

ACCIDENTS MORPHOCLIMATIQUES A TRAVERS LA PRESSE QUITO (EQUATEUR) 1900-1988. DE L'INFORMATION QUALITATIVE A LA CARTOGRAPHIE DE FREQUENCES : PROBLEMES D'EHELLE

PELTRE P.

RESUME

La ville de Quito (altitude 2 800 mètres) subit fréquemment des accidents d'origine morphoclimatiques : inondations, coulées de boue, effondrements de chaussée et éboulements de talus. Une approche historique de ces accidents a été menée par dépouillement du principal quotidien entre 1900 et 1988 pour identifier les zones sensibles de la ville et apprécier à quel rythme ils se produisent.

La méthode mise au point pour analyser et cartographier une information éminemment qualitative est exposée : constitution d'un fichier de 317 résumés d'articles qui permet d'identifier un peu plus de 550 accidents localisés sur l'ensemble de la période, qui sont ensuite cartographiés, analysés en termes de rythme et de fréquence, et rapportés aux grandes étapes de la croissance urbaine. Les principaux résultats sont résumés, puis on examine les problèmes d'échelle dans l'espace et dans le temps qui se sont posés au cours de cette étude.

INTRODUCTION

La ville de Quito subit depuis la fondation de la ville coloniale des accidents liés à la perturbation du drainage naturel par l'urbanisation : inondations, coulées de boue, éboulements et effondrements de voirie, dont un grand nombre est dû au remblaiement systématique du réseau de drainage naturel des *quebradas*¹. La presse de la capitale a décrit 317 de ces accidents pour la période 1900 - 1988, qui constituent un risque certain pour de nombreux quartiers, de même

¹ Ravins à écoulement sporadique, entaillés de 2 à 30 mètres dans les cendres volcaniques.

qu'un sérieux problème de gestion du milieu urbain pour les services municipaux.

La question posée, dans le cadre de l'Atlas Informatisé de Quito, était d'identifier dans la ville les zones les plus sensibles à ces risques morphoclimatiques. Les méthodes prévisionnelles classiques, fondées sur une approche géomorphologique de la stabilité des sols, sont de faible fiabilité dans les cendres volcaniques où les différenciations de structure du sol sont subtiles, et qui plus est difficiles à mettre en oeuvre en milieu urbanisé. Aussi a-t-il semblé préférable de mettre au point une méthode historique, à partir du dépouillement des articles de journaux – seule mémoire disponible de ces événements –, à la manière des études menées sur archives par les sismologues sur les séismes du passé.

L'information de base était donc éminemment qualitative, presque exclusivement composée d'articles ou d'entrefilets décrivant l'accident avec plus ou moins de détail quant à sa gravité, et donnant une localisation souvent approximative; l'extension réelle de la zone touchée a parfois été difficile à cerner avec précision et sera discutée plus loin. Le but recherché étant d'établir une cartographie des zones sensibles de la ville, c'est ce passage d'une information qualitative à son exploitation en termes de localisation et de fréquence d'occurrence que nous discuterons ici.

1- LA METHODE

Les fichiers

A partir du dépouillement systématique du principal quotidien *quiteño*, *El Comercio*, on a constitué sur Macintosh un fichier de 317 résumés d'articles sous 4ème Dimension (fichier "Événements"). En ce qui concerne les inondations et coulées de boue (accidents de type aréolaire, alors que les éboulements et effondrements de chaussée peuvent être considérés comme ponctuels), chaque article décrit soit un seul accident clairement localisé, soit plusieurs accidents correspondant à différents foyers géographiques pour un même événement pluviométrique, ou encore plusieurs accidents de nature différente survenus un même jour (p. ex. une zone inondée dans le Centre historique, une autre dans le Sud, et un éboulement au Panecillo).

A partir du fichier "Événements" on a dérivé un fichier directement lié à la localisation : dans l'exemple cité ci-dessus, la fiche correspondante du fichier "Événements" a été ventilée en trois fiches du fichier "Accidents", dont chaque fiche correspond à une localisation unique d'accident; ce fichier comporte ainsi 567 fiches selon la structure indiquée en figure 1.

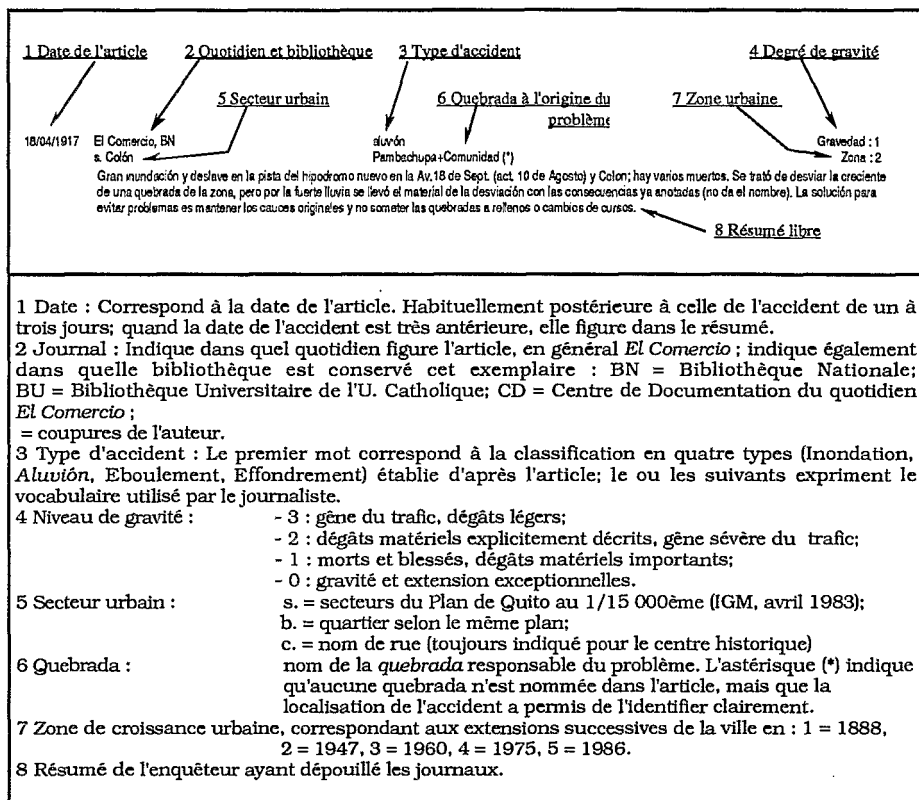


Figure 1 : structure de fiche du fichier "Accidents" ¹

L'exploitation par fréquence

L'étude de fréquence des accidents repose sur le décompte de sélections simples ou combinées effectuées sur un ou plusieurs des 8 champs du fichier. Pour chacun des quatre types d'accident, on a fait le compte des accidents survenus dans l'une des trois zones marquant les grandes étapes de la croissance urbaine depuis le début du siècle (cf. fig. 3). Les résultats de ce traitement sont discutés dans la suite du texte.

La cartographie

Une représentation cartographique analytique de chaque fiche a été tracée sur un plan de la ville au 1/15 000ème, aréolaire pour les inondations et crues boueuses, ponctuelle pour les éboulements et

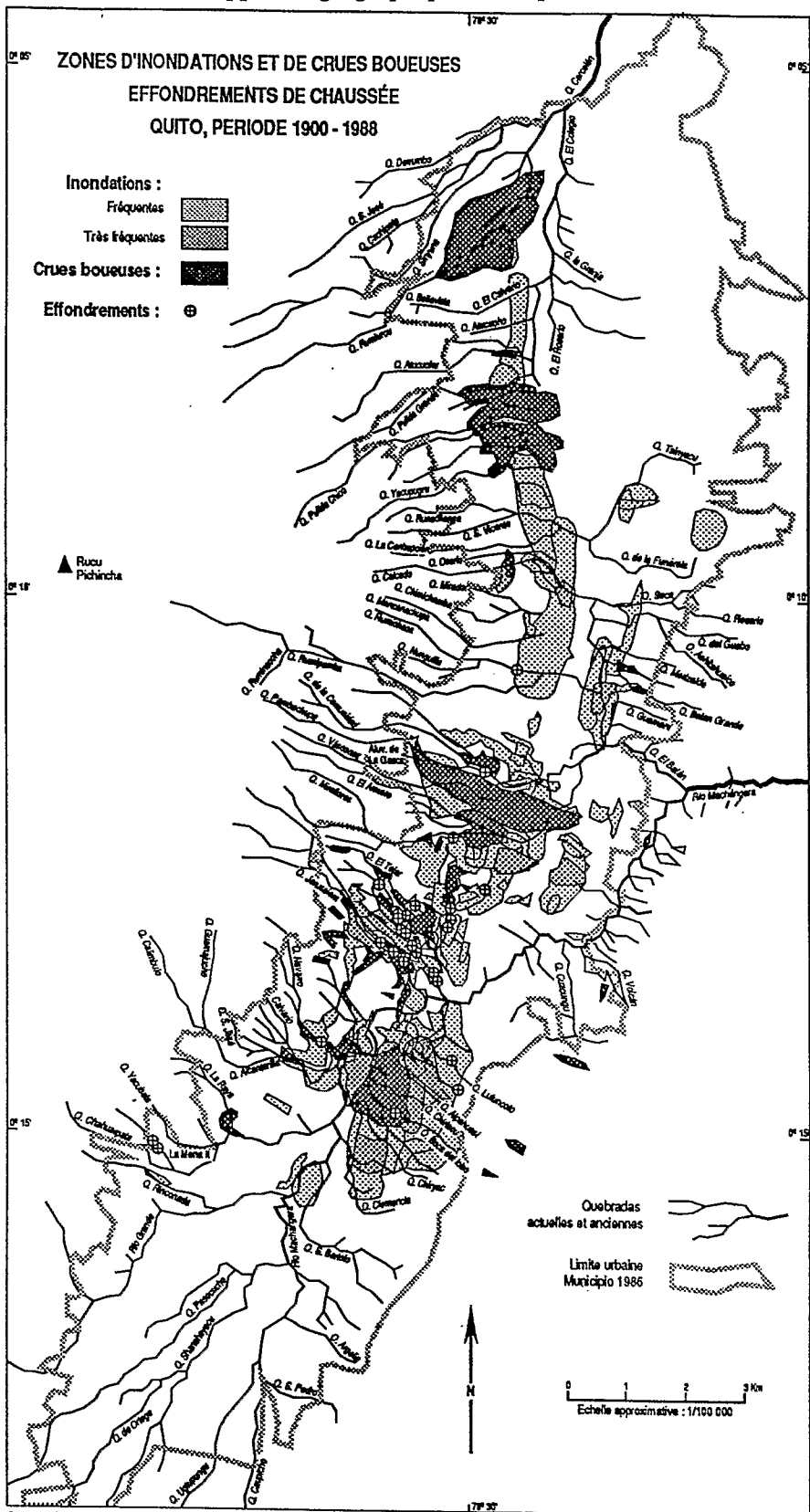
¹ Fichier publié dans Peltre, 1989/B; le total de 517 fiches annoncé dans cet article correspond à une erreur d'impression, au lieu de 567 fiches réellement publiées et utilisées dans les sélections.

effondrements de chaussée. Compte tenu des superpositions fréquentes, trois calques correspondant aux accidents des périodes 1900-1947, 1948-1967 et 1968-1988 ont été dressés, ces périodes correspondant à des phases nettement différenciées de croissance urbaine, et permettant également une ventilation équilibrée du nombre d'accidents dans chaque période.

La localisation de chaque accident, de type aréolaire ou ponctuel, a été tracée manuellement à partir de l'analyse du résumé d'article et de connaissances topographiques et géomorphologiques du secteur, souvent recueillies sur le terrain. Ce travail d'identification géographique des accidents présente des difficultés : les localisations indiquées par le journaliste sont souvent peu précises, constituées de noms de rues, de croisements de rues, ou simplement indication de quartiers plus ou moins bien identifiés par ses habitants, à défaut de l'être correctement sur les plans; mais aussi il a parfois été difficile de déterminer si une zone assez ample, affectée par l'excès d'eau, constituait un seul ou plusieurs foyers d'accidents, amenant à faire des choix selon l'hypothèse la plus vraisemblable. Il est en outre très probable que les journaux n'aient pas toujours rendu compte de façon homogène de ces accidents au cours du temps : par exemple la couverture de l'information internationale au cours de la dernière guerre mondiale semble assez complète, suffisamment en tous cas pour que l'on puisse s'interroger sur la concurrence qu'aurait pu faire cette actualité brûlante aux compte-rendus des faits divers urbains de l'époque, si du moins ils restaient de dimension modeste. D'une façon plus générale on peut soupçonner les journaux du début du siècle, plus faiblement intégrés que maintenant aux réseaux mondiaux des agences d'information, d'avoir rendu compte de nouvelles locales plus minces que celles qui retiennent aujourd'hui l'attention des journalistes.

Cette cartographie analytique constitue donc l'interprétation "au mieux" d'une information obtenue à partir d'un instrument d'observation fort imparfait dans le détail. C'est cependant le seul disponible, et la répétition dans le temps d'accidents selon des localisations approximatives, voisines ou sécantes, restitué aux diverses cartes une fiabilité qui demeure fragile dans le détail de chaque événement. C'est également pour cette raison que l'exploitation par zones de croissance urbaine a été conduite de manière à ne constituer que des groupes géographiques ou chronologiques d'accidents suffisamment importants pour conserver une signification, en regroupant notamment les zones 3, 4 et 5 initialement définies (cf. fig. 1).

Trois cartes des fréquences ont ensuite été dérivées de ce premier jeu analytique, pour les mêmes périodes définies ci-dessus, où chaque zone correspond au nombre d'accidents d'un même type survenus en un lieu.



Carte numérisée sur Macintosh™ sous Carto 2D; écrite sous MacDraw II, imprimée sur LaserWriter +

Figure 1

Ces documents mesurant 1,80 mètre de long à l'échelle du 1/15 000^{ème}, leur édition a été réalisée par numérisation sous Carto 2D en dix fichiers séparés : 1 - fonds urbain de voirie simplifiée; 2 - quebradas; 3 - courbes de niveau; 4 - limites de croissance urbaine; 5- fréquences 1900-1947; 6 - fréquences 1948-1967; 7 - fréquences 1968-1988; 8 - éboulements 1900-1947; 9 - éboulements 1948-1967; 10 - éboulements 1968-1988. La numérisation a été réalisée sur une tablette à digitaliser de 30 X 30 cm, sur des documents d'échelles différentes, en effectuant le repérage précis (et la saisie) de deux éléments communs aux divers documents. A cette étape de numérisation correspond également un processus de généralisation (ou de "lissage" manuel) indispensable à la réduction d'échelle d'un facteur 5 à 10, pour saisir des zones correspondant aux classes de fréquences indiquées en figure 6. Ces dix fichiers ont ensuite été importés sous Mac Draw II¹ pour y être assemblés selon les combinaisons pertinentes pour chaque niveau d'analyse, renseignés (trame et lettre) et imprimés à l'échelle recherchée (figure 2).

2- ENVIRONNEMENT URBAIN ET RISQUE MORPHOCLIMATIQUE

Le site urbain

La ville de Quito est située à 2 800 mètres d'altitude, pratiquement sous l'équateur, au pied du volcan actif Pichincha (alt. 4794 m.). La ville occupe un gradin tectonique qui domine de 300 mètres environ le sillon interandin, vallée nord-sud séparant les Cordillères Orientales et Occidentales. Ceci donne au site l'aspect d'une gouttière étroite de trente km de long sur trois à cinq de large, d'orientation N-S, dont le fond est constitué par les sédiments fluvio-lacustres d'un ancien lac, encore partiellement marécageux à la fin du siècle dernier.

Les versants du Pichincha et le revers de la "pseudo-cuesta" du gradin tectonique sont principalement constitués de laves, de tufs faiblement indurés et de cendres volcaniques, affectés de plusieurs failles importantes; l'ensemble du site est presque uniformément recouvert de cendres volcaniques limoneuses d'origine éolienne - la *cangahua* - qui moulent la topographie ancienne d'une couche de dix à vingt mètres d'épaisseur. Ces formations présentent la

¹ MacDraw II a donc servi d'éditeur graphique perfectionné, essentiellement pour pallier aux limitations d'édition de Carto 2D. Ont notamment été mises à profit les fonctionnalités suivantes de MacDraw II : - non limitation de format, le travail s'étant effectué à une échelle double ou triple de celle de l'impression, puis réduit à la demande lors de l'impression laser ; - travail par calques superposés, permettant de superposer plusieurs fichiers numérisés, de les déformer en homothétie pour les faire repérer, et d'affecter facilement une trame à un ensemble de zones ou au trait; - possibilité d'affecter au trait des épaisseurs variées et une trame, indispensables pour différencier des réseaux distincts superposés (voirie, hydrographie, courbes de niveau, limites de zones); - possibilité d'exploiter de très petits corps de caractères (jusqu'au corps 5 ou 6) et rotation du texte du fait de l'usage de polices vectorisée, alors que le texte est réalisé en mode "paint" sous Carto 2D.

particularité d'opposer peu de résistance à l'érosion fluviale, et de s'indurer légèrement lorsqu'elles sont exposées à l'air, ce qui leur a permis de conserver remarquablement fraîches les vigoureuses incisions de la dernière déglaciation, qui constituent un réseau dense de ravins (les *quebradas*) traversant tout le site urbain.

Le climat de la ville est de type équatorial d'altitude, avec une température moyenne annuelle de 13,5 degrés C et des amplitudes thermiques diurnes très supérieures à l'amplitude annuelle. Le régime pluviométrique est distribué en deux saisons des pluies, d'octobre à novembre et de février à mai (cf. fig. 5). L'intensité des précipitations, facteur essentiel pour ce qui nous occupe, est élevée, atteignant sur 30 minutes 46,3 mm/h (médiane), 58,5 mm/h (fréquence décennale) et 69,2 mm/h (fréquence centennale)¹.

Drainage et croissance urbaine : les *quebradas*

La croissance démographique de Quito s'effectue depuis une trentaine d'années au rythme très soutenu de plus de 4% par an, la population atteignant actuellement 900 000 habitants. La ville a accru sa superficie de près de 40 fois entre 1880 et 1980, et trois étapes successives ont été repérées sur la figure 3. Les *quebradas* se rassemblent toutes, dans les limites mêmes du périmètre urbain actuel, en trois exutoires seulement. Ce sont des torrents de montagne à pente forte, au régime d'oued, qui ne coulent que quelques jours par an en crues brutales et violentes lors des précipitations les plus intenses; seuls les plus importants ont un écoulement permanent.

D'une façon générale leur remblaiement, pratiqué dès l'époque coloniale, se poursuit jusqu'à l'époque actuelle, et c'est donc le réseau d'égouts qui assure maintenant non seulement l'évacuation des eaux usées, mais également celle des eaux pluviales du Pichincha, système montagneux d'un volume considérable dans la tranche d'altitude de 2 800 à 4 700 mètres au-dessus de la ville. Ce réseau est localement insuffisant ou très insuffisant pour évacuer les principales crues, et l'estimation comparée de la capacité d'évacuation des égouts et des débits maxima de fréquence décennale des *quebradas* du Pichincha est éloquent, puisque sur 19 *quebradas* étudiées, 12 présentent un déficit d'évacuation parfois considérable dont les plus importants figurent au tableau 1².

L'EMAP-Quito cherche à contrôler cette situation en aménageant des retenues-tampon autour de certaines des prise d'égout les plus sensibles, permettant de stocker la crête de crue durant 20 à 30 minutes, délai en principe suffisant pour étaler les averses très

¹ Station de Quito Observatoire. Cf. Alulema, Ojeda, Nouvelot, Pourrut, 1985.

² Cf. CMD, 1977, chap. 14

intenses ¹. Ces aménagements étant pour la plupart récents, il est encore très difficile de juger de leur efficacité.

Quebrada	Rumiurc u	Atucuch u	Pulida Chico	Rumipam ba	Manzanachup a	Caiced o
Débit décennal (m ³ /s.)	38,8	11,3	11,7	24,9	4,5	5,7
Capacité d'égout (m ³ /s.)	13,6	3,4	4,0	8,5	3,2	4,5

Tableau 1 : déficit d'évacuation de quelques quebradas

Lorsque les débits de fréquence décennale sont approchés ou dépassés, les eaux et la boue passent par les rues, provoquant inondations et crues boueuses. De ce fait le réseau d'égouts subit en permanence un alluvionnement important, qui réduit encore sa capacité théorique d'évacuation, et nécessite un nettoyage permanent par une équipe de 140 égoutiers (les *sifoneros*). Enfin les têtes du réseau sont toutes en pente forte, ce qui conduit à de fortes mise en charge des canalisations et aboutit parfois à leur rupture, induisant alors des phénomènes d'érosion souterraine qui provoquent à l'occasion des effondrements de chaussée.

Ajoutons que la ville est également menacée par deux risques majeurs, sismique et volcanique, de fréquence faible mais de gravité incomparablement supérieure. Ceci relativise l'ampleur du risque dû au drainage, qui reste limitée à des dégâts localisés par quartier, et de gravité moyenne. Les décès dus à des coulées de boue ou à des effondrements n'ont pourtant pas été rares, et surtout il s'agit d'un risque très fréquent, dont on sait qu'il affectera nécessairement plusieurs quartiers de la ville à l'échéance d'une, ou à coup sûr de quelques années; enfin c'est un risque beaucoup plus accessible à la prévention par l'aménagement de la ville et par la gestion de sa croissance.

Les types d'accidents

Les inondations : Elles traduisent très directement l'insuffisance chronique du réseau de drainage lors des fortes précipitations qui sont de règle en climat équatorial d'altitude. Les averses étant d'autant plus localisées qu'elles sont intenses, ces inondations n'ont

¹ EMAP : Empresa Municipal de Alcantarillas y Agua Potable, agence municipale chargée de la gestion des égouts et de l'approvisionnement en eau. Pour une description de certains de ces aménagements, cf. De Noni , F. de Castro, Peltre, 1988

en règle générale qu'une extension limitée dans l'espace et ne durent guère plus de deux à quatre heures. Les eaux excédant la capacité des égouts empruntent les rues en pente et s'accumulent quelque temps dans les rues transversales et dans les zones basses; elles atteignent couramment 30 à 60 cm de hauteur, et ne dépassent guère un mètre ou un mètre cinquante lors des inondations les plus importantes. L'extension varie de quelques *manzanas* (les pâtés de maisons) au quartier tout entier sur les pentes moyennes, mais l'inondation peut affecter des secteurs plus vastes, dans les zones planes de la "plaine de Quito".

Ces inondations sont fréquemment liées au tracé des anciennes *quebradas*. Elles ne provoquent ordinairement que des dégâts relativement peu importants : inondation des rez-de-chaussées, quelques maisons précaires abîmées ou parfois détruites, et usure accélérée des chaussées, et paralysent dans tous les cas la circulation dans la ville. Elles sont surtout très fréquentes avec 163 événements relevés sur l'ensemble de la période.

Les crues boueuses : Répertoirees par les journalistes comme des *aluviones*, *aludes* et parfois *deslaves*, ces accidents sont moins fréquents mais nettement plus destructeurs que les inondations. Il s'agit soit de coulées de boue, relativement peu liquides, soit plus fréquemment de crues à forte charge solide, allant dans les cas les plus graves jusqu'à charrier des pierres et des blocs. Au plan géomorphologique la coulée de boue correspond au dépassement de la limite de liquidité dans le sol, induisant une loupe d'arrachement et une coulée en aval, généralement assez courte, alors que la crue boueuse résulte de la mobilisation par le torrent de matériaux arrachés à ses berges, ou antérieurement mobilisés par un éboulement ou une coulée de boue dans la partie amont du bassin-versant; elle affecte des distances beaucoup plus importantes, et a tendance à s'étaler lorsque la pente diminue comme c'est le cas à la base de tous les versants qui dominent la ville.

Ce sont des accidents de la périphérie de la ville, bien que les plus graves y pénètrent profondément du fait de son allongement, exclusivement liés au tracé des actuelles *quebradas*, qu'il est presque toujours possible d'identifier même lorsque le journaliste n'en parle pas. L'analyse des compte-rendus indique qu'à leur entrée dans la ville, les flux correspondent dans presque tous les cas à des crues boueuses liées à des averses très localisées, de fréquences relativement rares (décennale ou plus rares).

Plus rares que les inondations (70 accidents relevés), les crues boueuses sont beaucoup plus graves et destructrices : outre la boue déposée sur 30 à 60 cm d'épaisseur, toujours présente, des pierres, blocs et troncs d'arbres sont également entraînés par le flux dans les cas les plus graves. L'extension varie de quelques centaines de mètres de longueur à 3, voire 4 kilomètres sur 100 à 400 mètres de largeur. Les dégâts peuvent être importants, avec destruction partielle de maisons, de voitures et d'équipement de voirie, colmatage du réseau d'égouts sur des superficies importantes, et même parfois pertes de

vies humaines, comme dans l'accident de la Gasca du 25 février 1975, célèbre à Quito, où il y eut deux morts.

Les effondrements : Les *hundimientos*, effondrements de chaussée dus aux égouts défectueux dans le matériau de remblaiement des anciennes *quebradas*, sont des accidents plus rares (36 depuis 1900). Ils sont cependant spectaculaire et frappent l'imagination lorsqu'un véhicule disparaît dans un trou qui s'ouvre subitement sous ses roues, comme c'est arrivé le 3 mai 1978 dans l'Avenida America.

Leur mécanisme est lié à l'érosion souterraine dans des conditions assez particulières : la rupture d'un collecteur d'égout, lors d'une forte précipitation et sous l'effet de la mise en charge des eaux dans ses secteurs pentus, induit un écoulement parallèle au collecteur dans les matériaux peu compacts de remblaiement d'une *quebrada*. Cet écoulement poursuit un lent travail d'évacuation des sables et limons, et creuse progressivement une cavité sous la chaussée; pendant un certain temps cette dernière résiste grâce au compactage des couches superficielles, et passe complètement inaperçue. La voûte cède brusquement, parfois sous le poids d'un véhicule, lorsque la cavité s'est suffisamment agrandie.

Les éboulements : Répertoire sous les termes de *derrumbe* et parfois *deslave*, mais aussi de *deslizamiento* (glissement de terrain), ce sont des accidents beaucoup plus ponctuels qui affectent les quartiers construits sur des pentes fortes. Il s'agit de morceaux de talus hauts de quelques mètres, d'un volume limité, qui s'éboulent, emportant quelques maisons ou enterrant celles qui se trouvent en aval. Ces accidents sont liés à l'affaiblissement de la cohérence des cendres volcaniques par l'humidité en bordure des talus mal ou pas étayés, et mal drainés; il ne s'agit pas de boue, mais de masses de terre humide qui ne parcourent que de petites distances.

Ce sont des accidents assez fréquents, avec 114 éboulements répertoriés. Pour être très localisés, ils n'en sont pas moins graves puisqu'ils provoquent le plus souvent des destructions de maisons; il s'agit en fait des accidents les plus meurtriers avec plus de 80 morts au cours de la période. La cartographie des éboulements est assez peu significative, exprimant surtout une relation avec les pentes fortes et avec le vieux centre colonial, où les constructions anciennes mal entretenues s'effondrent parfois de simple vieillesse; nous n'avons pas reproduit cette carte ici (voir Peltre 1989/b).

3 - L'ANALYSE DU RISQUE MORPHOCLIMATIQUE

Croissance urbaine et rythme des accidents

A partir du fichier des accidents on a dressé leur histogramme de fréquence (cf. fig. 4) selon trois zones successives de croissance urbaine : le noyau historique existant en 1900, les zones construites

au nord et au sud de ce noyau entre 1900 et 1947, et enfin celles apparues entre 1947 et 1986 ¹ (cf. fig. 3). Pour ce traitement par fréquences, les inondations ont été comptées par *événement pluviométrique* ayant causé des problèmes, et non par foyer géographique. En effet, leur comportement spatial diffère considérablement de celui des trois autres types identifiés; elles constituent toujours les accidents les plus étendus, qui ont en général dû être cartographiés en plusieurs foyers géographiques pour identifier les zones les plus sensibles. En termes de fréquences d'occurrence, une pluie ayant causé par exemple quatre foyers d'inondation dans la ville doit être comptée comme un seul accident pour éviter de donner à cet accident un poids excessif du fait de sa grande extension spatiale, alors que chacun des trois autres types d'accident, plus graves et plus rares, mais surtout beaucoup mieux localisés, seront comptés pour chacun de leurs foyers, même si plusieurs foyers sont dûs à un même orage. Le tableau 2 indique le nombre des accidents survenus depuis 1900 selon ce principe : nombre des *épisodes journaliers* d'inondations, et nombre des accidents *géographiquement localisés* pour les autres types.

Ces fréquences ont été rapportées aux totaux annuels des précipitations, dont la courbe n'indique qu'une corrélation très faible avec le nombre des accidents. Ceci est dû au fait qu'une très forte majorité des accidents - 233 inondations et crues boueuses - est directement liée aux fortes intensités beaucoup plus qu'aux totaux annuels, et il faudrait pouvoir comparer avec les relevés horaires ou au moins journaliers pour obtenir une relation graphique claire. En outre les stations pluviométriques sont toutes localisées dans la "plaine de Quito", alors que l'on sait par expérience que les pluies les plus intenses sont très localisées, et tombent sur les versants qui dominent la ville; nous avons pu constater lors de l'étude de l'*aluvión* de la *quebrada* La Raya², qu'une précipitation très intense, attestée par le limnigramme de crue du Rio Machangara, n'avait pratiquement pas été enregistrée par deux pluviographes proches, qui n'avaient vu passer que la frange de l'orage.

¹ Les limites de plans utilisées ont été rassemblées par O. Lemaire, allocataire MRT à l'Atlas Informatisé de Quito.

² Cf. De Noni, Fernandez de Castro, Peltre, 1988

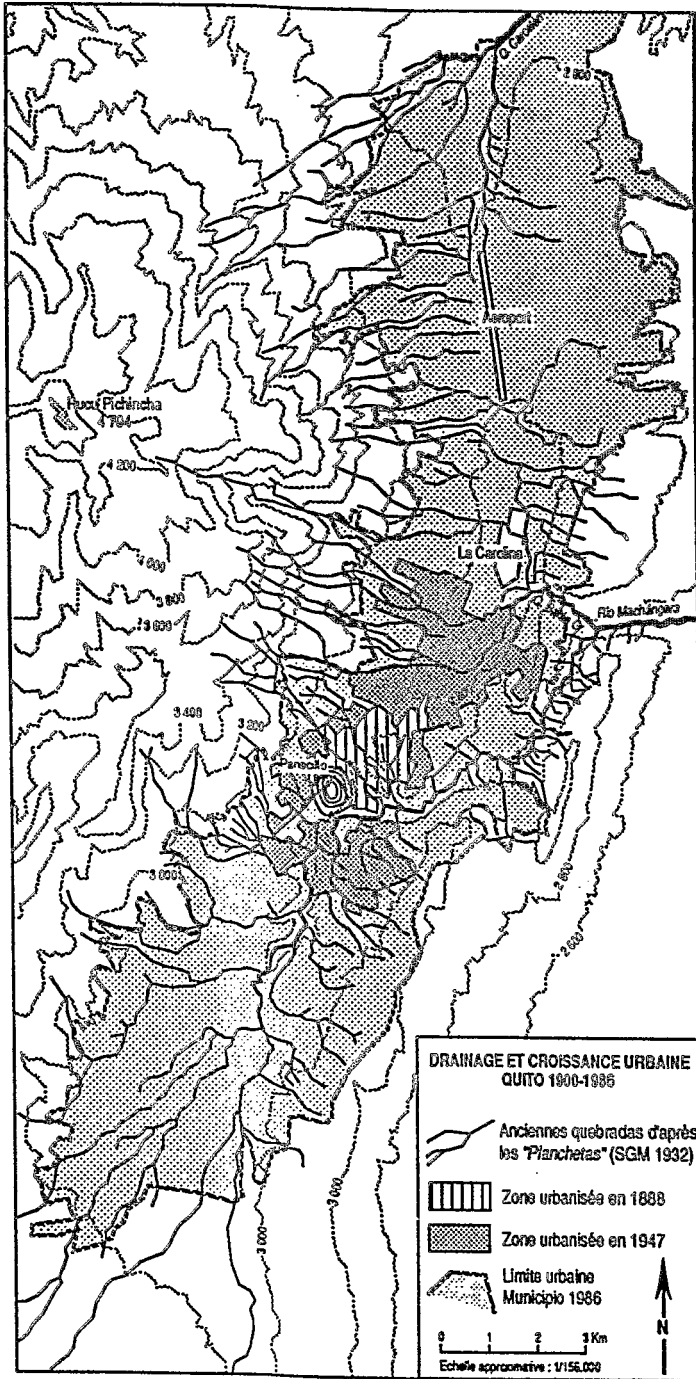


Figure 3

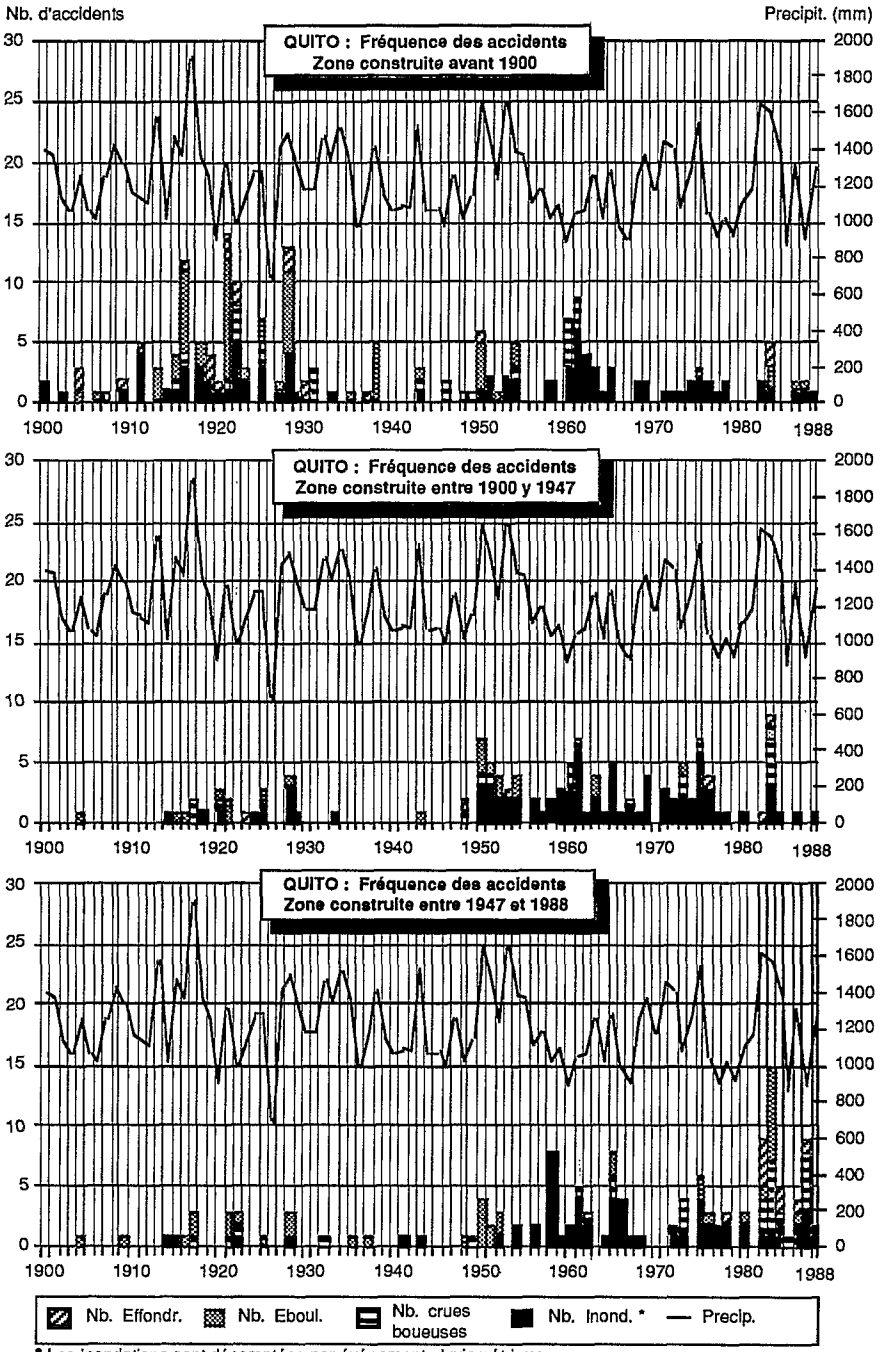


Figure 4

Si la corrélation avec les totaux annuels est mauvaise, celle de la fréquence mensuelle des accidents sur l'ensemble de la période, rapportée à la moyenne mensuelle des précipitation sur 89 années est en revanche très bonne (fig. 5), confirmant que ce sont bien à des accidents du drainage du site urbain que l'on a affaire, dont les modes suivent étroitement ceux des précipitations mensuelles moyennes.

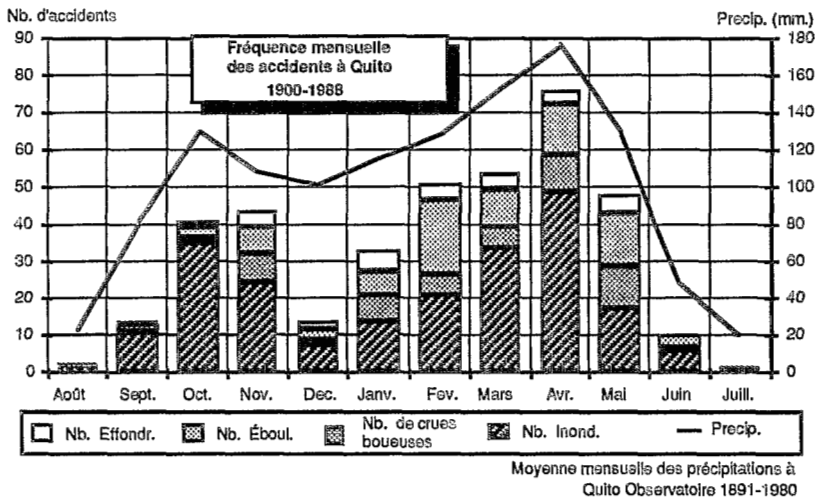


Figure 5. Moyenne mensuelle des précipitations à Quito-Observatoire 1891 - 1980

Le nombre des accidents enregistrés par type et pour chacune des trois zones successives de croissance urbaine est résumé par le tableau 2¹.

La figure 4 indique un déplacement dans le temps des fréquences élevées d'accidents, de la zone bâtie la plus ancienne à la plus récente, conforme à ce que l'on peut attendre : peu d'accidents dans la première moitié du siècle pour les deux auroles où celle-ci s'est en principe non bâties, et mode principal en 1983, dans la zone la plus récemment urbanisée.

¹Les accidents ont été classés par **zone géographique** quelle que soit leur date, pour pouvoir comparer des fréquences d'occurrence par zone de croissance urbaine. Lorsque des accidents figurent dans une zone avant la période où celle-ci s'est en principe urbanisée, il s'agit alors d'accidents des faubourgs ruraux de la ville : villages, routes et ponts le plus souvent; si des accidents se sont produits dans les champs et les prés, ils n'ont en général pas été relatés : ne gênant pas suffisamment ils ne constituaient pas matière à fait divers dans les journaux de la ville.

Zone construite :	Avant 1900	De 1900 à 1947	De 1947 à 1986	Total**	Total 1900-1988***
	Nombre d'accidents				
Inondations*	89	82	62	233	163
Crues boueuses	24	18	31	73	70
Eboulements	56	21	38	115	114
Effondrements	21	6	9	36	36
Total	190	127	140	457	383

* Nombre d'événements pluviométriques.

** Certains accidents, à cheval sur deux zones, sont comptés à la fois dans l'une et dans l'autre.

*** Dont la première ligne correspond à un nombre d'événements pluviométriques, alors que les trois suivantes comptent tous les foyers géographiques. C'est pourquoi le total de cette colonne ne correspond ni aux nombre de fiches de "Evénements", ni à celui de "Accidents"

Tableau 2 : Nombre d'accidents par zone de croissance urbaine

Ce glissement dans les fortes fréquences annuelles globales s'accompagne d'un déplacement des modes dans la fréquence des éboulements et crues boueuses, dont nous avons vu qu'ils étaient liés : nombreux dans le centre colonial jusqu'en 1930, ils se raréfient ensuite et disparaissent presque après 1963, alors qu'ils sont fréquents dans la zone 1900-1947, et qu'ils constituent le maximum dans celle la plus récemment urbanisée.

La raréfaction des accidents liés à d'importantes mobilisations de terre dans le centre historique doit être mise en relation avec la complète urbanisation de son environnement : les talus, d'autant mieux étayés que l'urbanisation est ancienne, sont plus stables et s'éboulent moins, et les crues boueuses se déclenchent plus haut en amont sur le cours des *quebradas*, là où commence le remblaiement. C'est maintenant la périphérie qui subit ces accidents, caractéristiques de la frange où les bassins-versant voient leur dynamique perturbée par l'urbanisation; certaines parties de la vieille ville ont fait partie de cette frange jusqu'en 1963, mais semblent maintenant à l'abri de ces problèmes.

De plus, même la fréquence des inondations semble régresser dans le centre depuis 1961, dernière pointe enregistrée; dans la mesure où les deux autres zones ont subi en 1982-1984 un nombre important d'inondations et de crues boueuses, il faut sans doute en conclure que l'appareil de drainage du vieux centre a été progressivement amélioré.

La partie de la ville urbanisée entre 1900 et 1947 bénéficie, comme la vieille ville, du calme relatif entre 1930 et 1949, mais connaît ensuite trois décades difficiles. Durant cette période, ce sont surtout des zones plates qui ont été colonisées : ancienne zone marécageuse

de la Mariscal Sucre et replat des anciens quartiers du Sud (Chimbacalle, Villa Flora et La Magdalena), Ceci explique la nette prédominance des inondations et des crues boueuses, le faible nombre d'effondrements, les *quebradas* remblayées dans cette partie de la ville étant peu profondes, ainsi que celui des éboulements, absents des terrains plats.

La zone la plus récemment urbanisée attire l'attention par la forte proportion des crues boueuses et éboulements par rapport à un nombre d'inondations qui reste comparable à celui subi dans les deux autres parties de la ville durant la même période. A cet égard les années 1982 à 84 battent tous les records sur l'ensemble de la période; s'il est vrai que l'année 1983 correspond à un phénomène de *Niño* très accusé et à des inondations catastrophiques dans la région côtière¹, la zone 1900-1947 n'a subi qu'un nombre très moyen d'accidents pour cette période, et le centre colonial en est sorti presque indemne.

Cette forte proportion d'accidents dans les zones récemment urbanisées traduit la colonisation de nombreux versants en pente forte, et l'accélération considérable des travaux de remblaiement des *quebradas* : le début des années 80 voit la construction de l'Avenida Occidental, boulevard périphérique qui contourne la ville par le pied des pentes du Pichincha en coupant 68 de ses *quebradas*, et subit depuis cinq ans une crue boueuse chaque année. Dans le sud de la ville se développent actuellement de nombreux lotissements neufs qui remontent sur les bords de la cuvette, et fournissent également une part appréciable des accidents des dernières années. C'est donc dans la partie la plus récemment urbanisée que le déplacement de la zone sensible du centre vers la périphérie de la ville est le plus net.

La distribution spatiale

La cartographie diachronique des accidents² (fig. 6) confirme cette analyse : les crues boueuses, très présentes dans le centre historique entre 1900 et 1967, y disparaissent ensuite. Au cours de la période 1968-88 elles sont localisées à la périphérie de la ville, ce qui apparaît nettement au sud du Panecillo, alors qu'au nord le phénomène est moins net, masqué par la grande extension des crues boueuses. Pourtant dès le début du siècle on note des crues boueuses au pied des grandes *quebradas* du Pichincha, dans des zones non

¹ *El Niño* correspond à un phénomène océanique sur les côtes du Pérou et de l'Equateur, qui entraîne les années où il se produit des précipitations fortes sur le continent. Sensible dans la Sierra équatorienne de janvier à juin 1983, il a entraîné une hausse du total annuel et une plus forte irrégularité des précipitations, sans toutefois affecter de façon significative l'intensité des averse ni augmenter les totaux journaliers (cf. Nouvelot et Pourrut, 1986).

² Pour la cartographie, les accidents ont cette fois été classés *selon leur date* en trois périodes (48, 20 et 21 années), et non plus par zone comme pour l'étude de fréquence. Maintenir ce dernier type de classement reviendrait en effet à cartographier simplement la croissance urbaine par la localisation des accidents, information de peu d'intérêt.

urbanisées où le drainage naturel a été encore peu touché¹; ces accidents, affectant des ponts, des routes ou des villages de la périphérie rurale de la ville, marquent les zones naturellement sensibles où l'urbanisation n'aurait dû être développée qu'avec des précautions de contrôle morphodynamique du drainage, de préférence maintenu à ciel ouvert.

D'une façon générale les crues boueuses et les effondrements de chaussée apparaissent sur les cartes comme directement liés au réseau de drainage ancien, et il est toujours possible d'identifier clairement pour chacun de ces accidents une *quebrada* responsable. De même les quartiers fréquemment inondés correspondent à des zones de plus faible pente, au pied des versants à forte densité de drainage, comme les secteurs de Chimbacalle, de la Mariscal Sucre, de la Carolina ou de l'aéroport. La superficie de ces zones inondées augmente avec la croissance urbaine, suivant logiquement la détérioration des conditions de drainage du site dans les secteurs peu pentus de la ville.

Enfin les vingt dernières années comportent deux crues boueuses de gravité et d'extension exceptionnelles : l'*aluvión* de La Gasca de 1975 (Q. *Pambachupa*), qui est arrivé jusqu'au quartier de la Mariscal Sucre, et au nord celui de la Q. Rumiurcu de 1983, qui a affecté la nouvelle avenue Occidentale et le quartier de Cotocollao, ancien village de la périphérie, et s'est répété trois fois au cours de la période étudiée sans qu'il soit cependant possible de comparer clairement la gravité de ces récurrences. A en juger par leur extension, et en l'absence de données pluviométriques horaires anciennes, ces deux accidents semblent correspondre à des événements pluviométriques d'intensité exceptionnelle.

¹ Encore que la "plaine de Quito" soit occupée depuis longtemps, et que les documents cartographiques de 1930 y montrent certains tracés de *quebradas* en baïonnette, de toute évidence retouchés pour les besoins de mise en culture des *haciendas*.

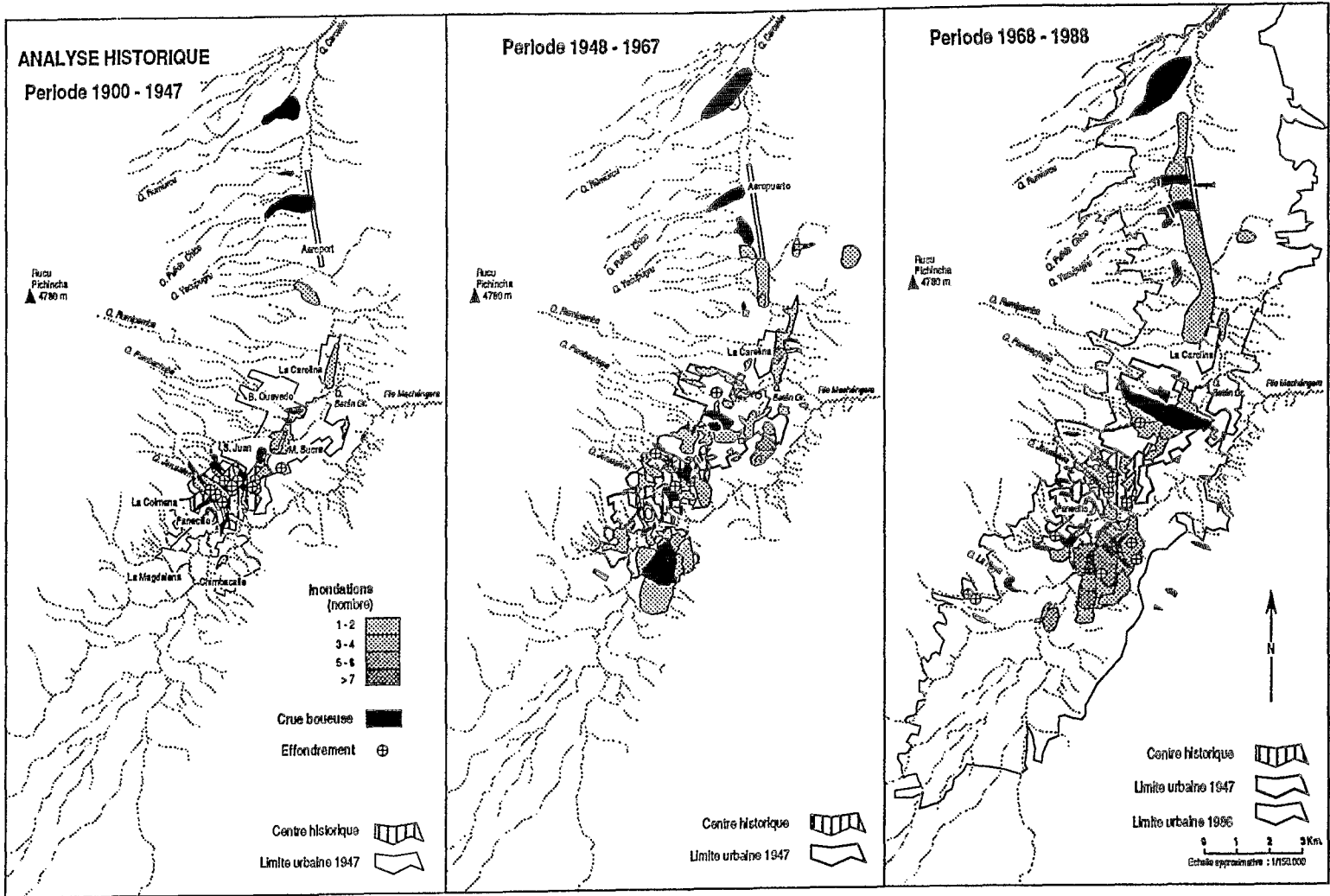


Figure 6

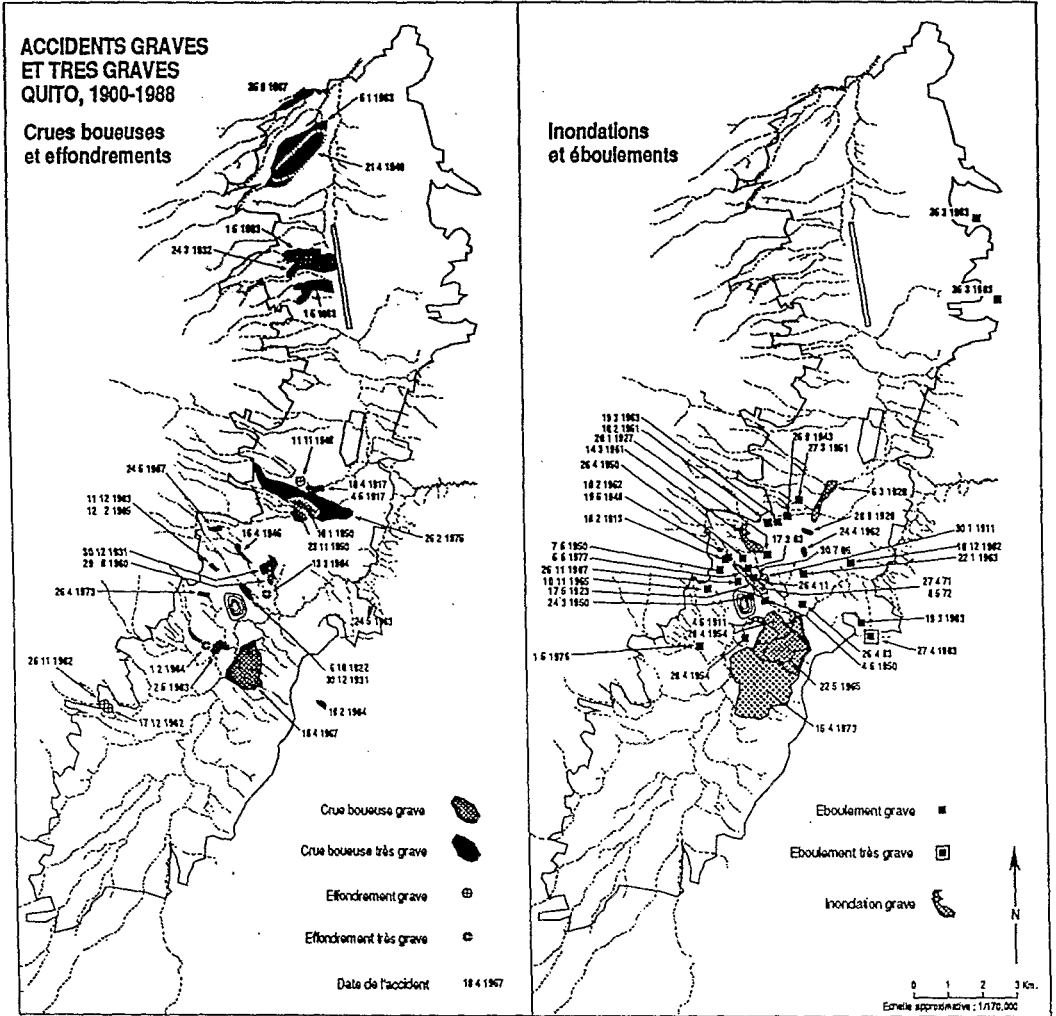


Figure 7

Gravité des accidents

Les zones sensibles aux problèmes du drainage dans la ville identifiées, tous ces événements ne sont cependant pas également destructeurs : nombre d'entre eux ne constituent qu'une gêne passagère alors que d'autres causent des dégâts graves et des pertes en vies humaines, et l'identification des zones réellement menacées par les phénomènes morphodynamiques doit également tenir compte de la distinction du degré de gravité de leurs effets selon le classement indiqué en figure 1.

Au total 71 accidents ont causé des dégâts importants ou très importants et/ou des morts et des blessés depuis 1900, selon la distribution résumée dans le tableau 3. La cartographie de ces accidents graves (gravité 1) et très graves (gravité 0, figure 7) ne change pas significativement la distribution observée en figure 2 et 6, à l'exception du centre historique, surtout touché par des accidents relativement bénins.

Type d'accident	Gravité 0	Gravité 1	Total
inondations	0	15	15
crues boueuses	4	20	24
effondrements	2	3	5
éboulements	1	26	27
Total	7	64	71

Tableau 3

L'analyse de la sélection réalisée appelle deux remarques :

- sur 163 épisodes d'inondations qui affectent la ville, seul un petit nombre d'entre elles sont graves;
- tous les accidents très graves se sont produits entre 1973 et 1984, soulignant une réelle aggravation probablement liée à l'ampleur croissante des grands travaux de l'urbanisation récente.

Une autre sélection réalisée sur le fichier concerne le nombre de morts rapportés par les journaux (accidents de gravité 1), qui fournit le chiffre de 168 morts sur l'ensemble de la période. Il s'agit là d'une estimation approchée, le journaliste n'ayant pas toujours donné le nombre exact des victimes; lorsqu'il n'est mentionné que "*varios muertos*" nous avons supposé 5 victimes correspondant à la moyenne des articles qui fournissent cette précision; enfin le nombre de blessés n'étant que rarement mentionné, il n'est pas possible de traiter cet indicateur. Sur 168 morts, 82 sont dûs aux seuls éboulements, type d'accident le plus meurtrier, et 70 aux crues boueuses; les inondations sont responsables de 14 victimes, et un seul effondrement a fait 2 morts.

Même en supposant que les journaux aient assez souvent sous-estimé le nombre des morts lors d'un accident, voire omis leur existence, on ne dépasse probablement pas le chiffre de 250 victimes des accidents morphodynamiques en 89 années, soit un peu moins de trois par an en moyenne. Il s'agit là d'un chiffre relativement faible, comparé par exemple à l'importance du nombre annuel des victimes d'accidents de la circulation en ville, qui relativise bien la gravité somme toute faible ou moyenne de ce type d'accidents par rapport au danger des risques sismiques ou volcaniques, où le nombre des victimes pourrait se compter par milliers. En ce qui concerne les dégâts matériels les descriptions fournies par les journaux sont trop imprécises pour permettre une estimation, même approchée; notons simplement que les véritables destructions de maisons sont rares hormis lors des éboulements, et que c'est peut-être dans le domaine des réparations de voierie que l'on enregistrerait les coûts les plus élevés.

Croissance urbaine et gestion du milieu

Les problèmes majeurs du site urbain sont directement liés au remplacement du système naturel de drainage des *quebradas* par un réseau d'égouts, lequel ne peut être techniquement dimensionné pour évacuer les crues brutales et violentes de ces torrents lors des précipitations les plus intenses d'un climat équatorial de montagne. Au seul point de vue géomorphologique, prétendre évacuer les débits de pointe des *quebradas* du Pichincha – et la charge solide qui leur est nécessairement associée – par le seul réseau des égouts urbains constitue une gageure. Il est clair que la solution la plus sage aurait été d'aménager à travers la ville des écoulements à ciel ouvert, en assurant la circulation par des ponts; mais l'urbanisation s'est faite – suivant une tradition très ancienne – en remblayant les drains, et la situation est maintenant irréversible, sauf à envisager un utopique remodelage de la ville, politiquement impensable. Les solutions résident en une gestion correcte de l'environnement urbain : amélioration des égouts, stabilisation des versants et *quebradas* à l'amont, et contrôle de la croissance urbaine, en comparant le coût croissant des investissements de protection et celui, économique et social, des dégâts prévisibles.

Nous avons vu cependant que la vieille ville connaît depuis bientôt vingt ans une certaine stabilisation, due peut-être à des travaux d'amélioration du drainage, et plus certainement à la meilleure protection que lui offrent maintenant les nouveaux quartiers développés à sa périphérie. Ce sont ces quartiers des auréoles récentes de la croissance urbaine qui paient actuellement le plus lourd tribut en accidents du drainage proprement dit, ainsi qu'en éboulements dans les zones pentues. Les accidents qui affectent Quito depuis le début du siècle constituent ainsi plus un problème de croissance urbaine mal maîtrisée, en termes d'aménagement et de gestion du milieu, que des accidents d'origine morphoclimatique proprement dits. Ce qui fait problème, c'est moins la dynamique érosive et l'alluvionnement d'un milieu de montagne, qui gênait peu

en environnement rural, que la présence même de la ville sur les lieux où s'exerce cette dynamique, ainsi que la façon de la contrôler.

4. PROBLEMES D'ECHELLE

La première question qui se pose est celle, pratique, du volume des données à recueillir, a priori totalement inconnu, personne n'ayant la moindre idée du nombre des accidents (même approché) survenus dans la ville depuis le début du siècle. Par contre le volume des exemplaires du quotidien à explorer pouvait être estimé : environ 27 800 numéros d'*El Comercio* à parcourir, page par page, pour en extraire tout ce qui touchait au risque morphoclimatique de 1900 à 1985 (la présence sur place de l'auteur ayant permis de suivre en direct les événements des dernières années). Ce travail a occupé un enquêteur à plein temps durant un an et demi¹ pour le seul recueil de l'information de base.

La seconde question d'échelle qui a déjà été évoquée est celle, classique, du passage de l'échelle de travail initiale (1/15 000ème) à celle de publication (1/150 000ème environ), plus complexe qu'elle n'y paraît. C'est à ce stade que les trois cartes de fréquence établies par période ont pu être confrontées entre elles, ainsi qu'au fichier des courbes de niveau et surtout à celui du réseau de drainage, non figuré sur le plan de base. La généralisation de l'information qui intervient à ce stade revêt du reste une signification nettement plus importante que sa classique fonction graphique d'amélioration de la lisibilité : nous avons vu que la cartographie initiale a été construite à partir des imprécisions inhérentes à l'information de base, et que le tracé des limites de chaque accident reste approximatif dans le détail. Leur représentation à l'échelle qui permet de figurer le pâté de maison (1/15 000ème) est donc illégitime, laissant supposer une précision que cette information ne possède pas. Par contre à petite échelle la localisation des points, du "centre de gravité" des taches, de même que leur importance relative restent valides, malgré les approximations et interprétations de la cartographie de base. C'est la perception de la superficie relative des taches et de leur disposition entre elles, ainsi que par rapport au réseau hydrographique, qui est significative en termes d'identification des zones sensibles de la ville, et non leur figuré ou localisation exacts.

Autre question d'échelle plus complexe, celle qui s'est posée pour représenter dans l'espace une série temporelle d'événements, alors que cet espace varie dans le temps. Par la nature même de l'information-source, un accident morphoclimatique n'a été rapporté par la presse que lorsqu'il constituait une gêne pour la collectivité, survenant en milieu construit. A l'exception de quelques accidents graves affectant un village, une route ou un pont, ces accidents sont donc des phénomènes qui n'ont *eu de mémoire*

¹ Que Juan Sarrade soit ici remercié pour la qualité de son travail patient... et souvent insalubre, la poussière des journaux archivés étant redoutable.

qu'urbaine; survenant en plein champ, même s'ils tuaient quelques vaches, ils n'ont pas attiré l'attention de la presse, et ces événements n'ont existé que dans l'enveloppe de la croissance urbaine, mémorisée par les limites d'une série de plans successifs. La représentation de la série des accidents passait donc par une série de cartes exprimant les événements survenus au cours de tranches de temps successives, selon un pas de temps déterminé par la date des plans disponibles qui définissaient six tranches d'inégale durée (plans de 1888, 1922, 1947, 1952, 1968, 1973, 1986); ces périodes correspondaient à un nombre très variable d'accidents pour chaque tranche, ce qui ôtait toute signification à une telle série diachronique de cartes. Sur la base de l'étude de la fréquence annuelle, on n'a donc retenu que les trois périodes (48, 20 et 21 années) qui divisaient le plus également possible l'ensemble de la série (respectivement 175, 219 et 173 accidents).

A noter que lorsque l'analyse de la série temporelle est cartographique, c'est la date des accidents qui pilote logiquement la ventilation selon la tranche de temps considérée, alors que l'analyse du rythme d'occurrence au sein des trois zones de croissance urbaine (correspondant aux mêmes périodes) doit être conduite sur la base de la localisation, par zone de croissance, des accidents quelle que soit leur date. Dans le premier cas la question posée est : où se situent les accidents de telle période ? Dans le second elle est : dans telle zone de croissance urbaine, quel est le rythme d'occurrence des accidents ? Selon que l'échelle d'analyse est spatiale ou dans le temps, l'approche doit être modifiée pour être significative.

Autre cas particulièrement net de variation de la perception selon l'échelle temporelle, celui de la faible corrélation du nombre annuel des accidents avec les totaux annuels des précipitations (figure 4), contrastant avec la très bonne correspondance du nombre mensuel des accidents sur l'ensemble de la période avec la moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (figure 5). La série pluviométrique est la même dans les deux cas, de même que les décomptes du nombre des accidents. Mais dans un cas on décrit un rythme sur l'ensemble de la période, année par année et en termes de totaux, alors que dans l'autre on exprime un rythme au sein d'une année moyenne, en comparant moyenne mensuelle interannuelle de pluie et total, mois par mois, du nombre d'accidents au cours de toute la période.

Dernier problème d'échelle enfin : tous les accidents ne sont pas de même nature quant à leur comportement dans l'espace. Les inondations par excès de précipitations (par rapport aux capacités d'évacuation) peuvent couvrir des superficies considérables, contrairement aux trois autres types d'accidents, beaucoup mieux circonscrits. Ceci a justifié un traitement distinct selon qu'il s'agissait d'analyse spatiale ou en termes de fréquence : on a ainsi cherché à identifier les foyers dans des "enveloppes" ayant souvent caractère de continuum pour cartographier les zones les plus gravement (et les plus fréquemment) inondées, ou bien l'on a compté des événements pluviométriques lorsqu'on cherchait à comparer des nombres d'accidents pour en tirer des conclusions quant aux rythme d'occurrence.

REFERENCES

- DE NONI B. et G., FERNANDEZ M.A. et PELTRE P. - 1986 : Accidents climáticos y gestion de las quebradas de Quito. Analisis del "aluvión" de la Raya del 23 de Enero de 1986. pp. 25 - 44, 1 carte coul., *in* : Paisajes geográficos (Revista del CEPEIGE) n° 17, Quito, Juillet 1986.
- DE NONI B. et G., FERNANDEZ M.A. et PELTRE P. - 1988 : Drainage urbain et accidents climatiques à Quito : analyse d'un cas récent de crue boueuse. pp. 225 - 249 *in* : Cahiers des sciences humaines vol. 24 n° 2.
- PELTRE P. - 1989/a : Les accidents du drainage urbain à travers la presse. Quito (Equateur) 1900-1986. pp.318-334 *in* : Tropiques, lieux et liens. Col. Didactiques, ORSTOM, Paris, 1989.
- PELTRE P. - 1989/b : Quebradas y riesgos naturales en Quito, período 1900-1988. pp. 45-91 *in* : Estudios de Geografía n° 2, "Riesgos naturales en Quito. Lahares, aluviones y derrumbes del Pichincha y del Cotopaxi", 92 p., Colegio de Geógrafos y Corporación Editora Nacional, Quito.
- PELTRE P. - 1990 : Risque morphoclimatique urbain. Quito (Equateur) - Période 1900-1988. 22 p., inédit (version française du précédent.)