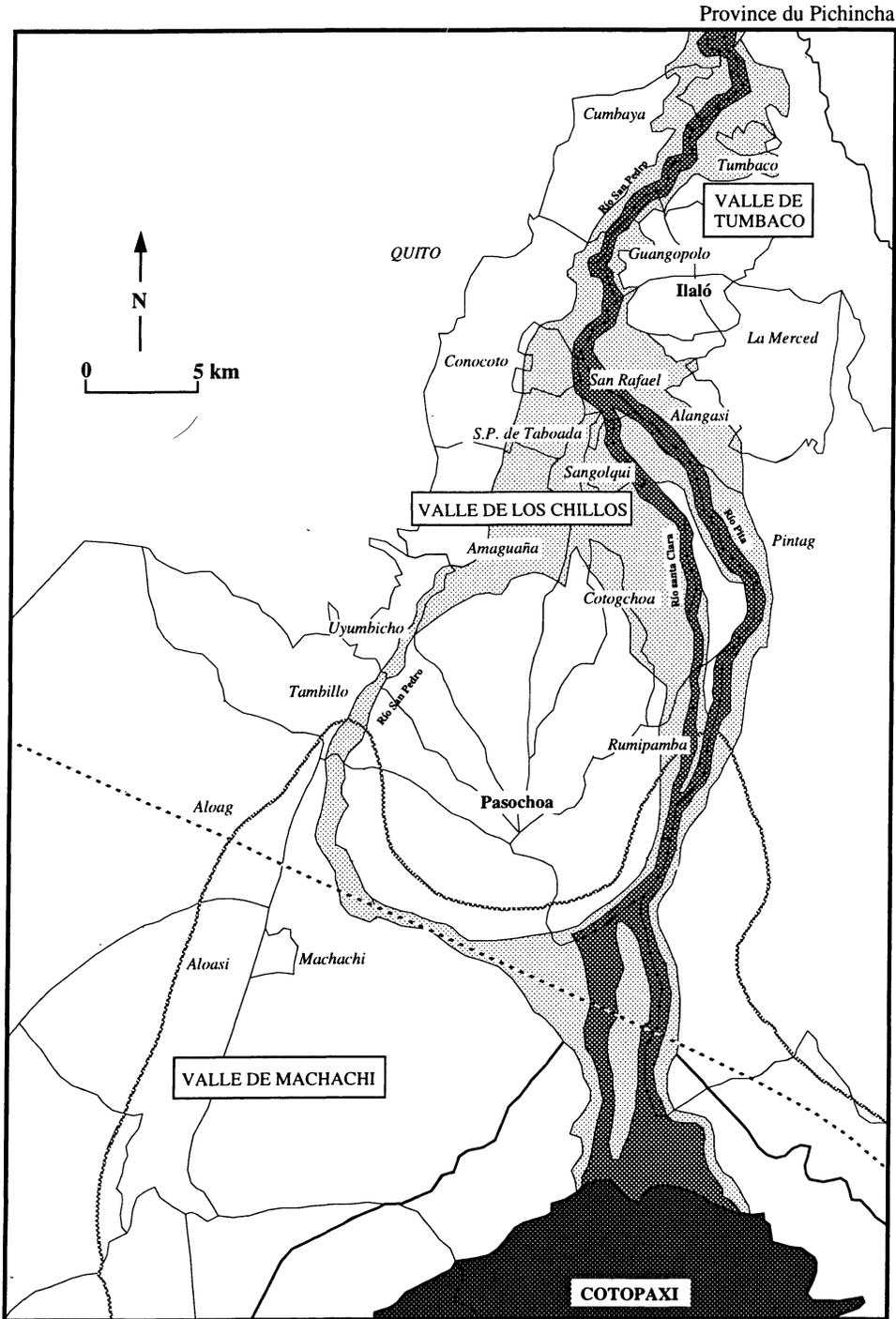
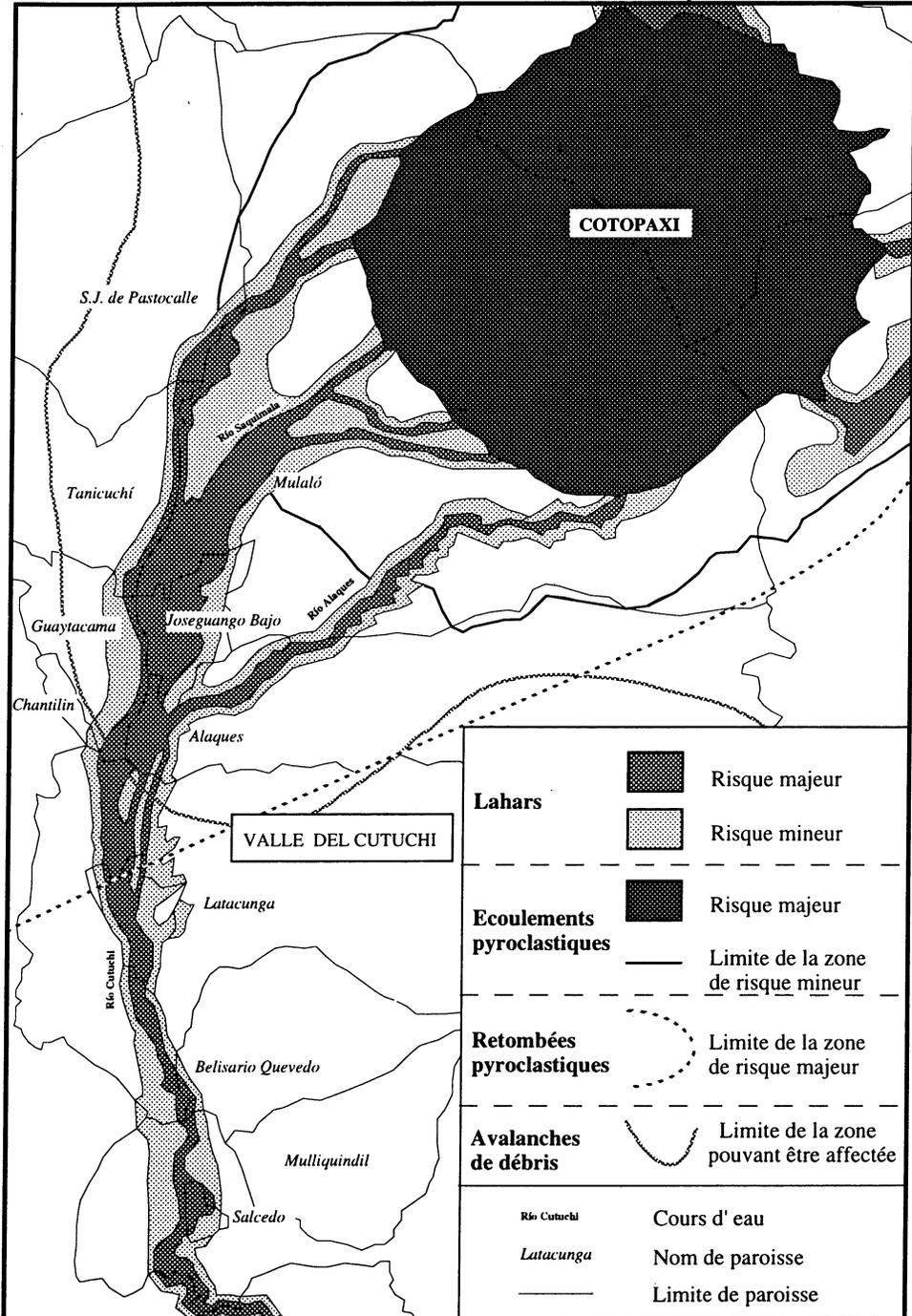


Fig. 1 - Carte des menaces potentielles du volcan Cotopaxi (d'après la carte établie par l'École Polytechnique Nationale de Quito, 1988).



Indonésie en 1982, village de Murillo exposé à une nouvelle menace du Nevado del Ruiz en 1988) (4). À ces situations touchant les collectivités dans leur ensemble, il convient d'ajouter tous les comportements individuels non rationnels, liés entre autres au besoin de confirmation des messages, à l'état de l'environnement, au fait que la famille soit réunie ou pas, au souci que procure la sauvegarde de certains biens (animaux notamment), à l'expérience antérieure, aux connaissances préalables des risques et des moyens de s'en protéger, aux préjugés ou encore au fatalisme (5). La relation déterministe stimulus / réaction (stimulus de l'environnement ou lié aux messages d'alerte quelle que soit la forme) n'est donc ni directe ni optimale, car il existe de nombreux processus médiateurs entre les deux, constituant autant de facteurs de vulnérabilité.

L'un des objectifs des études réalisées dans la région du Cotopaxi a donc été d'identifier et d'analyser ces processus médiateurs, et d'en réaliser une cartographie thématique, puis synthétique. L'analyse des travaux portant sur la question a permis de tracer trois axes de recherche correspondant aux processus guidant la prise de décision des individus dans le choix d'adaptations, notamment en période d'urgence : la perception du risque, la connaissance des moyens de protection et l'existence de facteurs contraignants d'ordre technique et social (tableau 1). Les travaux de recherche se sont appuyés sur une longue campagne d'enquêtes menée auprès de 2 200 personnes habitant les régions exposées au volcan Cotopaxi. Toutes ces personnes ont été localisées dans l'espace au sein de 116 unités territoriales de base (Fig. 3), délimitées en fonction de la nature de la menace et de

Etapes du processus	Processus d'adaptation à moyen ou long terme (1)	Processus d'adaptation à très court terme (2) (Période d'urgence avec alerte)	Axes de recherche
Identification de la menace	Si conscience d'une menace, appréciation de sa probabilité d'occurrence et de sa magnitude	Confirmation de l'exactitude du message concernant la menace	Perception du risque (de la menace et du risque personnel)
Estimation du risque	Estimation des conséquences possibles pour soi et définition du niveau de risque personnel		
<i>Poursuite du processus au dessus d'un certain seuil de perception du risque (variable selon les personnes)</i>			
Recherche des adaptations	Considération de l'éventail des solutions possibles parmi celles qui sont connues	Considération des solutions proposées par les messages et/ou d'autres solutions	Connaissance des moyens de protection
Evaluation des adaptations	Evaluation selon: <ul style="list-style-type: none"> • la compatibilité avec les caractéristiques de l'environnement • la faisabilité technique • la rentabilité de l'opération (efficacité, coût) • la conformité sociale (lois, traditions, etc.) 	Evaluation selon: <ul style="list-style-type: none"> • la possibilité d'adopter une ou plusieurs solutions selon les circonstances du moment • l'efficacité supposée des différentes solutions <i>et, si les solutions sont jugées possibles et efficaces,</i> <ul style="list-style-type: none"> • les aspects socio-culturels 	Facteurs contraignants d'ordre technique et social

En fonction de l'évaluation, choix de l'adaptation qui offre le meilleur résultat

(1) Selon le modèle de Kates (1970), repris dans ses grandes lignes par Burton et al. (1978) et Warrick (1979)

(2) Selon le modèle de Perry (1983)

Tab. 1 - Processus de prise de décision des individus dans le choix d'adaptations, en prévision d'une catastrophe naturelle.

(4) Pour plus de détails sur ces exemples, voir D'Ercole, 1991. Voir également Voight, 1990.

(5) Pour plus d'informations sur ces questions, voir notamment UNDRO, 1987, mais aussi de nombreux autres ouvrages et publications (D'Ercole, 1991, bibliographie)

Province du Pichincha

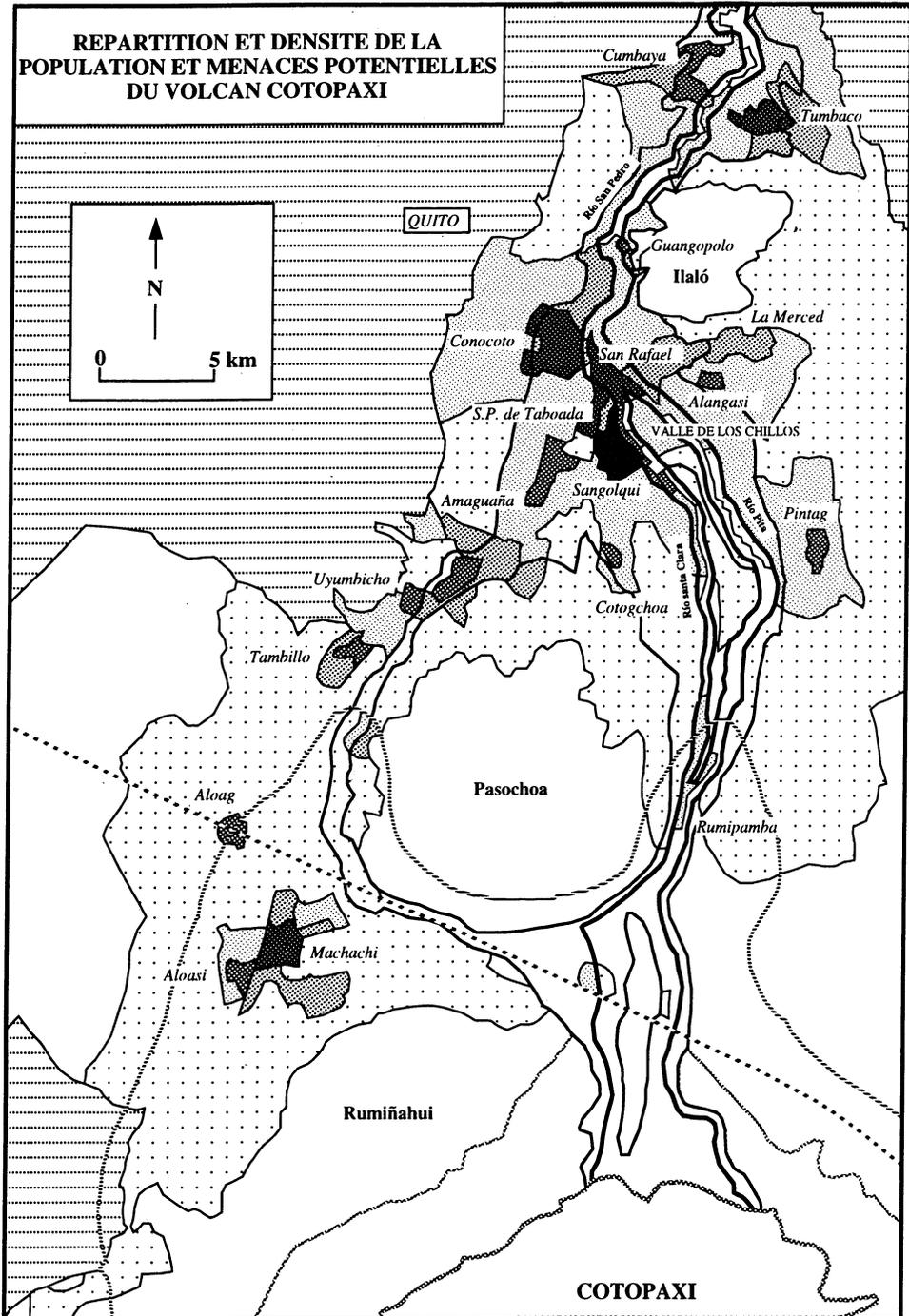
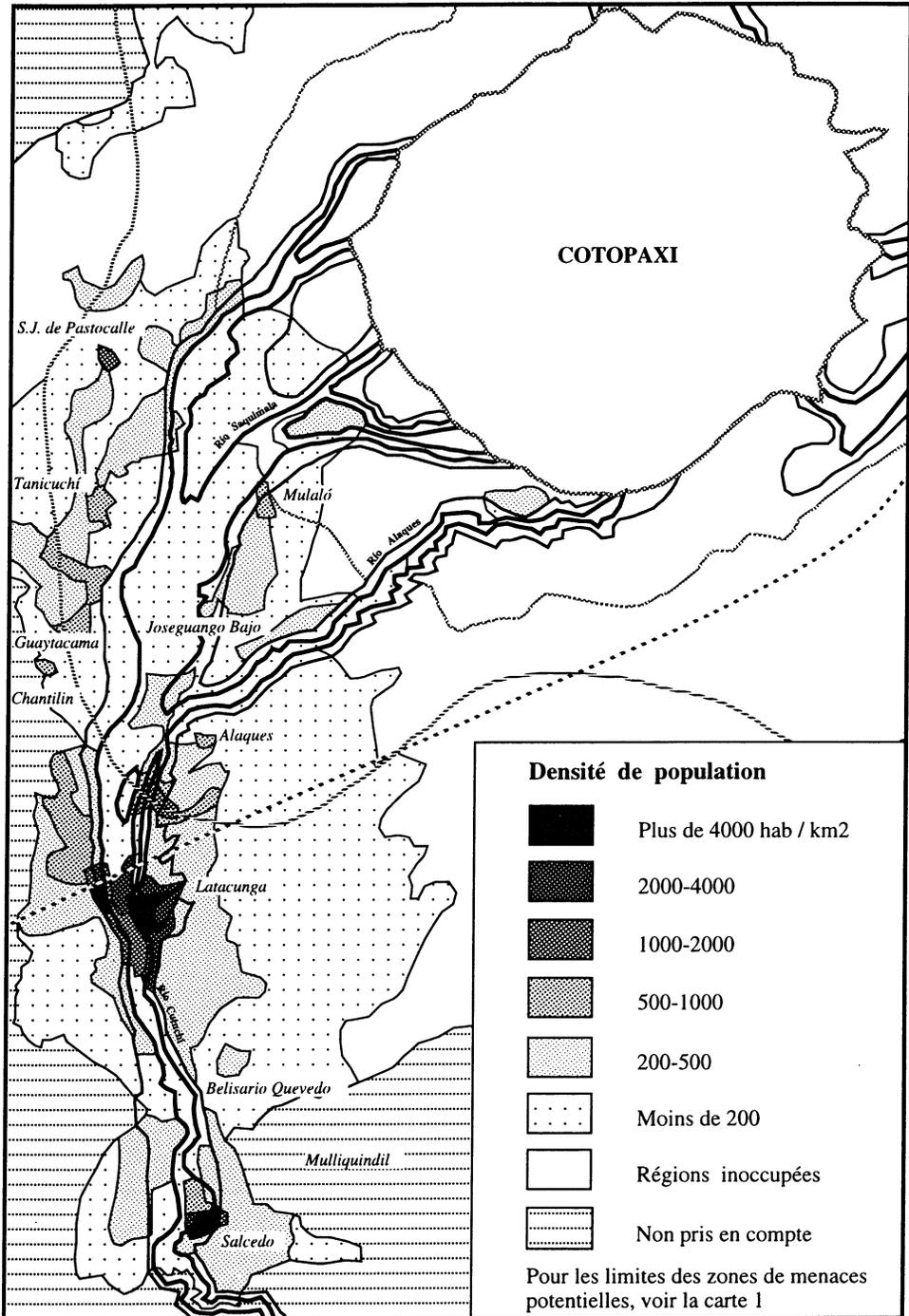


Fig. 2 - Répartition et densité de la population et menaces potentielles du volcan Cotopaxi.



Province du Pichincha

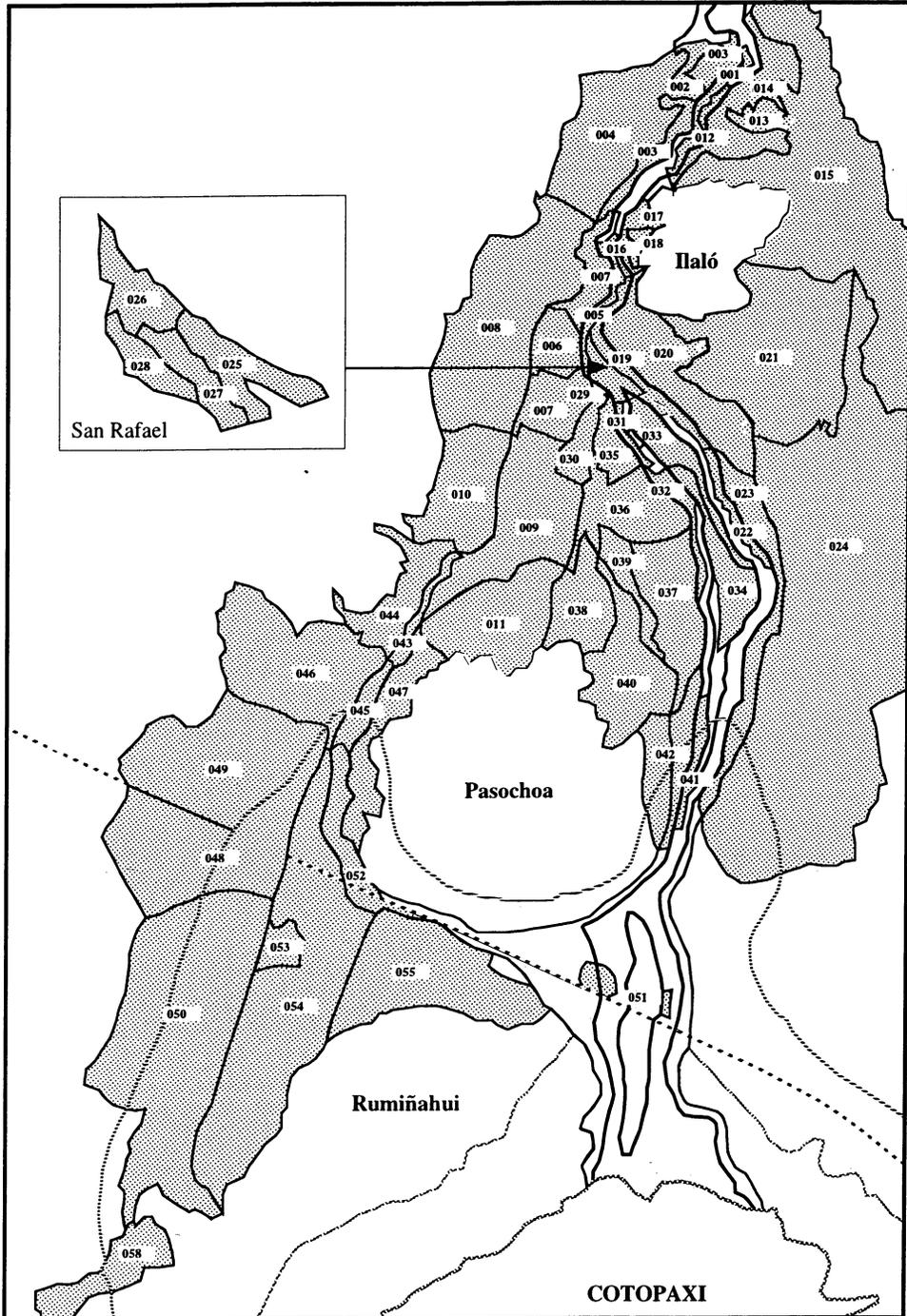
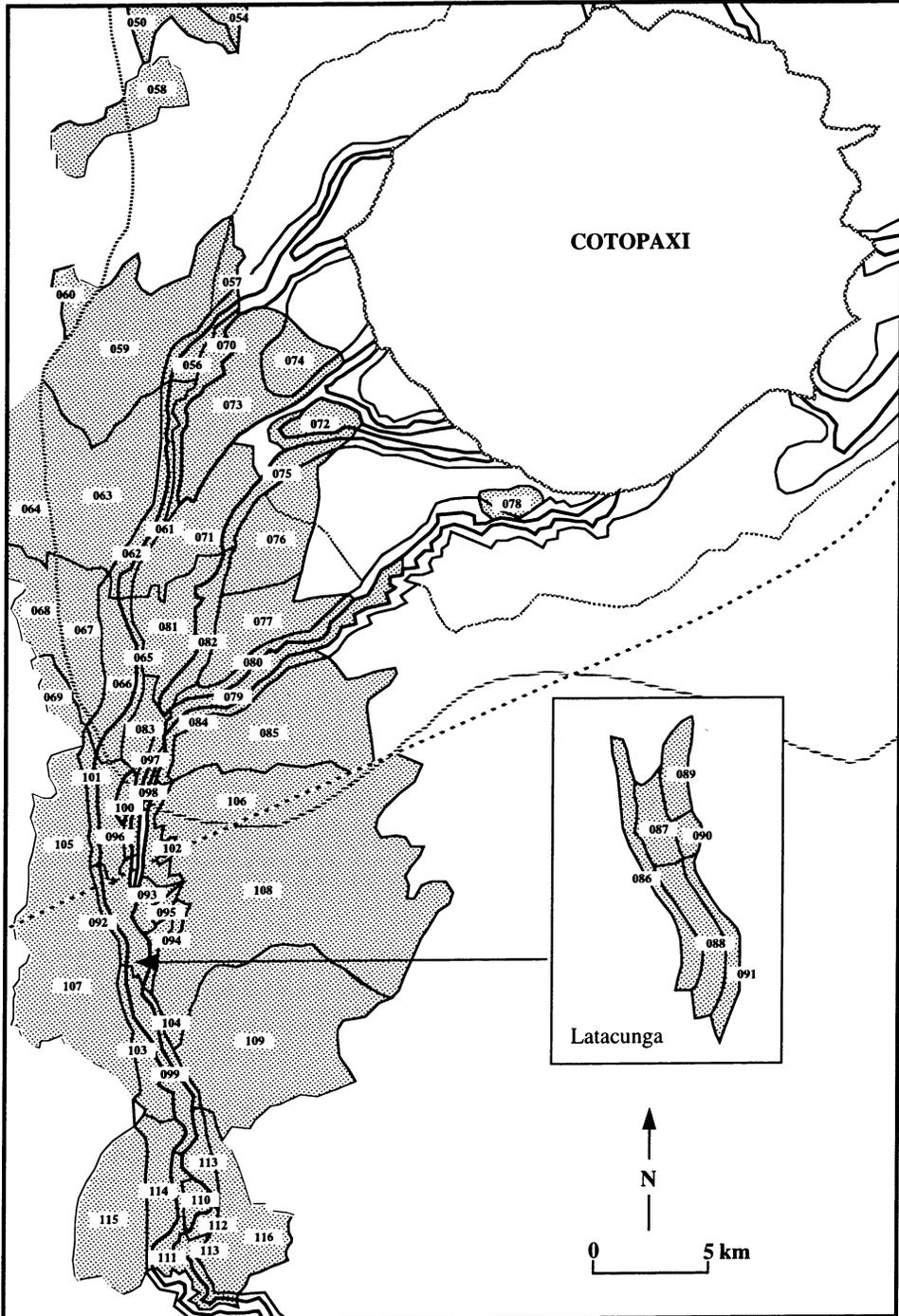


Fig. 3 - Les 116 unités territoriales de base de la région d'étude.



l'intensité du risque, des subdivisions administratives (les paroisses, *parroquias*, correspondant aux communes françaises), du type de population (urbain, péri-urbain, rural villageois, rural des haciendas, rural profond) et de sa densité.

Les réponses au questionnaire proposé ont permis de déterminer des degrés de perception du risque, de connaissance des moyens de protection et d'existence de facteurs contraignants d'ordre social vis-à-vis d'une éventuelle évacuation (tableau 2). Ces variables de premier ordre ont été analysées et cartographiées, par exemple :

- la carte de la perception du risque prenant en compte l'ensemble des secteurs enquêtés et montrant clairement la diminution de la perception avec la distance (6) ainsi que des différences très sensibles entre les provinces du Pichincha et du Cotopaxi (Fig. 4) ;

- la carte de la connaissance des moyens de protection face à une éruption du type de celle du 26 juin 1877 mettant notamment en évidence les erreurs possibles dans le choix des voies d'évacuation ;

- pour ce qui concerne les facteurs contraignants d'ordre social, les cartes des comportements déclarés dans l'hypothèse d'un ordre d'évacuation, et de la confiance vis-à-vis de personnes, organismes ou institutions susceptibles d'intervenir dans la gestion d'une crise (distinction faite entre les intervenants intérieurs et extérieurs à la paroisse).

Ces variables de premier ordre ont également été croisées avec une douzaine de variables explicatives : variables de localisation, socio-économiques, portant sur l'information des populations et ses sources (tableau 2). Les facteurs contraignants d'ordre technique ont été traités séparément et ont également débouché sur la réalisation de documents cartographiques (accessibilité de la population par radio ou par contact direct).

Nous avons enfin tenté, à partir de ces données et documents de base, de réaliser des cartes synthétiques des facteurs de vulnérabilité analysés. Comme pour le reste de l'étude, l'objectif était double : informer et développer une méthodologie. Suivant des méthodes différentes, deux cartes ont ainsi été réalisées : une carte des facteurs de vulnérabilité obtenue à l'aide d'une analyse factorielle et une carte intégrée des facteurs de vulnérabilité bâtie suivant une méthode simple de superposition. Une troisième carte, plus opérationnelle et plus lisible pour un public non initié, fournit enfin une orientation pour des actions de préparation des populations.

2, CARTOGRAPHIE DES FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ À PARTIR D'UNE ANALYSE FACTORIELLE

2. 1. Méthodologie

La zone de risque majeur de lahars a été retenue pour cette première carte synthétique qui s'appuie sur une technique d'analyse des données multivariée, l'analyse factorielle. Celle-ci met en relation 616 personnes interrogées dans cette zone, avec les trois variables qui constituent le fondement de la recherche : la perception du risque, la connaissance des

(6) À 5 km du volcan, plus de 65% de la population interrogée a conscience d'être personnellement en danger mais ce chiffre tombe à moins de 20% à plus de 40 km du volcan. Or, compte tenu des caractéristiques de l'écoulement des lahars, le danger n'est pas forcément proportionnel à la distance. Rappelons qu'Armero se situait à environ 50 km du Nevado del Ruiz.

VARIABLES	DESIGNATION DES MODALITES ET CODIFICATION		
VARIABLES DE PREMIER ORDRE (facteurs de vulnérabilité)	Perception du risque personnel	1- Elevée à très élevée 2- Relativement élevée 3- Relativement faible 4- Faible à très faible	
	Connaissance des moyens de protection	5- Indication de mesures efficaces 6- Indication de mesures pouvant être dangereuses 7- Ignorance déclarée	
	Facteurs contraignants d'ordre social	8- Pas ou peu de facteurs de ce type 9- Existence (évacuation sous condition) 10- Existence (refus de l'évacuation)	
AUTRES VARIABLES RETENUES POUR L'ETUDE (variables explicatives)	Variables de localisation		
	Distance au volcan	<ul style="list-style-type: none"> • 15-25 km • 26-35 km • 36-45 km • plus de 45 km 	
	Obstacles topographiques masquant le Cotopaxi	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun obstacle • Obstacles mineurs • Obstacles majeurs 	
	Variables socio-économiques		
	Niveau socio-économique	<ul style="list-style-type: none"> • Faible à très faible • Relativement faible • Relativement élevé • Elevé à très élevé 	
	Activité professionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Prof. libérales, enseignants • Personnel administratif • Commerçants • Artisans • Ouvriers • Pers. de services • Agriculteurs 	
	Type de population	<ul style="list-style-type: none"> • Urbain • Péri-urbain • Rural villageois • Rural haciendas • Rural "profond" 	
	Sexe	<ul style="list-style-type: none"> • Homme • Femme 	
	Age	<ul style="list-style-type: none"> • 15-29 ans • 30-44 ans • 45-59 ans • 60 ans et plus 	
	Nombre de personnes dans le ménage	<ul style="list-style-type: none"> • 1 ou 2 • 3 ou 4 • 5 ou 6 • 7 et plus 	
	Temps de résidence	<ul style="list-style-type: none"> • Moins de 5 ans • 5-14 ans • 15 et plus (a vécu ailleurs) • Depuis toujours 	
	Confiance	<ul style="list-style-type: none"> • Personne ou famille • Intérieur paroisse • Intérieur et extérieur • Extérieur paroisse 	
	Information et sources		
	Connaissance de la catastrophe du Nevado del Ruiz	<ul style="list-style-type: none"> • N'en a jamais entendu parler • En a entendu parler 	
	Source d'information sur le Cotopaxi	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune • Conversations • Médias • Conversations et médias • Ecole, protection civile 	

Tab. 2 - Principales variables utilisées pour l'étude de la vulnérabilité des populations exposées à l'activité du Cotopaxi.

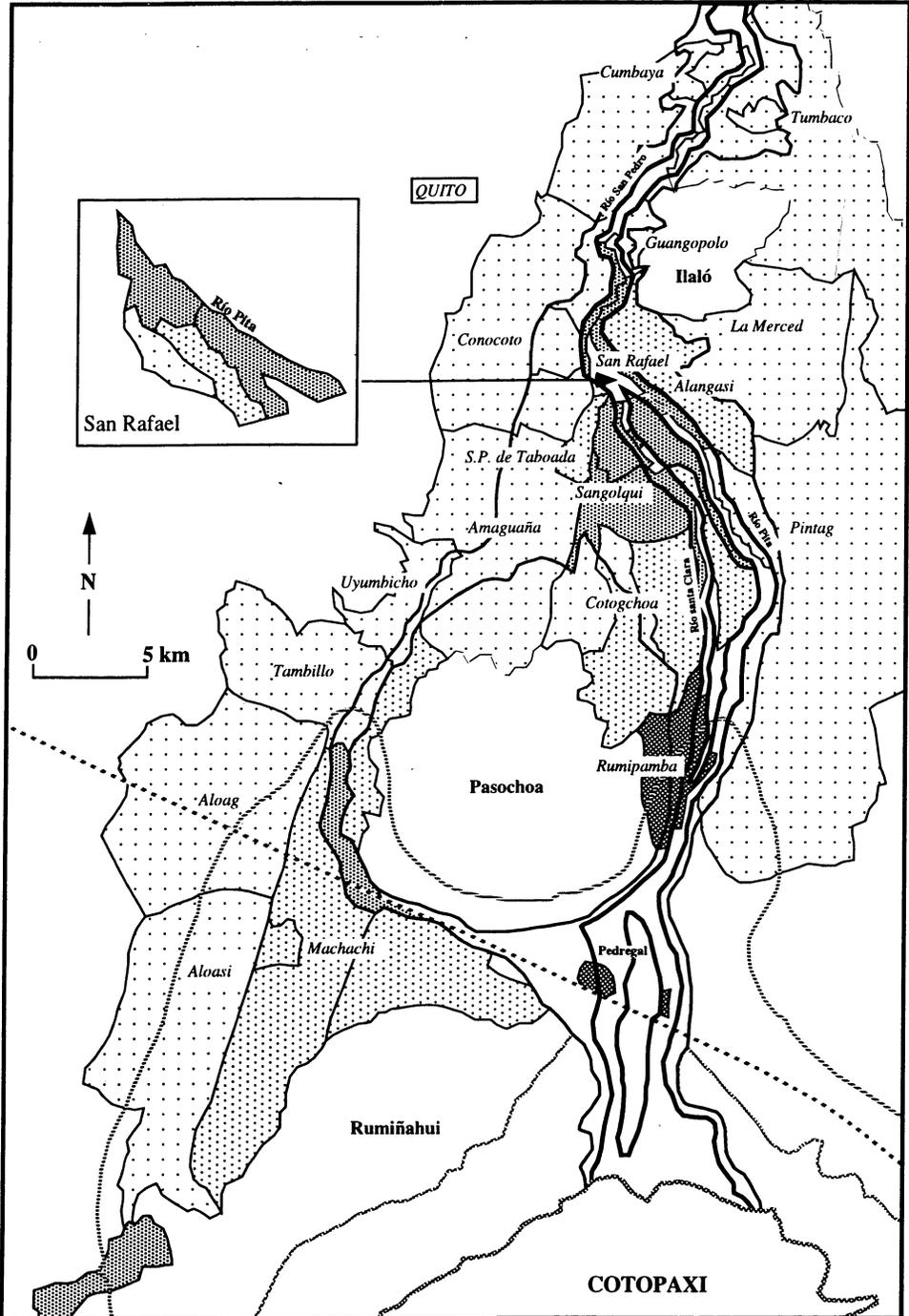
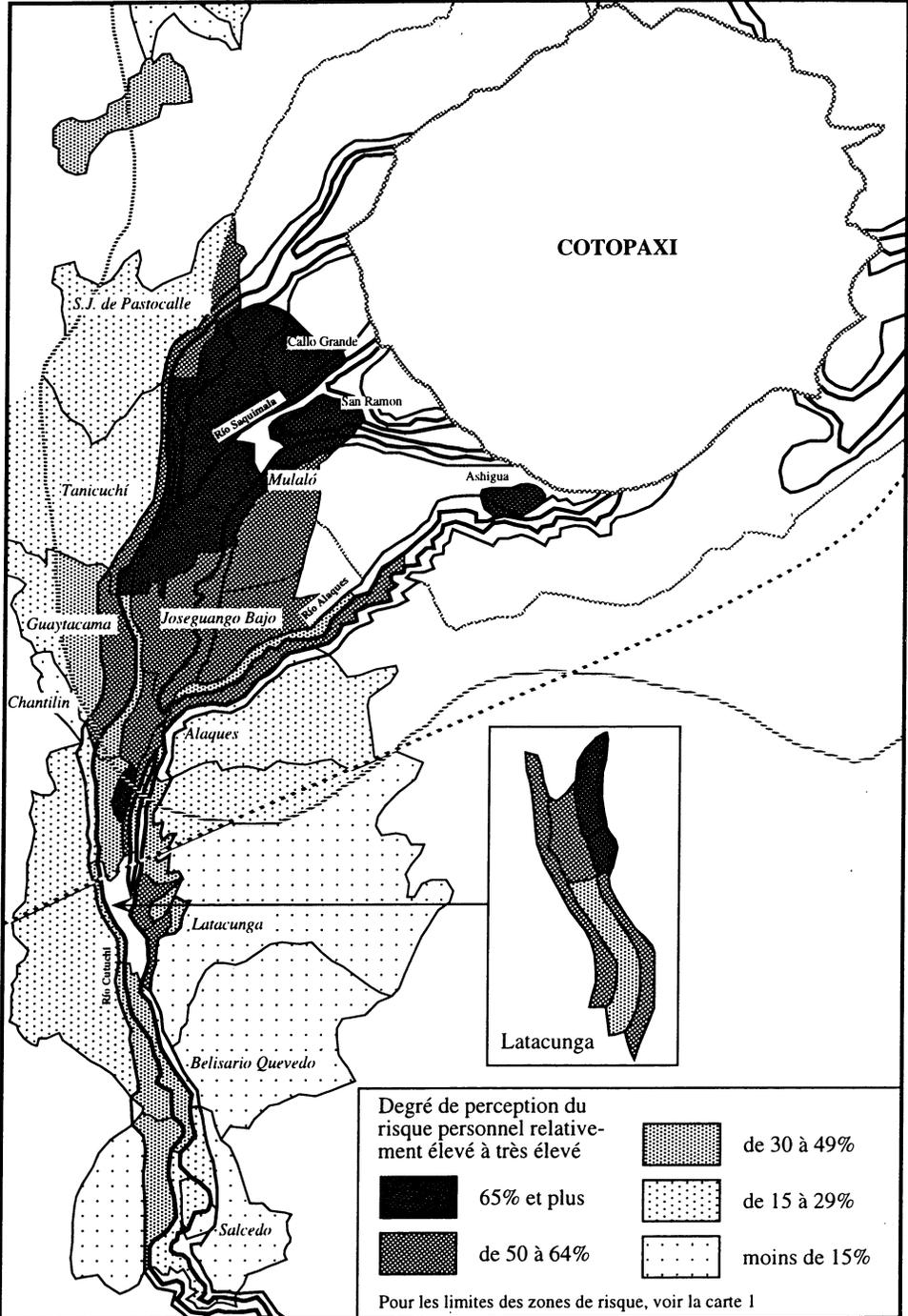


Fig. 4 - Carte de la perception du risque personnel lié à une éventuelle éruption du volcan Cotopaxi.



moyens de protection et l'existence de facteurs contraignants d'ordre social (7). Ces trois variables, décomposées en 10 modalités (tableau 2), sont des variables qualitatives ordinales. Le choix du traitement statistique s'est ainsi porté sur une analyse factorielle des correspondances (A.F.C.).

La figure 5 représente le plan factoriel correspondant à l'échantillon statistique. Seuls les deux premiers axes ont été retenus, car ils présentent l'avantage de concentrer le plus d'information et de prendre fortement en compte les trois variables retenues. Il s'agit en fait d'un plan semi-brut dans la mesure où, dans le nuage de points, les modalités ont été distinguées des individus, et ces derniers ont été figurés selon la province et la paroisse d'origine. Cependant, en dépit d'une opposition facilement observable entre les provinces du Pichincha et du Cotopaxi, le document reste difficilement interprétable. C'est pourquoi, il s'est avéré utile de déterminer au préalable, sur le plan factoriel, des aires répondant à des types de vulnérabilité destinés, dans un deuxième temps, à être mis en relation avec les individus.

Dans la figure 6, les points associés aux modalités respectives de chacune des trois variables ont été reliés et un sens, répondant à une vulnérabilité croissante, a été donné aux courbes ainsi construites. En fonction de l'emplacement et du sens des modalités, ont été tracées, de manière empirique, neuf aires correspondant à autant de types de vulnérabilité. Si l'on considère les facteurs contraignants d'ordre social comme étant les facteurs de comportement les plus problématiques du secteur d'étude (8), la vulnérabilité croît du type 1 au type 7, les types 8 et 9 n'étant que des types de transition. Il devient alors plus facile d'interpréter le plan factoriel semi-brut (Fig. 5), du moins à l'échelle provinciale, et possible d'envisager une étude plus fine, à celle des paroisses.

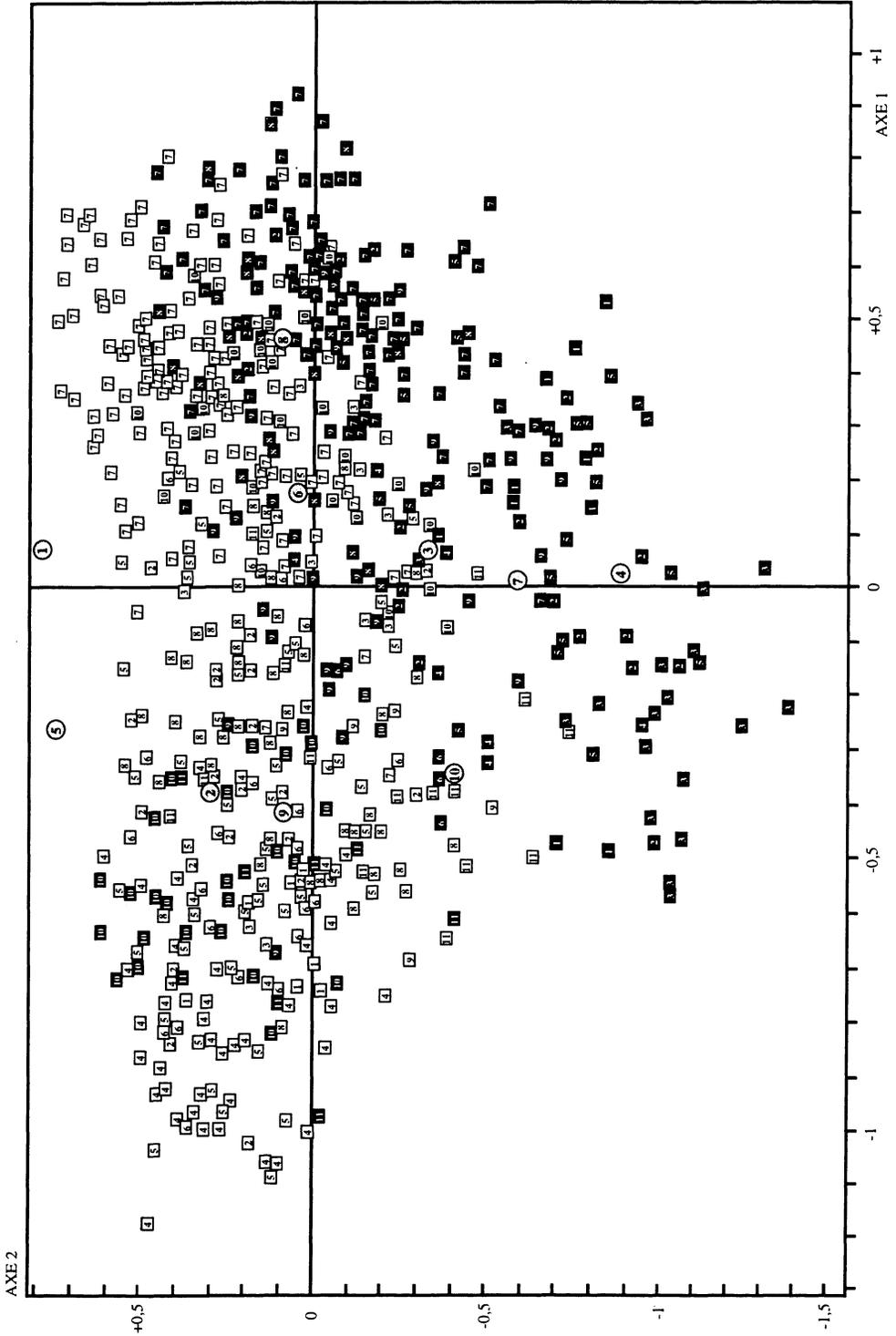
3. 2. Les contrastes à l'échelle des provinces

À l'échelle provinciale, les contrastes sont particulièrement sensibles. La vulnérabilité de la population de la province du Pichincha se caractérise globalement par une faible perception du risque et l'ignorance des moyens de protection mais, en contrepartie, l'impact potentiel des facteurs contraignants d'ordre social est plutôt faible. Dans la province du Cotopaxi, la perception du risque est plutôt élevée, les moyens de protection un peu mieux ou plutôt moins mal connus, mais le comportement en cas d'ordre d'évacuation risque de poser problème en raison du poids des facteurs contraignants d'ordre social. Deux explications majeures permettent de comprendre cette différence.

D'une part, compte tenu d'une sensibilisation très insuffisante de la population à la question des risques, la perception du risque est élevée là où la mémoire collective des catastrophes passées est encore présente. C'est globalement le cas dans la province du

(7) En fait l'analyse a porté sur un plus grand nombre de variables : les trois variables de premier ordre qui ont permis la réalisation cartographique et qui seules, sont retenues dans cet article, mais aussi 12 autres variables de second ordre, explicatives (tableau 2), qui ont par ailleurs permis de réaliser une typologie sociale de la vulnérabilité (D'Ercole, 1991).

(8) L'enquête a par ailleurs indiqué que 50% des personnes interrogées dans la zone de risque majeur de lahars émettent de sérieuses réserves quant à l'éventualité d'une évacuation ou déclarent qu'elles la refuseraient quelles que soient les conditions. Parmi les principales raisons évoquées, outre les attitudes fatalistes : les problèmes d'ordre logistique concernant l'évacuation elle-même, mais surtout les conditions de vie durant la période d'évacuation, le souci posé par les biens possédés (les animaux notamment), la crainte du pillage, celle de l'expropriation, l'absence de confiance vis-à-vis de ceux qui émettraient l'ordre d'évacuation, etc.



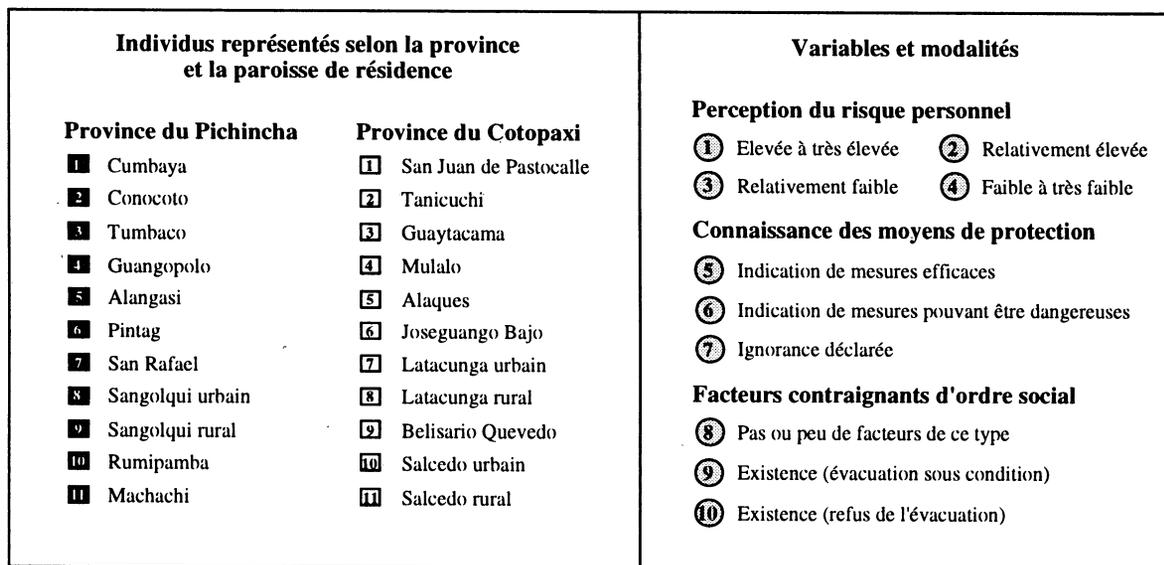
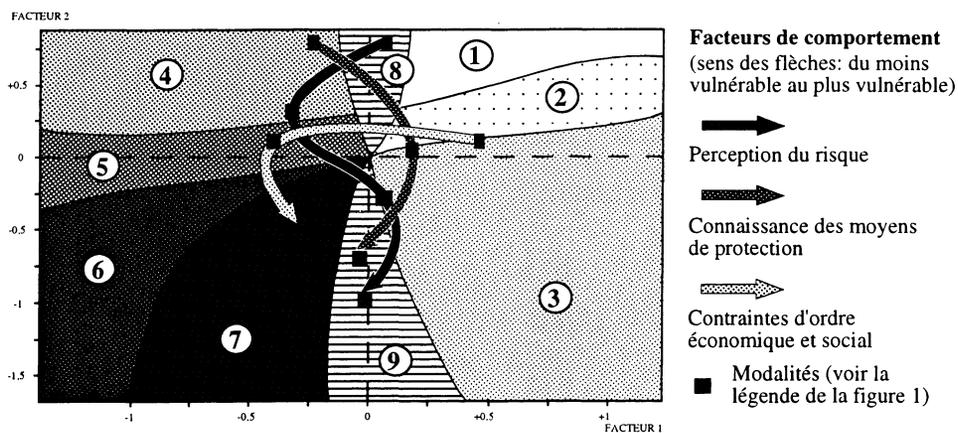


Fig. 5 - Classification par A.F.C. de la population interrogée dans la zone de risque majeur de lahars (plan factoriel semi-brut constitué par les axes 1 et 2).



Types	Perception du risque	Moyens de protection efficaces	Facteurs contraignants d'ordre social	Commentaires
①	Elevée à très élevée	Plutôt connus	Impact potentiel relativement faible	Vulnérabilité la moins prononcée
②	Plutôt élevée	Plutôt ignorés		Vulnérabilité essentiellement liée aux facteurs cognitifs
③	Faible à très faible	Ignorés		
④	Elevée à très élevée	Plutôt connus	Impact potentiel élevé (conditions données à l'ordre d'évacuation)	Vulnérabilité essentiellement liée aux facteurs contraignants d'ordre social
⑤	Plutôt élevée	Plutôt ignorés		
⑥	Faible à très faible	Ignorés	Impact potentiel très élevé (refus de l'ordre d'évacuation)	Vulnérabilité la plus prononcée liée à la fois aux facteurs cognitifs et aux facteurs contraignants
⑦	Faible à très faible	Ignorés		
⑧	Plutôt élevée à très élevée	Plutôt connus	Transition entre types 1/2 et types 4/5	
⑨	Faible à très faible	Ignorés	Transition entre type 3 et type 7	

Fig. 6 - Les types de vulnérabilités selon les données de l'analyse factorielle.

Cotopaxi déjà fortement peuplée lors des dernières grandes éruptions. Cette mémoire collective est pratiquement inexistante dans la province du Nord, notamment dans le bassin de Los Chilllos pratiquement vide d'hommes il y a encore quelques décennies. Elle est utile pour maintenir la perception du risque à un niveau relativement élevé, elle permet de se

souvenir du danger, mais elle n'est pas suffisamment fidèle ou adaptée aux conditions de vie actuelles pour fournir des solutions viables de protection en cas de crise. Et, dans ce domaine, l'opposition entre les deux provinces est moins nette.

D'autre part, ces provinces se différencient par leur composition sociale. La population des régions menacées de la province du Pichincha est plus urbaine, du moins dans les mentalités, car très proche de Quito d'où elle provient très souvent, et le niveau économique et social est globalement plus élevé. Mis à part la capitale provinciale et la petite ville de Salcedo, la population méridionale est essentiellement paysanne, plus pauvre. Les communautés paysannes indiennes y sont nombreuses et la méfiance vis-à-vis des initiatives extérieures est souvent très forte. Malgré une perception du risque plus élevée, l'évacuation serait plus délicate à mener dans cette province (d'après l'enquête, plus de 60% des personnes interrogées dans cette province sont susceptibles de poser problème en cas d'évacuation, alors que ce chiffre est de l'ordre de 40% dans la province du Pichincha).

3. 3. Les types paroissiaux de vulnérabilité

Ces premières observations, très générales, ont été nuancées à l'échelle des paroisses. Pour cela, ont été disposés, sur un fond de carte paroissial, les plans factoriels représentant la répartition des nuages de points des individus de chacune des paroisses considérées (Fig. 7). De plus, à Sangolqui, Latacunga et Salcedo, la population urbaine a été distinguée de la population rurale. Les aires de vulnérabilité étant également représentées, il est alors possible de discerner des types paroissiaux de vulnérabilité. Les mêmes phénomènes ont été présentés d'une manière différente en disposant sur le plan factoriel les noms de chacune des paroisses approximativement sur le centre de gravité du nuage de points, ce qui donne un résultat un peu moins précis mais plus synthétique (Fig. 8). Quatre grands types paroissiaux de vulnérabilité peuvent être distingués.

3. 3. 1. Le type urbain

Les moins vulnérables sont manifestement les secteurs urbains des paroisses de Latacunga, Sangolqui et Salcedo, dont plus de 15 000 habitants vivent en zone de risque majeur de lahars. Néanmoins, ces villes présentent des degrés de vulnérabilité sensiblement différents. Le poids des facteurs contraignants peut être considéré comme faible dans chacun des cas, mais la différence est liée à la perception du risque et à la connaissance des moyens de protection qui rend Salcedo plus vulnérable que Sangolqui, et Sangolqui plus vulnérable que Latacunga. Cet ordre peut être rattaché à la mémoire locale des conséquences des éruptions du Cotopaxi. Latacunga est la ville la plus fréquemment affectée et plusieurs centaines de ses habitants ont péri sous l'effet des lahars aux XVIII^e et XIX^e siècles. Sangolqui a essentiellement connu des dégâts matériels en marge de la ville de l'époque, qui ne bordait pas encore tout à fait le rio Santa Clara susceptible d'acheminer les lahars. La ville de Salcedo n'a jamais été touchée directement, mais les lahars ont traversé les terrains inoccupés alors, entre le noyau ancien et le rio Cutuchi. Ces terrains font, depuis une quinzaine d'années, l'objet de la convoitise de promoteurs et les constructions se développent très rapidement.

3. 3. 2. *Le type péri-urbain*

Le deuxième type, représentatif d'une vulnérabilité plus accentuée que dans le cas précédent, est représenté par un ensemble de paroisses de la province du Pichincha localisées dans les bassins de Los Chillos et de Tumbaco. Il s'agit de San Rafael, Cumbaya, Guangopolo, Conocoto, Alangasi, de la partie rurale de Sangolqui et, à un moindre degré, de la paroisse de Tumbaco. Le cas de San Rafael, sensiblement différent, justifie la distinction de deux sous-types :

- type péri-urbain pur

Ce type est représenté par la paroisse de San Rafael dont plus de 5 000 personnes sont installées dans la zone de risque majeur de lahars. La population issue du noyau originel est très faible par rapport à celle qui, en peu d'années, est venue depuis Quito s'installer dans cette paroisse au cadre et au climat particulièrement agréables. Le niveau socio-économique est élevé, comme l'est celui de la confiance vis-à-vis des organismes ou institutions extérieures à la paroisse, susceptibles d'intervenir en cas de crise. San Rafael est d'ailleurs la seule paroisse du secteur d'étude dont la population accorde une plus grande confiance aux institutions extérieures plutôt qu'à celles de l'intérieur, ce qui s'explique par son caractère essentiellement résidentiel et une vie professionnelle au sein de la capitale. Cette population ne devrait pas, logiquement, s'opposer à un ordre d'évacuation. Elle demeure cependant vulnérable dans la mesure où l'absence d'une quelconque tradition orale fait que la conscience du risque reste globalement faible. Mais le plus inquiétant, peut-être, est l'ignorance des moyens de protection dans un secteur parcouru par plusieurs rios susceptibles d'acheminer le danger et de générer de graves problèmes logistiques en cas d'urgence.

- type péri-urbain mixte

Également placées dans le type péri-urbain, les autres paroisses (environ 5000 personnes vivant dans la zone de risque majeur de lahars) présentent, à la différence de San Rafael, une population plus diversifiée. Le développement des secteurs péri-urbains est de plus en plus marqué, mais il subsiste un ou plusieurs noyaux anciens de population villageoise ou paysanne. Dans les plans factoriels, les nuages de points des individus traduisent bien ce phénomène et il est manifeste, comme cela peut facilement s'observer à Conocoto, Tumbaco ou Alangasi, qu'au moins deux types de populations cohabitent. Le point commun de toutes ces paroisses (y compris San Rafael) est la faiblesse de la perception du risque et l'ignorance des moyens de protection. En revanche, le comportement en cas d'ordre d'évacuation risque d'être hétérogène, compte tenu de niveaux socio-économiques, d'un degré de confiance vis-à-vis des organismes de protection civile et de modes de vie sensiblement différents. Pour simplifier, à une vie communautaire assez marquée au sein des noyaux villageois s'oppose un individualisme très net des péri-urbains, ce qui peut engendrer des difficultés en cas d'évacuation.

3. 3. 3 *Le type rural à forte mémoire collective*

Le troisième type de vulnérabilité regroupe une majorité de paroisses de la province du Cotopaxi (Mulaló, Tanicuchi, Alaques, Joseguango Bajo, San Juan de Pastocalle, la partie

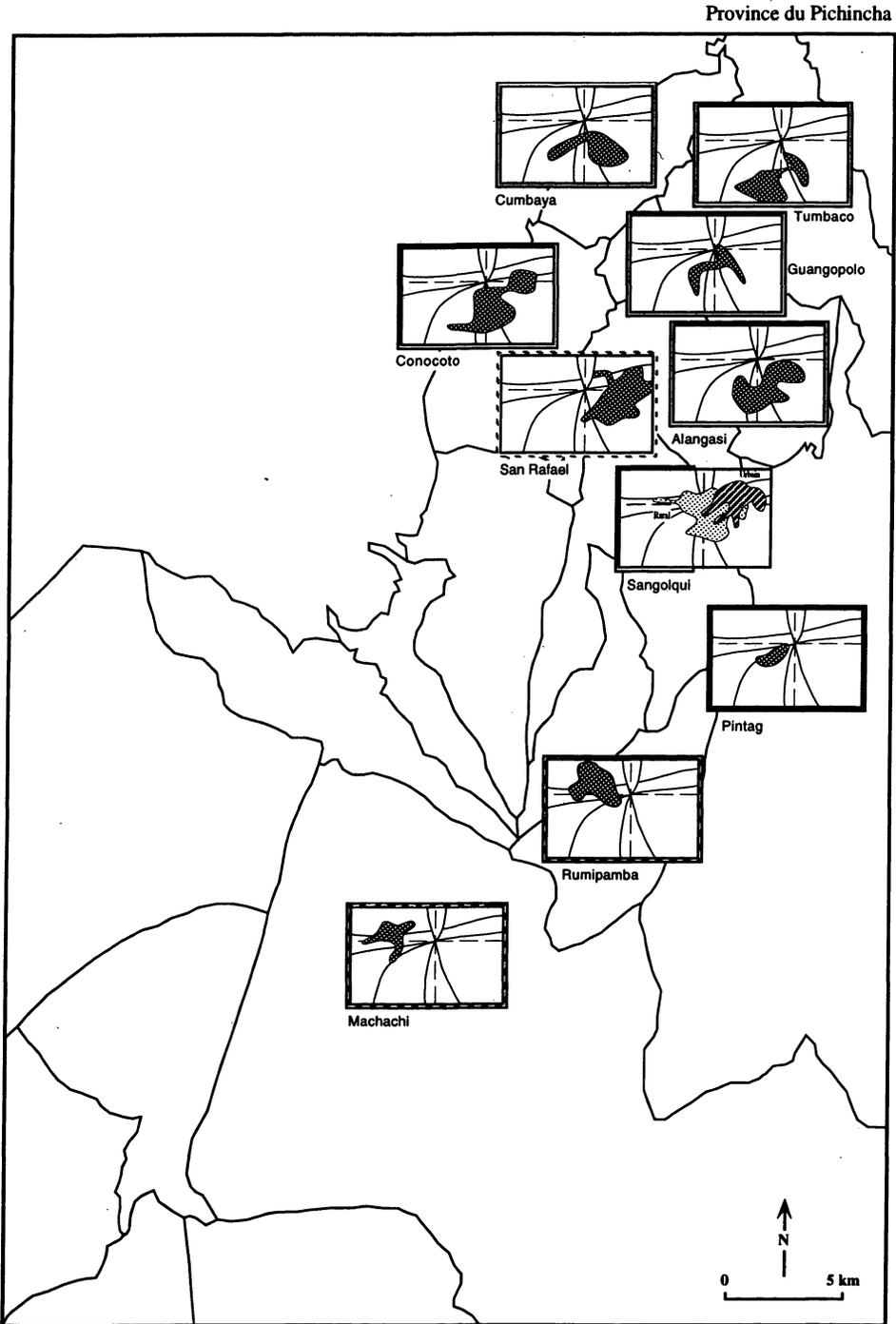
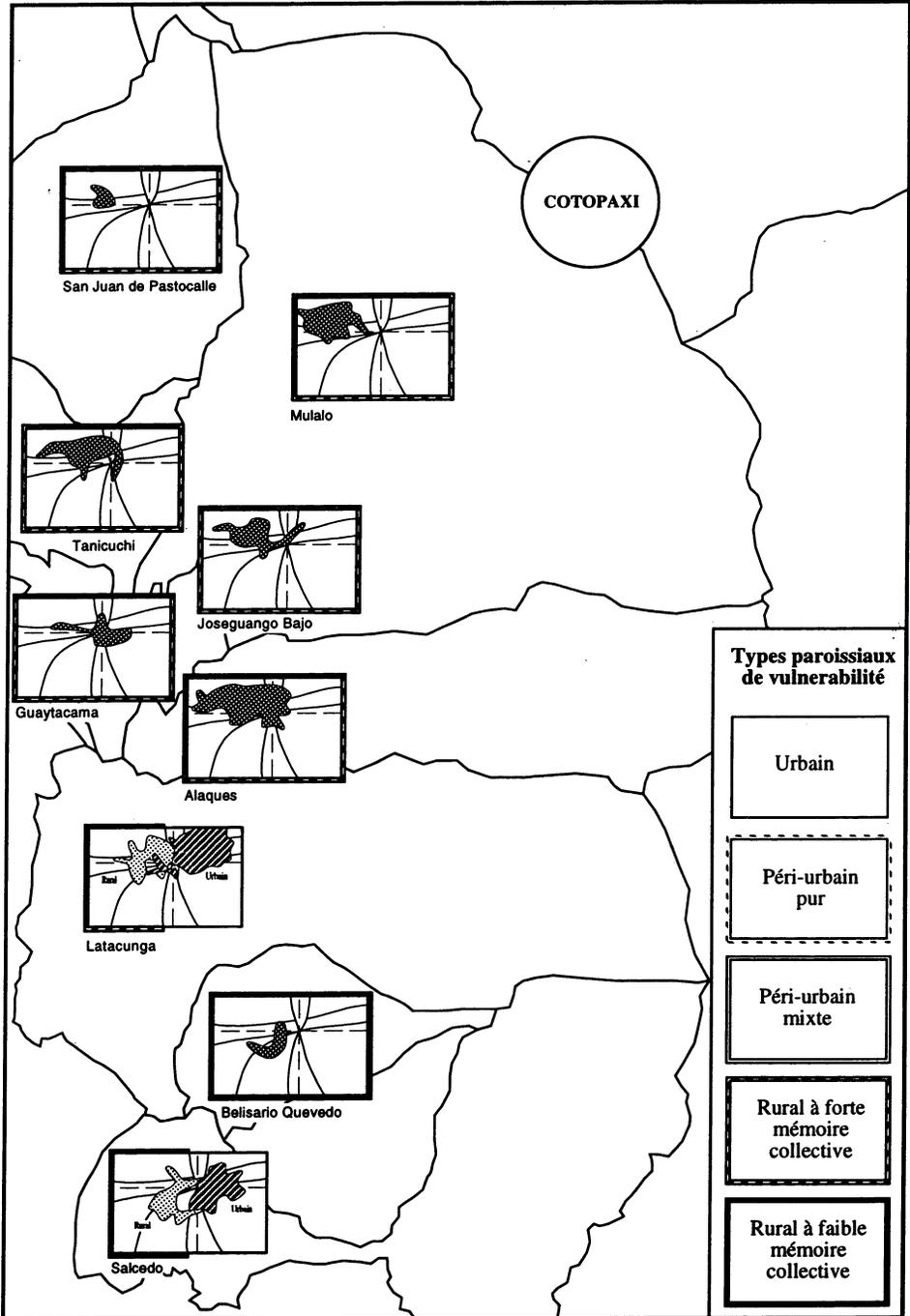


Fig. 7 - Carte des types paroissiaux de vulnérabilité, selon la répartition des nuages de points dans le plan factoriel des individus (zone de risque majeur des lahars).



FACTEUR 2

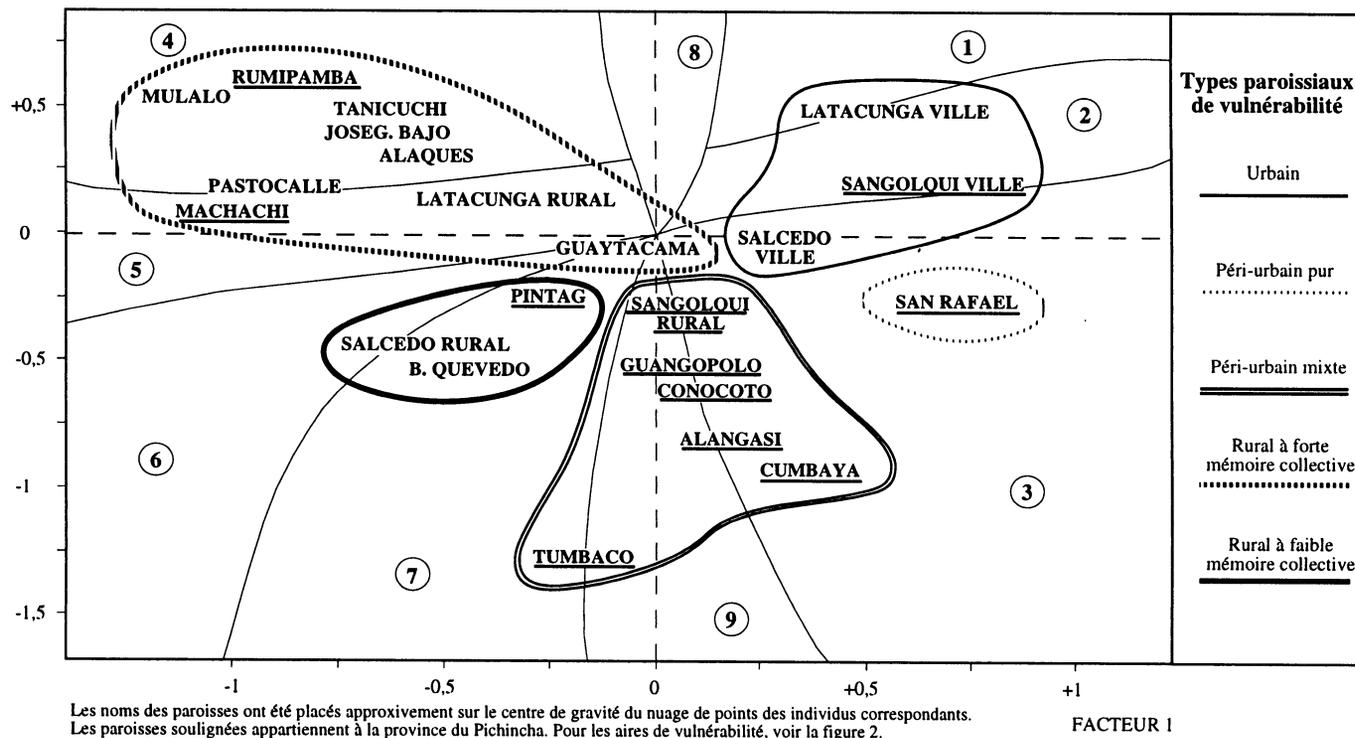


Fig. 8 - Types paroissiaux de vulnérabilité (zone de risque majeur de lahars).

rurale de Latacunga et, dans une certaine mesure, Guaytacama), ainsi que deux paroisses de la province septentrionale (Rumipamba et Machachi dont la zone de risque majeur de lahars, la seule considérée ici, se situe exclusivement en milieu rural). Dans ces paroisses, plus de 6 000 personnes sont installées dans la zone de risque majeur de lahars

Ces paroisses rurales, au peuplement ancien, ont toutes plus ou moins souffert du volcan durant les siècles passés, mais les éruptions ont été plus durement ressenties par certaines d'entre elles, comme Rumipamba et surtout Mulaló. La perception du risque, alimentée par une mémoire collective vivace, y est parfois très élevée. Les moyens de protection sont globalement mieux connus qu'ailleurs, mais il s'agit là d'une appréciation toute relative qui ne doit pas masquer de réelles faiblesses. Néanmoins, le trait de vulnérabilité le plus marquant est lié aux caractéristiques économiques et sociales de la population. En l'état actuel des choses, les refus d'évacuer peuvent être nombreux en cas d'urgence.

Des sous-types peuvent être distingués, le plan factoriel tendant à indiquer que ces problèmes seront moins aigus dans les paroisses les moins isolées socialement et géographiquement (Guaytacama et la partie rurale de Latacunga, les plus proches de la capitale provinciale). Tanicuchi, Alaques et Joseguango Bajo font pour leur part figure de paroisses intermédiaires entre les deux premières et le groupe plus préoccupant constitué par Rumipamba, Mulaló, San Juan de Pastocalle et Machachi.

3. 3. 4. *Le type rural à faible mémoire collective*

Le dernier groupe est représenté par Pintag et surtout Belisario Quevedo et la partie rurale de Salcedo. Ce sont là vraisemblablement les paroisses les plus vulnérables de la région d'étude, du moins en zone de risque majeur de lahars. Les populations occupant cette zone sont heureusement relativement peu nombreuses (moins d'un millier de personnes au total). Mais il faudrait ajouter à cet effectif une partie des habitants d'autres paroisses, notamment celles qui, comme Tumbaco, comportent au moins deux types de populations dont l'un d'entre eux présente, au vu de la répartition des nuages de points, des caractéristiques comparables à celles de Belisario Quevedo ou de la partie rurale de Salcedo. Cette vulnérabilité cumule une faible à très faible perception du risque (la mémoire collective n'a retenu aucune conséquence notable des éruptions passées du Cotopaxi et les populations de ces paroisses sont pour la plupart éloignées du volcan), l'ignorance des moyens de protection et, comme dans le cas précédent, l'existence de facteurs contraignants d'ordre social. De plus, ce type de vulnérabilité est plutôt diffus dans l'espace, ce qui le rend plus difficilement saisissable.

4. LA CARTOGRAPHIE INTÉGRÉE DES FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ

4. 1. **Méthodologie**

La carte intégrée des facteurs de vulnérabilité prend en compte un espace sensiblement plus important que la carte réalisée à partir de l'analyse factorielle. Aux secteurs situés en zone de risque majeur de lahars ont été rajoutés des secteurs soumis à d'autres types de menaces (chutes de cendres, écoulements pyroclastiques), mais dont le risque commun est d'être cernés par les lahars dans l'hypothèse d'une éruption comparable à celle de 1877. Si une évacuation préventive ne peut être pratiquée suffisamment tôt, la population se trouverait ainsi piégée et de nombreuses personnes seraient susceptibles de commettre de

graves erreurs de jugement en tentant par elles-mêmes de trouver un lieu de refuge. Plus de 10 000 personnes vivent dans ce type de zone, ce qui porte à environ 45 000 le nombre de personnes prises en compte par la carte, parmi lesquelles 834 (occupant 46 des 116 secteurs de base) ont été soumises à l'enquête.

Dans ce document, les informations recueillies tout au long de l'étude à propos des facteurs physiques, techniques et humains de vulnérabilité (9) ont été synthétisées et intégrées par un système de superposition de figurés (Fig. 9). Trois niveaux de lecture sont possibles selon le type de figuré employé (voir la légende) :

- Les figurés linéaires (à l'exception des rivières, de la route Panaméricaine et des limites des secteurs) matérialisent les facteurs physiques. Les limites des zones de risque sont directement issues de la carte des menaces potentielles. De plus, ont été indiqués, en divers points, les temps approximatifs de passage des lahars dans l'optique d'une éruption du type de celle de 1877.

- Les trames représentent les facteurs cognitifs et sociaux de vulnérabilité. Un jeu de hachures (verticales lorsque la perception du risque est faible, horizontales lorsque les moyens de protection sont ignorés) et de grisés (ordonnés selon l'accroissement de la vulnérabilité en fonction du comportement déclaré en cas d'ordre d'évacuation et des principaux facteurs sociaux de comportement), permet de distinguer, pour chaque unité territoriale de base, des types précis de vulnérabilité liés à ces facteurs.

Pour conserver une logique de lecture, l'ensemble des possibilités théoriques ont été présentées en légende, mais le nombre de secteurs répondant à une situation réelle a été signalé. Il est ainsi facile d'observer qu'il n'existe aucun secteur affichant une vulnérabilité humaine minimale (forte perception du risque, bonne connaissance des moyens de protection et absence de facteurs contraignants d'ordre social), alors qu'à l'opposé huit secteurs affichent une vulnérabilité maximum.

Par ailleurs, afin de réduire la complexité de la carte, chacun des facteurs considérés comporte deux modalités (connaissance/ignorance, comportement déclaré positif ou négatif, etc.). Le seuil de 50% de la population répondant à chacune des situations a été choisi pour les déterminer (10).

- Les figurés ponctuels correspondent aux facteurs techniques et logistiques de vulnérabilité pris en compte dans cette carte, à la différence de la précédente. Les symboles de forme carrée ordonnent les problèmes d'accessibilité de la population dans l'hypothèse de la diffusion d'un message d'alerte (compte tenu de l'éloignement des principales voies de communications, de la dispersion de la population et de l'accessibilité de cette dernière par radio ou par contact direct). Les symboles circulaires indiquent les principales difficultés logistiques prévisibles dans l'hypothèse d'une évacuation d'urgence.

(9) Il s'agit principalement des informations consignées dans les cartes suivantes : menaces potentielles du volcan Cotopaxi, répartition de la population, perception du risque personnel, connaissance des moyens de protection et problèmes logistiques, comportement déclaré dans l'hypothèse d'un ordre d'évacuation, niveau socio-économique et confiance, accessibilité de la population par radio ou par contact direct.

(10) Par exemple, ont été considérés comme secteurs présentant une forte perception du risque, ceux dont 50% de la population interrogée ou plus, affiche une perception du risque assez élevée à très élevée. Il s'agit là, bien entendu, de regroupements simplificateurs mais qui demeurent suffisamment significatifs. En outre, pour plus de précisions, il est toujours possible de se reporter aux cartes thématiques.

4. 2. Les diagnostics locaux

La carte intégrée des facteurs de vulnérabilité peut permettre, à l'instar de la carte réalisée à partir de l'analyse factorielle, de mettre en évidence des types régionaux et locaux de vulnérabilité. Cependant, l'intérêt de ce document est avant tout de suivre une démarche inverse et de réaliser des diagnostics locaux de vulnérabilité à partir de chacun des 46 secteurs considérés qui pourraient constituer autant d'unités préventives. Nous prendrons, pour nous expliquer, quelques exemples représentatifs de situations suffisamment contrastées.

La paroisse de San Rafael est subdivisée en quatre quartiers délimités par trois rivières potentiellement très dangereuses : les rios Pita, Santa Clara et San Pedro. Les habitants de ces quartiers présentent des caractères physiques et humains de vulnérabilité comparables : ils sont tous situés en zone de risque majeur de lahars, leur perception du risque est globalement faible et les moyens de protection sont ignorés. Cependant, en raison d'un niveau socio-économique élevé et d'une forte confiance vis-à-vis des pouvoirs officiels, ils ne devraient, dans l'ensemble, opposer aucune résistance à un ordre d'évacuation, ce que confirme l'enquête par ailleurs. On notera néanmoins qu'une partie de la population du quartier «Général Enriquez», pourrait poser quelques problèmes, ce qui s'explique par la présence dans ce quartier, constituant le noyau ancien de la paroisse, d'une population plus hétérogène sur le plan social.

La population de San Rafael devrait être facilement accessible dans l'hypothèse de la diffusion d'un message d'alerte. En revanche les problèmes logistiques se présentent de manière très inquiétante pour les trois quartiers («Rumiñahui», «El Progreso» et «General Enriquez») qui sont bordés par les rios dangereux, ce qui rend obligatoire le franchissement de ponts pour trouver un lieu sûr. De plus, ces trois quartiers possèdent un parc automobile important, vraisemblablement avec Sangolqui, le plus important de la région. Compte tenu de l'individualisme marqué des populations péri-urbaines, il est très probable qu'en l'état actuel de préparation des individus, une situation d'urgence entraîne une congestion de la circulation ainsi que des mouvements de panique. Le cas du quartier «Capelo» est beaucoup moins préoccupant sur le plan logistique dans la mesure où seule sa partie occidentale est longée par un rio susceptible d'acheminer des lahars.

Des problèmes comparables à ceux de San Rafael sont observables dans deux quartiers de Latacunga («Ciudadela del Chofer» et «San Felipe») bordés à l'Est par le rio Cutuchi et à l'Ouest par le rio Pumancuchi. Ce dernier n'est pas issu du Cotopaxi, mais il peut, comme dans le passé, recevoir les coulées de boue par débordement du lit du rio Cutuchi au nord de la ville. Les quartiers situés à l'Est du rio Cutuchi («Los Sauces», «Rosero Sanchez» et «Centro/Loreto») sont moins vulnérables en raison de leur position, mais aussi d'une perception du risque plus élevée dans ces quartiers plus anciennement peuplés que les précédents. Cependant, en dépit d'une localisation moins dangereuse, les moyens de protection sont généralement ignorés. En effet, la ville s'étale encore largement à l'Est, les lieux de refuge sont malaisés, difficiles à repérer. Au contraire, le quartier occidental «Pumancuchi» bénéficie d'un effet de marge et les élévations sont plus facilement repérables et accessibles.

Le cas de «Rumipamba» (province du Pichincha) permet un autre type de diagnostic. Que ce soit grâce à une mémoire collective encore efficace ou à la proximité du vieux volcan Pasochoa pouvant servir de refuge, les problèmes ne se posent guère en terme de perception

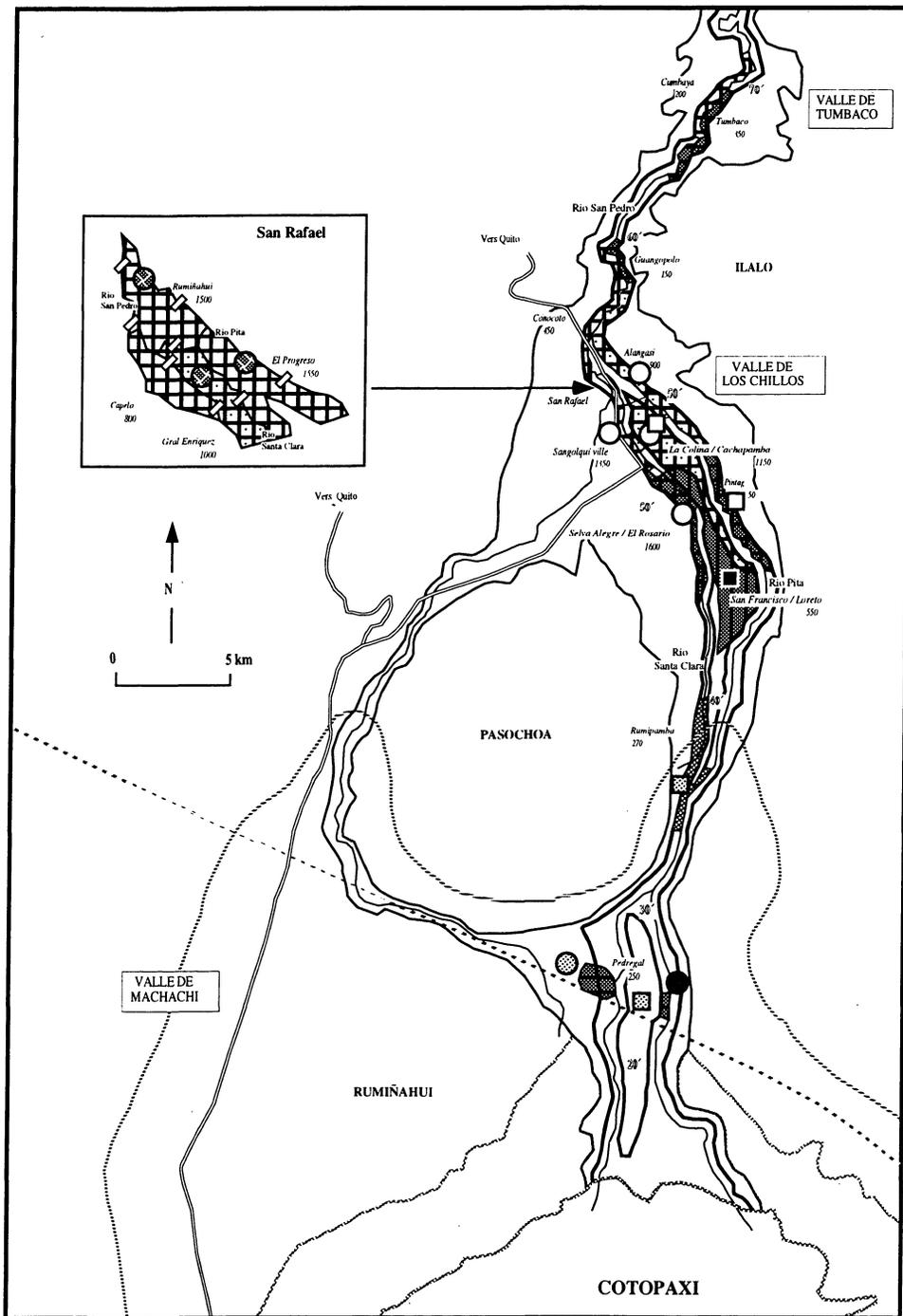
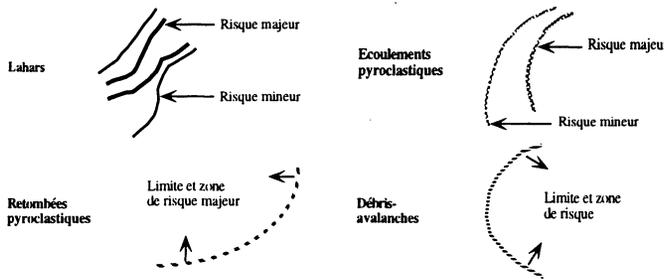


Fig. 9a et b - Carte intégrée des facteurs de vulnérabilité de la population installée dans les secteurs à haut risque face à une éruption du Cotopaxi type 26 juin 1877 (voir légende page 501).

MENACES POTENTIELLES ET LIMITES DES ZONES POUVANT ETRE AFFECTEES
(d'après la carte des menaces potentielles du Cotopaxi réalisée en 1988 par l'Institut de Géophysique de l'Ecole Polytechnique de Quito)



[Temps approximatif de passage des lahars au lieu indiqué (d'après P.Mothes et M.L. Hall, Institut de Géophysique de l'Ecole Polytechnique de Quito). Il s'agit du temps de passage à partir du moment où se déclenchent les lahars, en particulier à la suite du contact entre les écoulements pyroclastiques et la glace. Il faudrait ajouter une dizaine de minutes, au moins, si l'on prend comme temps origine le début de l'éruption.]

C'hi apunabu 500 Nom et effectif de population du secteur
PASOCHOA Noms des principaux volcans (inactifs à l'exception du Cotopaxi)
 Rio Alajques Principaux cours d'eau susceptibles d'acheminer les lahars
 Route Panaméricaine
 Ponts (représentés uniquement sur les agrandissements)

FACTEURS COGNITIFS ET SOCIAUX DE COMPORTEMENT

FACTEURS PERCEPTIFS ET COGNITIFS

FACTEURS SOCIAUX

Comportement déclaré positif en cas d'ordre d'évacuation	Pas ou peu de problèmes de comportement en perspective. Niveau de vie plutôt élevé et confiance vis-à-vis des autorités plutôt forte
Comportement déclaré négatif en cas d'ordre d'évacuation	Fragilité du comportement. Peut devenir négatif en raison d'un niveau de vie plutôt bas et/ou d'une confiance vis-à-vis des autorités plutôt faible

Forte perception du risque		Faible perception du risque	
Connaissance des moyens de protection	Ignorance des moyens de protection	Connaissance des moyens de protection	Ignorance des moyens de protection

Les symboles rectangulaires possédant un contour renforcé correspondent à des situations existantes dans le cas de la région du Cotopaxi. En dessous de chaque symbole est indiqué le nombre de secteurs qui correspondent à chacune des situations.

ACCESSIBILITE DE LA POPULATION DANS L'HYPOTHESE DE LA DIFFUSION D'UN MESSAGE D'ALERTE

Accessibilité par radio	Eloignement des principales voies de communications	Dispersion de la population	Type d'accessibilité	Symboles
Plutôt difficile (plus de 20 % de la population du secteur n'écoute pas la radio habituellement)	Secteurs éloignés	Population plutôt dispersée à très dispersée	Population difficilement accessible (radio et contact direct)	
	Secteurs non éloignés	Population plutôt dispersée à très dispersée	Population difficilement accessible (radio et à un moindre degré par contact direct)	
Plutôt facile	Secteurs éloignés	Population plutôt dispersée à très dispersée	Accès à la population difficile par contact direct surtout	
		Population plutôt dispersée à très dispersée	Accès à la population pouvant présenter des difficultés par contact direct surtout	
	Secteurs non éloignés	Population plutôt concentrée à très concentrée	Population facilement accessible	Sans symbole

PROBLEMES LOGISTIQUES PREVISIBLES DANS L'HYPOTHESE D'UNE EVACUATION D'URGENCE

- Secteurs dans lesquels une évacuation préventive paraît nécessaire. En cas d'urgence, compte-tenu du peu de temps disponible, il n'existe aucune route d'évacuation présentant un minimum de sécurité.
- Secteurs dans lesquels une évacuation d'urgence présentera inévitablement de graves problèmes logistiques, faute d'une préparation préalable solide adaptée à chaque famille. Les voies d'accès direct aux lieux de refuge sont inexistantes ou insuffisantes. Le franchissement de rios dangereux est nécessaire dans la plupart des cas et il est rendu difficile par le faible nombre de ponts. Les voies d'évacuation sûres sont limitées et dépendent de la localisation précise de chaque individu. De plus, une grande partie de la population de ces secteurs a une idée erronée du lieu de refuge qui peut convenir. La situation de ces secteurs est un peu moins grave que dans les cas précédents. Les possibilités de refuge et les voies d'accès y sont plus nombreuses et moins hasardeuses, mais sont souvent peu évidentes pour la population. Cela est lié à la relative multiplicité des solutions (variables selon le lieu où l'on se trouve), ou à la trop grande proximité du volcan qui peut pousser des gens à sortir d'une zone relativement peu dangereuse pour se rendre dans une zone qui l'est beaucoup plus. Là encore, une solide préparation préalable, cas par cas, est indispensable.
- Le parc automobile à l'intérieur de ces secteurs est important. Le faible nombre de voies d'évacuation, bien qu'apparemment directes, et le franchissement obligatoire de rios dangereux peuvent entraîner une congestion de la circulation et des mouvements de panique en cas d'urgence. Une évacuation à pied ou par transport collectif paraît souhaitable. Une préparation de la population destinée à lui faire prendre conscience de ce problème est nécessaire.
- Dans ces secteurs, les lieux de refuge sont plus facilement accessibles et les voies d'évacuation plus faciles à repérer que dans les cas précédents. Le principal problème est lié aux idées préconçues, généralement erronées des lieux de refuge et des voies d'évacuation, d'une partie non négligeable de la population. Faute d'une préparation préalable, cette donnée peut compliquer le déroulement d'une évacuation qui ne devrait pas présenter de difficultés majeures sur le plan logistique.
- Les secteurs ne possédant pas de symbole circulaire ne devraient pas présenter, globalement, de problèmes d'ordre logistique. Les habitants peuvent assez facilement sortir de la zone dangereuse et se rendre en lieu sûr, si l'opération d'évacuation est bien menée par les autorités.

du risque ou de connaissance des moyens de protection. En revanche, la population est assez difficilement accessible, essentiellement en raison de son éloignement et de sa dispersion (11). L'alerte constitue donc un problème sérieux dans cette communauté paysanne qui, de plus, se montre très méfiante vis-à-vis de l'extérieur.

Les contraintes économiques et sociales, les problèmes de confiance pèsent tout autant dans les secteurs du type «San Agustín», «Caspi/Santa Ana» ou «San Ramón» (province du Cotopaxi). Malgré une conscience du risque élevée, il s'agit là de secteurs paysans particulièrement vulnérables. Un ordre d'évacuation rencontrera inévitablement de nombreux obstacles sociaux, mais plus grave encore, de grosses difficultés sont prévisibles en cas de diffusion d'une alerte et dans le domaine logistique. La question de l'alerte est cruciale, car ces secteurs très proches du volcan seraient atteints ou isolés par les lahars en très peu de temps (moins d'une demi-heure). De plus, la population est difficilement accessible que ce soit par la route ou par l'intermédiaire de la radio. D'autre part, les caractéristiques topographiques locales (vastes espaces quasi plans sans élévations suffisamment marquées, traversés par plusieurs rios extrêmement dangereux) font que les moyens de protection sont ignorés. Les solutions proposées par les personnes interrogées (notamment traverser les rivières pour atteindre les hauteurs occidentales) peuvent difficilement être mises en oeuvre en cas d'imminence du danger. Les lieux de refuge sont peu visibles, leur choix dépend du lieu précis où chacun se trouve et très souvent obligent les gens à se rapprocher du volcan. Dans certains cas, comme à San Ramon, les routes d'évacuation sont si hasardeuses que seule une évacuation préventive peut être efficace.

Le dernier exemple de diagnostic concerne les secteurs «San Juan/Salache» et «Argentina Culva» (sud de la province du Cotopaxi). Ils sont représentatifs de milieux ruraux à dominante paysanne, éloignés du volcan, et à faible mémoire collective. La perception du risque y est faible et les facteurs contraignants d'ordre social importants. Il s'agit, surtout dans le cas du secteur «San Juan/Salache», de populations pauvres et très méfiantes qu'il sera difficile d'évacuer en cas de nécessité. Celles-ci ne sont guère éloignées des principales voies de communications, mais elles sont dispersées et une fraction non négligeable n'est pas accessible par radio. Fort heureusement, les problèmes d'ordre logistique sont moins complexes que dans le cas de «San Agustín» ou «Caspi/Santa Ana».

5. VERS UNE CARTOGRAPHIE PLUS OPÉRATIONNELLE : LA CARTE D'ORIENTATION POUR DES ACTIONS DE PRÉPARATION

À chaque type de vulnérabilité doivent correspondre des réponses appropriées. Si les cartes précédentes fournissent des informations sur la vulnérabilité régionale et locale, elles ne guident pas directement l'utilisateur dans ses choix en matière de prévention. Dans ce sens, nous avons réalisé une carte d'orientation pour des actions de préparation de la population, découlant des principaux caractères de vulnérabilité enregistrés dans chaque secteur de la région étudiée (Fig. 10). En outre, la carte est plus conventionnelle, plus facilement lisible dans la mesure où elle est constituée à partir d'un jeu classique de trames. Enfin, dans ce document, l'ensemble des régions exposées est pris en considération, quelle que soit l'intensité du risque.

(11) L'accessibilité de cette population par le biais de la radio semble possible bien que nous ayons vu, chez les habitants de secteur, de nombreux transistors ne pouvant fonctionner faute de piles que l'on achète très occasionnellement.

Trois ensembles de régions ont été distinguées (à très faible risque, à risque faible ou modéré, à risque élevé à très élevé), elles-mêmes subdivisées selon la nature des problèmes humains rencontrés (perception du risque, connaissance des moyens de protection, comportements potentiels).

Un commentaire développé pour chaque type de région accompagne la carte : le texte de la légende en fournit les éléments essentiels. Il apparaît notamment que, suivant la localisation de la population, son expérience et ses acquis, la préparation peut être menée plus ou moins rapidement. Elle peut être plus ou moins poussée quant à son contenu, plus ou moins personnalisée également. Elle peut être aussi plus ou moins délicate à mener sur le plan de l'approche des populations concernées. Elle doit enfin mettre l'accent sur des problèmes techniques et logistiques particuliers, notamment dans les secteurs où un figuré circulaire porte l'attention sur ce type de question. C'est par exemple le cas dans plusieurs secteurs situés au nord de Latacunga où une préparation personnalisée, à l'échelle des hameaux, des pâtés de maisons, voire des familles, s'impose. En effet, les possibilités de trouver un refuge y sont limitées et le choix de chemins pour y parvenir peut s'avérer très délicat, en raison d'une topographie peu différenciée sur un vaste espace susceptible d'être parcouru par les lahars.

6. CONCLUSION : INTÉRÊT, LIMITES ET PERSPECTIVES D'UNE CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ DE POPULATIONS EXPOSÉES

Au terme de la présentation de ces quelques cartes destinées à représenter dans l'espace la vulnérabilité d'une population exposée à une menace volcanique, il convient de se poser la question de l'intérêt, des limites et des perspectives qu'elles offrent. Leur intérêt est double.

Ces cartes dépassent les seules cartes de menaces potentielles ou les cartes superposant les enjeux humains aux menaces. Par l'étude des populations exposées (ce qui constitue bien entendu une approche réductrice des enjeux humains, mais en même temps un angle d'attaque de la vulnérabilité particulièrement révélateur), elles permettent de pénétrer les processus sociaux et psycho-sociologiques dont bien souvent dépend l'ampleur d'une catastrophe, notamment dans le cas des éruptions volcaniques pour lesquelles la gestion des crises est primordiale (12).

Nous avons axé nos efforts sur la méthodologie, deuxième intérêt de cette entreprise. Les techniques utilisées ne sont pas originales en elles-mêmes, mais elles le sont dans le domaine de recherche sur les risques. L'analyse factorielle a permis de réaliser une carte qui autorise avant tout une appréciation d'ensemble des phénomènes, ainsi que la constitution d'une typologie spatiale de la vulnérabilité en fonction de variables pré-déterminées. Cependant, une telle carte n'a aucune valeur en soi, sans les informations fournies par le reste de l'étude, sans lesquelles il est difficile de tirer des conclusions. La carte intégrée est plus pratique. Elle vise surtout à établir des diagnostics sur la vulnérabilité d'un lieu donné. La

(12) Dans le cas des séismes, par exemple, il n'est pas question de minimiser le rôle de la gestion des crises, mais il est évident que dans ce cas, le facteur technique est primordial, notamment en ce qui concerne la qualité des constructions. De plus, il n'existe encore aucune méthode fiable pour s'appuyer sur des signes annonciateurs d'un séisme, à la différence des éruptions volcaniques. Enfin, et c'est peut-être le point le plus important, la gestion d'une crise préalable à une éruption volcanique peut être très longue (jours, mois, voire années) ou déboucher sur l'absence d'éruption.

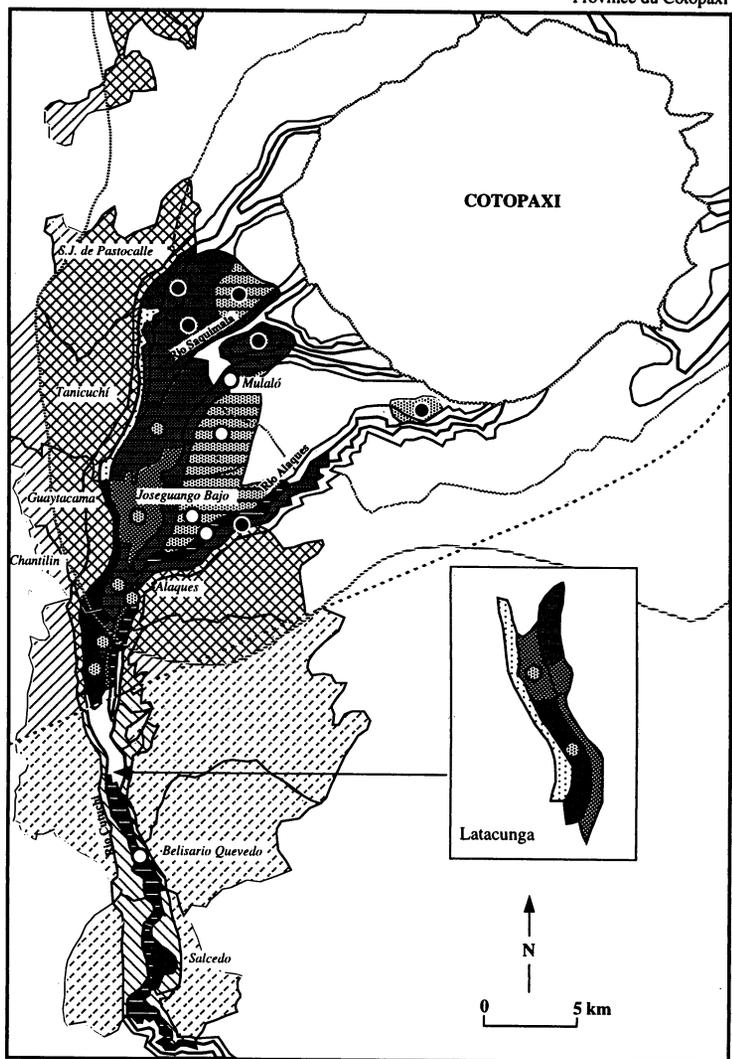
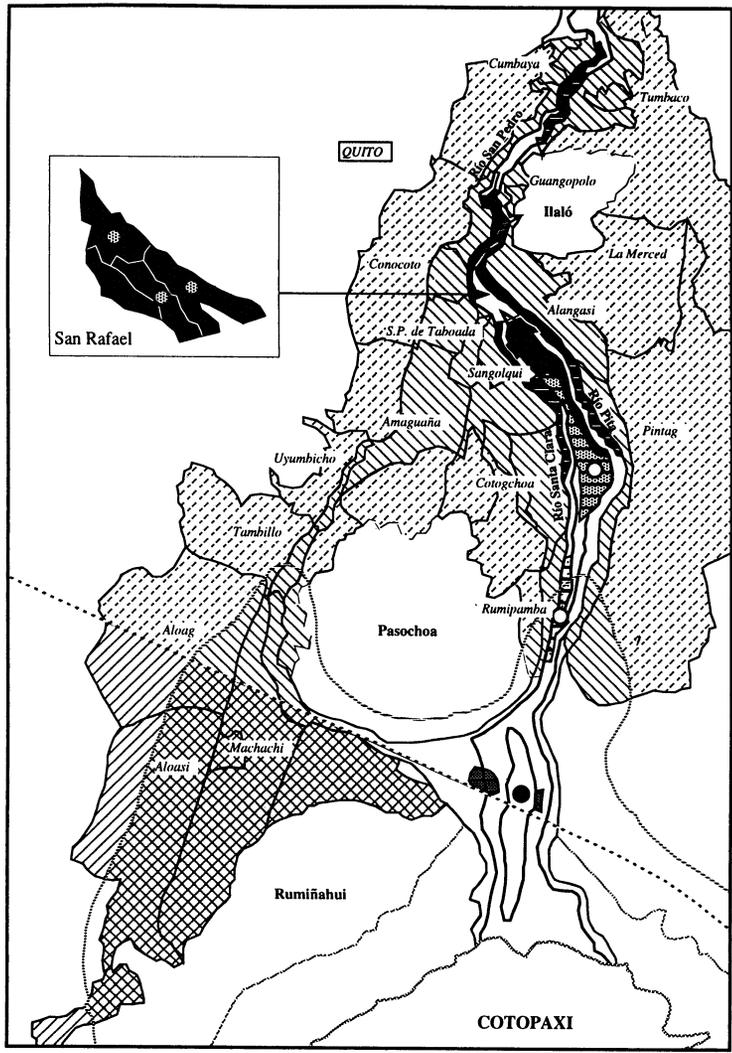


Fig. 10 - Carte d'orientation pour des actions de préparation de la population menacée par le volcan Cotopaxi.

Légende de la carte d'orientation

Régions à très faible risque

- 1  Secteurs qui seront faiblement affectés par les chutes de cendres. Il est utile de préparer des plans d'information de la population à ne mettre en application qu'en cas de réveil du volcan. Son contenu concernera la protection contre les nuisances causées par les cendres et visera à rassurer une population qui peut se croire plus menacée qu'elle n'est en réalité, afin d'éviter des mouvements de panique, des déplacements inutiles et des erreurs graves comme le fait de se rendre en des lieux beaucoup plus dangereux.

Régions à risque faible ou modéré

- 2  Secteurs qui seront affectés par d'importantes chutes de cendres dans l'hypothèse d'une éruption du type de celle du 26 juin 1877. Les habitants devront être préparés à affronter ce type de problème. Cependant, en raison d'un risque relativement faible pour les vies humaines, cette préparation ne sera pas nécessairement très poussée avant le réveil du volcan, sauf pour les éleveurs des importantes zones laitières de la région qui auront à protéger, voire à évacuer tout ou partie de leur bétail.
- 3  Secteurs qui pourraient être affectés dans l'hypothèse d'une activité plus explosive que celle de 1877 (connue par la Cotopaxi avant la période historique). Malgré une faible probabilité d'occurrence, une telle hypothèse ne doit pas être rejetée en raison de l'importance de la population installée dans ces secteurs. Des campagnes préalables de sensibilisation générale peuvent suffire pour la population. En revanche, les autorités locales devront disposer d'informations beaucoup plus précises et des plans d'information et d'actions d'urgence destinés au public devront être prêts à appliquer si, en cas de manifestation du volcan, les experts envisageaient des dynamismes éruptifs très violents.

- 4  Secteurs qui regroupent les caractéristiques des deux catégories précédentes (2 et 3) et dans lesquels il s'agit de combiner les deux types d'actions de préparation correspondants.

Régions à risque élevé à très élevé

- 5a  Secteurs situés en zone de risque majeur de lahars dans lesquels la population, en majorité, est consciente des risques et connaît des moyens appropriés de protection. De plus, cette population est globalement disposée à collaborer aussi bien dans l'hypothèse d'un ordre d'évacuation que dans le cadre d'activités préventives. La phase de sensibilisation peut être réduite et des exercices de simulation du type de ceux réalisés à Latacunga et Sangolqui ne devraient pas poser de problèmes. La relative simplicité des moyens de protection des deux secteurs concernés ne rend pas nécessaire une préparation très personnalisée.

- 5b  Un seul secteur rentre dans cette catégorie, celui de Rumipamba situé en zone de risque majeur de lahars, qui présente des caractéristiques comparables aux secteurs précédents en ce qui concerne la perception du risque et la connaissance des moyens de protection. En revanche, en raison d'un faible niveau socio-économique et d'une confiance très limitée vis-à-vis de l'extérieur, il faut s'attendre à des difficultés, aussi bien en cas de situation réelle que dans la perspective d'actions de préparation. Une campagne générale d'information menée à l'improviste n'aurait guère d'effet si ce n'est d'alarmer inutilement une population déjà consciente des risques. Il est nécessaire de travailler préalablement avec les organisations, responsables et leaders locaux avec lesquels il sera possible d'établir les liens utiles avec la population, de rendre acceptable et d'engager des actions de préparation.

Seul le secteur de la communauté d'Ashigua, situé en marge de la zone de risque majeur de lahars mais dans une zone à intensité de risque élevé, entre dans cette catégorie. La population est consciente des risques et paraît globalement en mesure d'affronter une éruption du type de celle de 1877, mais serait désespérée face à une éruption plus violente, car elle se trouverait directement menacée par les lahars et les écoulements pyroclastiques. Elle paraît néanmoins disposée à collaborer avec les autorités extérieures si une évacuation était nécessaire. Elle devra être préparée pour une éruption du type 1877 qui la soumettrait à d'importantes retombées de cendres, mais également à une éruption plus violente dont la prévision rendrait nécessaire une évacuation préventive.



Ces secteurs sont également situés hors de la zone de risque majeur de lahars. Ils seraient isolés par les lahars dans l'hypothèse d'une éruption du type de celle de 1877. Mais pourraient, comme dans le cas du secteur d'Ashigua, être sérieusement affectés si l'éruption était plus violente. La principale différence tient à une collaboration incertaine de leur population en cas de nécessité d'évacuer. Des actions de préparation menées à l'improviste ne seront pas plus facilement acceptées. Il s'agira d'oeuvrer comme dans le cas de Rumipamba (5b) en s'appuyant sur de solides bases locales. Le contenu de la préparation est comparable à celui du type précédent (6a).



- 7a  Dans ces secteurs situés en zone de risque majeur de lahars, la perception du risque est plutôt élevée et la population devrait assez facilement collaborer en cas d'évacuation. Le principal problème est l'ignorance des lieux de refuge et des routes pour y parvenir. Des exercices d'évacuation du type de ceux de Latacunga et Sangolqui, précédés d'une phase de sensibilisation axée surtout sur les moyens de protection, devraient pouvoir être réalisés dans de bonnes conditions.



Les secteurs de cette catégorie possèdent des caractéristiques comparables à celles des secteurs précédents (7a) sauf quant à la collaboration de leur population. Dans la mesure où la conscience du risque est élevée, la préparation sera également axée sur les moyens de protection et l'approche de la population devra être envisagée de la même manière que pour Rumipamba.



Secteurs situés en zone de risque majeur de lahars dont la vulnérabilité de la population se caractérise par une faible perception du risque et l'ignorance des moyens de protection. Il s'agit de populations de niveau socio-économique plutôt élevé, dans l'ensemble confiantes vis-à-vis de l'extérieur et prêtes à collaborer. Contrairement à tous les cas précédents (forte perception du risque), il est utile ici d'engager les actions de préparation par des campagnes locales de sensibilisation et d'information, afin de développer la conscience du risque qui fait défaut. C'est seulement dans un deuxième temps que des exercices de simulation pourront être réalisés.



Les caractéristiques de ces secteurs sont comparables à celles des secteurs précédents (8a), sauf pour ce qui concerne le comportement de la population, source de problèmes en cas d'évacuation et dans le cadre d'actions préventives et ce, d'autant plus que la perception du risque est faible. Même approche donc que dans le cas de Rumipamba (5b), mais qui nécessitera vraisemblablement encore plus de patience et de doigté. Le contenu de la préparation est le même que dans le cas précédent (8a).

- Secteurs dans lesquels une attention particulière doit être donnée aux systèmes d'alerte en raison de l'accessibilité difficile de leur population.

- Secteurs dans lesquels l'accent doit être placé sur la résolution des problèmes logistiques qui ne manqueront pas de se poser, si une évacuation était nécessaire. En raison de lieux de refuge et de routes d'accès non évidents, dépendants de la localisation précise de chacun, une préparation personnalisée au niveau des quartiers, des hameaux ou des familles doit être envisagée.

- Secteurs dans lesquels une attention particulière devra se porter à la fois sur les systèmes d'alerte et sur la résolution des problèmes logistiques.

carte d'orientation n'est en fait qu'un document découlant du précédent, plus lisible et fournissant des pistes d'actions pour les gestionnaires du risque susceptibles de l'utiliser.

Il s'agit ici d'un simple jalon méthodologique et de nombreuses améliorations sont à apporter tant sur le plan de la technique que sur celui du contenu. De plus, ce travail s'appuie sur une base physique (la carte des menaces potentielles) dont le fondement n'est pas discuté. Cette base est vraisemblablement criticable et pourrait être améliorée suivant l'évolution des connaissances.

Cette recherche présente un caractère à la fois fondamental et appliqué. C'est pourquoi il nous a paru nécessaire d'engager, en guise de conclusion, une réflexion sur l'usage de tels types de cartes. En théorie ces documents devraient pouvoir constituer des bases de réflexion pour les décideurs. Les unités territoriales retenues dans la carte intégrée ou la carte d'orientation devraient constituer autant d'unités préventives dans le cadre d'une planification préventive et d'actions locales. Cependant, l'expérience montre clairement que le passage de la phase de recherche, débouchant sur de tels documents (13) à la phase d'application, est particulièrement difficile et conduit très souvent les responsables politiques et administratifs à ne pas les utiliser, ou à les sous-utiliser en dépit de la satisfaction qu'ils éprouvent à les posséder.

Au moment où nous avons engagé ces travaux de recherche en Équateur, nous étions persuadé que cet état de fait était à attribuer en partie au contexte économique et politico-administratif, mais surtout à l'incapacité fréquente des responsables à interpréter à des fins pratiques les données de la recherche fondamentale. Même si notre avis sur la question est aujourd'hui plus nuancé, nous restons convaincu qu'un effort très important est à accomplir sur le plan de la communication entre les chercheurs et les décideurs. Nous pensons qu'il est nécessaire de réfléchir sur les techniques permettant de mieux faire saisir les enjeux, de mieux montrer les faits, de mieux orienter, faute de quoi, la recherche sur les risques naturels peut s'éloigner de l'un de ses principaux objectifs qui est la sauvegarde des vies humaines et des biens. Ceci dit, cette démarche, aussi nécessaire soit-elle, s'avère insuffisante si l'on ne connaît pas les processus de décision des décideurs, les rouages des systèmes de gestion des risques et la cause des obstacles fréquents, caractéristiques notamment des pays en développement. Il s'agit là d'un axe de recherche important dans un domaine que l'on nomme vulnérabilité institutionnelle (14).

Ce double effort, complémentaire, doit aider à mieux cerner les besoins et les contraintes et permettre à la recherche sur les risques naturels, notamment celle qui débouche sur des réalisations cartographiques, d'être plus opérationnelle.

(13) Ceux que nous proposons, mais aussi, de manière générale, tous les documents traitant de risques, à commencer par les cartes de menaces potentielles

(14) D'Ercole (1994b); Thouret & D'Ercole (1996). Voir également dans ce numéro l'article de Claude de Miras qui développe cette question.

Références citées

- BURTON, I., KATES, R.W. & WHITE G.F., 1978 - *The environment as hazard*, 240p., New-York : Oxford University Press.
- CHARDON, A.C., 1994 - Étude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels. *Revue de Géographie Alpine "Croissance urbaine et risques naturels dans les montagnes des pays en développement"*, T LXXXII, 4 : 97-111.
- D'ERCOLE, R., 1989 - La catástrofe del Nevado del Ruiz, ¿Una enseñanza para el Ecuador? El caso del Cotopaxi. *Estudios de Geografía, "Riesgos naturales en Quito: lahares, aluviones y derrumbes del Pichincha y del Cotopaxi"*, vol. 2: 5-32 ; Quito : Colegio de Geógrafos del Ecuador, Corporación Editora Nacional.
- D'ERCOLE, R., 1990 - *Investigación geo-sociológica para la preparación de la población frente al peligro volcánico. El caso del volcán Cotopaxi y su incidencia regional*, 60p., Quito : Defensa Civil del Ecuador-Instituto Francés de Estudios Andinos.
- D'ERCOLE, R., 1991 - Vulnérabilité des populations face au risque volcanique. Le cas de la région du volcan Cotopaxi (Équateur). Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 460p.
- D'ERCOLE, R., 1992 - *La population de la province du Pichincha face au volcan Cotopaxi. Aléas, risque et vulnérabilité*. Planche 06 de l'Atlas Infographique de Quito, IGM, IPGH, ORSTOM.
- D'ERCOLE, R., 1993 - Gestion des risques naturels et réalités sociales. Vers une recherche opérationnelle. *Pangea*, 20 : 5-14, CIFEG.
- D'ERCOLE, R., 1994a - Mesurer le risque. Le volcan Cotopaxi et les populations proches. in: *Enseigner les risques naturels. Pour une géographie physique revisitée* : 111-150, Paris : Anthropos/GIP Reclus.
- D'ERCOLE, R., 1994b - Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de Géographie Alpine : "Croissance urbaine et risques naturels dans les montagnes des pays en développement"*, Tome LXXXII, 4 : 87-96.
- D'ERCOLE, R. & MONCAYO, J.F., 1991 - "Influents locaux" face à une situation d'urgence : une analyse selon l'hypothèse d'une éruption du volcan Cotopaxi (Équateur). *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 20(1) : 181-220.
- HALL, M.L. & Von HILLEBRANDT, C.G., 1988 - *Mapa de los peligros volcánicos potenciales asociados con el volcan Cotopaxi, zona Norte y zona Sur, 1/50 000*. Proyecto UNDRO-USAID-EPN, Quito, Ecuador : Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.
- KATES, R.W., 1970 - Natural hazard in human ecological perspective: hypotheses and models, *Natural Hazard Research Working Paper*, 14, 32p., Department of Geography, University of Toronto.
- MILLER, C.D., MULLINEAUX, D.R. & HALL, M.L., 1978 - *Reconnaissance map of potential volcanic hazards from Cotopaxi volcano, Ecuador, 1/100 000*. U.S. Geological Survey Miscellaneous, Investigations Series Map. I-1072.
- PELTRE, P. & D'ERCOLE, R., 1992 - La ville et le volcan. Quito, entre Pichincha et Cotopaxi (Équateur). *Cahier des Sciences Humaines*, 28(3) : 439-459, ORSTOM.
- PERRY, R.W., 1983 - *Comprehensive emergency management evacuating threatened populations*, 180p., Washington : Battelle Human Affairs Research Centers.
- THOURET, J.-C. & D'ERCOLE, R., 1996 - Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. *Cahiers des Sciences Humaines de l'ORSTOM*, 2 : 407-422.
- UNDRO, 1987 - *Prévention et atténuation des catastrophes*, Vol. 12 : Aspects sociaux et sociologiques, 56p., Genève : Nations Unies.
- VOIGHT, B., 1990 - The Nevado del Ruiz volcano catastrophe : anatomy and retrospection. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44 : 349-386.
- WARRICK, R.A., 1979 - Volcanoes as hazard: an overview. in : *Volcanic activity and human ecology* (Sheets P.D. & Grayson D.K., eds.) : 161-194; New York : Academic Press, Inc.