

Risque morphoclimatique urbain à Quito, Équateur (1900-1988)

Pierre Peltre

Orstom, Paris

RÉSUMÉ.— La ville de Quito (2 800 m) subit fréquemment des accidents morphoclimatiques: inondations, crues boueuses, effondrements de chaussée, dus au remblaiement du réseau de drainage. Une approche historique de ces événements a été menée par dépouillement de la presse entre 1900 et 1988 pour identifier les zones sensibles et apprécier à quel rythme ils se produisent. La méthode mise au point pour analyser une information éminemment qualitative est exposée: un fichier de résumés d'articles a permis d'identifier 567 accidents cartographiés et analysés par fréquence, puis rapportés à la croissance urbaine. Les problèmes de gestion de l'environnement d'une grande ville de montagne sont ensuite discutés.

ABSTRACT.— **Urban environment and morphoclimatic risk: Quito, Ecuador (1900-1988).**— The city of Quito (2 800 m) is frequently subject to morphoclimatic hazards: floods, mud flows, caved-in pavements, caused by filling in the natural drainage network. A diachronic approach to these hazards has been adopted, based on the analysis of daily newspapers (1900-1988) in order to identify the vulnerable areas and assess their frequencies. The method developed to analyse mostly qualitative data is presented: a data set of newspapers' articles facilitated the mapping of 567 hazards which have been correlated with urban development. The environmental issues of a metropolis located in the mountains are discussed.

COULÉE DE BOUE, ENVIRONNEMENT URBAIN, ÉQUATEUR, GLISSEMENT DE TERRAIN, INONDATION, RISQUE NATUREL

ECUADOR; FLOOD, LANDSLIDE, MUD FLOW, NATURAL HAZARD, URBAN ENVIRONMENT

La ville de Quito vit sous la menace permanente d'un risque morphoclimatique lié à de brefs excès d'écoulement de l'eau, qui produisent quatre à cinq accidents par an en moyenne. L'existence de risques majeurs, sismique et volcanique, de fréquence faible mais de gravité incomparablement supérieure, relativise l'ampleur de ceux du drainage, qui restent limités à des dégâts de gravité faible ou moyenne, localisés par quartier. Les décès dus à des coulées de boue ou à des effondrements n'ont pourtant pas été rares; le risque affectera très probablement plusieurs quar-

tiers de la ville dans les prochaines années; il pose de sérieux problèmes de gestion de l'environnement urbain.

Il a donc semblé intéressant d'étudier le passé de ces phénomènes, à la manière des études menées par les sismologues sur les tremblements de terre historiques. En ville, où la modification radicale de l'environnement interfère avec les manifestations climatiques et les formations superficielles, l'approche purement géomorphologique permet difficilement d'aboutir à des conclusions utilisables pour la

ORSTOM Fonus Documentaire

N° : 36 163. ep 1

Cote : B M

P 19

Pierre Peltre

123

B 36 163, Ex 1

gestion de l'espace urbain, et c'est la connaissance fine du passé qui fournit les meilleures informations.

L'approche historique a été conduite à partir des journaux, seul matériau ayant conservé la mémoire de ces phénomènes. Le dépouillement du principal quotidien équatorien (1) depuis 1900 fait apparaître 317 événements climatiques ayant causé suffisamment de dégâts pour être pris en compte par les journaux. Une partie de ces événements ont affecté plusieurs lieux dans la ville, et ce sont en réalité 567 accidents morphoclimatiques urbains qui ont été enregistrés en 87 années, soit plus de quatre par an, qui n'ont pas tous la même ampleur ni la même gravité.

I. Urbanisation et problèmes du drainage

1. Le site urbain

La ville de Quito se situe à 2 800 mètres d'altitude, à 0° 10' S, au pied du volcan actif Pichincha (4 794 m); elle occupe au flanc du volcan un gradin tectonique qui domine de 300 m environ le sillon interandin, nord-sud, séparant les cordillères orientales et occidentales. Le site a l'aspect d'une gouttière étroite de 30 km sur 3 à 5, 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 10 à 20 m d'épaisseur. Ces formations opposent peu de résistance à l'érosion fluviale, et s'indurent 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.

(1) *El Comercio*, paru sans interruption depuis 1904, a pris le relais de *La Patria*, que l'on a analysé à partir de 1900.

Le climat de la ville est de type équatorial d'altitude, avec une température moyenne annuelle de 13,5 °C et des amplitudes thermiques diurnes très supérieures à l'amplitude annuelle (2). Le régime pluviométrique est distribué en deux saisons des pluies, d'octobre à novembre et de février à mai (cf. fig. 2).

La pluviométrie est affectée d'un fort gradient du nord de la ville (800 mm) au sud (plus de 1 400 mm) sur une distance d'environ 35 km, dû pour l'essentiel au volcan Pichincha qui abrite le nord de la ville de l'entrée des masses d'air humides de sud-ouest dans la vallée interandin, ainsi qu'à des effets de fœhn (3). L'intensité des précipitations est forte, conformément aux caractères équatoriaux du climat.

Tableau I
Station de Quito Observatoire.

| Fréquence Temps | médiane I(mm/h) | décennale I(mm/h) | centennale I(mm/h) |
|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 5 minutes | 100,0 | 126,4 | 150,1 |
| 15 minutes | 65,0 | 83,7 | 100,6 |
| 30 minutes | 46,3 | 58,5 | 69,2 |
| 60 minutes | 27,4 | 35,1 | 42,3 |

Source: ALULEMA, OJEDA, NOUVELOT, POURRUT, 1985.

2. 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 dépassant actuellement le million d'habitants. La ville a accru sa superficie de près de 40 fois entre 1880 et 1980, et l'examen des plans successifs montre que trois étapes peuvent être distinguées dans la progres-

(2) La température varie en effet couramment entre 9 et 22 °C dans la journée, alors que l'écart entre les moyennes mensuelles extrêmes au cours de l'année ne dépasse pas 0,5 °C

(3) Par régime de vent d'est amenant des masses d'air amazoniennes, le flux sec qui redescend dans le sillon interandin après avoir passé la Cordillère orientale est tout particulièrement canalisé par la vallée du rio Guayllabamba, et rejoint les régions côtières, contribuant puissamment aux caractères semi-arides du climat au nord de la capitale.

sion du domaine urbain (fig. 3; cf. De Noni, Fernandez de Castro, Peltre, 1986):

— depuis la fondation du Quito colonial en 1534 jusqu'au début du xx^e siècle, la croissance est lente et se réalise selon un schéma radial, autour du centre colonial; en 1902 la ville n'occupe encore que 200 ha;

— durant la première moitié du xx^e siècle, la progression est plus rapide, sous forme de fins tentacules le long des voies de communication vers le nord et vers le sud. En 1950, la superficie urbanisée atteint 1 300 ha;

— c'est à partir de cette époque que l'urbanisation s'accélère dans des proportions considérables pour atteindre 12 500 ha; le remblaiement des quebradas, pratiqué dès l'époque coloniale, s'accélère, et les drainages naturels sont remplacés par des égouts.

Les quebradas sont des ravins à bords vifs qui ne coulent que quelques jours par an en crues brutales et violentes, lors des précipitations les plus intenses. Sur les pentes du Pichincha (20 à 30 °) et sur celles du revers du gradin tectonique (15 °) à l'est de la ville, les quebradas sont incisées de dix à vingt mètres; dans le fond de la gouttière, les plus actives se noient dans leurs propres épandages. Elles se rassemblent en trois exutoires seulement (4). Le réseau d'égouts assure non seulement l'évacuation des eaux usées, mais également celle des eaux pluviales du Pichincha.

Les premiers remblaiements datent de l'époque coloniale dans le centre historique, et se poursuivent aujourd'hui avec constance dans les quartiers périphériques, où ils accompagnent l'extension urbaine. Ce remblaiement est la principale cause des inondations, des crues boueuses et des effondrements: le réseau d'égouts ne suffit pas à évacuer les débits de pointe; sur 19 quebradas du Pichincha, 12 présentent un déficit d'évacuation parfois considérable (tableau II).

(4) Sur l'ensemble du site, les quebradas changent de nom le long de leur cours; les noms anciens *quichua* ont souvent été remplacés par un ou plusieurs noms espagnols, ceux des haciendas traversées. Il a fallu établir un fichier de correspondance (cf. Peltre, 1989) pour identifier clairement les quebradas mises en cause dans les relations d'accidents par les journaux.

L'EMAP-Quito (5) cherche à maîtriser cette situation en aménageant des retenues-tampon autour de certaines des prises 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 intenses. Ces aménagements étant pour la plupart récents, il est encore très difficile de juger de leur efficacité.

Lorsque les débits de fréquence décennale sont approchés ou dépassés, les eaux et la boue envahissent les rues, provoquant inondations et crues boueuses. 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 mises en charge des canalisations et aboutit parfois à leur rupture, induisant alors des phénomènes d'érosion souterraine et des effondrements de chaussée.

Quito est également menacée par deux risques majeurs, sismique et volcanique, de fréquence faible mais de gravité incomparablement supérieure (6). Ceci relativise l'ampleur du risque dû au drainage, qui reste limité à des dégâts localisés par quartier, et de gravité moyenne.

(5) 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, 1986.

(6) Les séismes n'ont jamais fait de dégâts très importants à Quito, mais des villes éloignées d'une centaine de kilomètres seulement ont été complètement détruites comme Riobamba (1797), Ibarra (1868) ou Ambato (1949). Le récent tremblement de terre du 5 mars 1987 (7,5 degrés sur l'échelle de Mercalli), qui ne fit que des dégâts légers dans la ville, mais frôla les destructions plus sévères, rappelle que la capitale est bâtie à la verticale de la zone de subduction de la plaque océanique Nazca sous la plaque continentale, et que le risque sismique y est très élevé. Le Pichincha a eu plusieurs éruptions depuis la fondation de la ville espagnole; la plus connue, en 1660, n'a provoqué que des chutes de cendres sur la ville (tout de même jusqu'à 40 cm d'épaisseur...). Il présente actuellement une faible activité géothermique permanente, mais les géologues estiment qu'il s'agit d'un volcanisme de type péleén, explosif, qui rejette surtout des cendres et des nuées ardentes, et constitue donc un danger très important pour la ville en cas d'éruption violente, peu prévisible encore dans l'état actuel de l'art.

Tableau II
Capacité d'évacuation des crues de fréquence décennale.

| Quebrada | Rumiurcu | Atucuchu | Pulida Chico | Rumipamba | Manzanachupa | Caicedo |
|--------------------------------------|----------|----------|--------------|-----------|--------------|---------|
| 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 |

Source: DE NONI, FERNANDEZ DE CASTRO, PELTRE, 1986; CMD, 1977, chap. 14.

II. Les accidents morphoclimatiques urbains dans la presse

1. Le traitement de l'information

Chacune des fiches du dossier de presse «Eventos» correspond à un événement, forte précipitation ayant provoqué un ou plusieurs accidents en différents endroits de la ville. Un second fichier de 567 accidents au sens strict, correspondant chacun à une localisation précise, a été dérivé du premier (fichier «Accidentes», publié dans Peltre, 1989), permettant l'étude de fréquence et la cartographie des zones touchées.

Ce travail d'identification géographique présente des difficultés: les localisations indiquées par le journaliste sont souvent peu précises, constituées de quelques noms de rue, ou de celui d'un ou deux quartiers plus ou moins bien identifiés par ses habitants, à défaut de l'être correctement sur les plans; il est parfois difficile de déterminer si une zone assez ample, affectée par l'excès d'eau, a un seul ou plusieurs foyers d'accidents, et la part d'appréciation reste grande dans cet exercice.

Il est probable que les journaux n'ont pas toujours rendu compte de façon homogène de ces accidents au cours du temps: l'actualité internationale au cours de la dernière guerre mondiale a pu réduire la place faite à des accidents mineurs. Les journaux du début du siècle, plus faiblement intégrés que maintenant aux réseaux mondiaux des agences d'information, retenaient sans doute des nouvelles locales plus minces qu'aujourd'hui.

L'instrument d'observation utilisé est donc imparfait; c'est le seul disponible. Tous les accidents importants ont été rapportés; le problème réside plutôt dans une probable irrégularité de traitement des accidents de faible gravité, dont

on peut raisonnablement supposer qu'ils ne biaisent l'analyse que dans le détail, et non dans ses grandes lignes. Cette imprécision nous a cependant incité à ne constituer que des groupes géographiques ou chronologiques suffisamment importants pour conserver une signification.

Compte tenu de l'imprécision sémantique souvent insurmontable, et pour éviter de morceler le fichier, nous avons regroupé les accidents relevés en quatre catégories simples: ceux liés à un simple excès d'eau (*inundaciones*), les crues boueuses ou coulées de boue (*aluviones* et *aludes*), les éboulements et glissements de terrain (*derrumbes* et *deslaves*), les effondrements de chaussée (*hundimientos*).

Chaque événement a été cartographié au mieux des indications de localisation que fournissait chaque article. L'ensemble est représenté dans la figure 1, de même que les quebradas et un fonds urbain simplifié.

2. 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. Elles sont concentrées dans l'espace et ne durent guère plus de deux à quatre heures. La moitié correspond directement à l'insuffisante capacité d'évacuation des débits de pointe des quebradas qui dominent la ville. Dans les autres cas, c'est la capacité d'évacuation du seul ruissellement urbain qui est en cause.

Qu'elles proviennent des débits de crue ou du seul ruissellement urbain, 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, ne dépassant guère 1 m ou 1,50 m 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», un même épisode pluvieux provoquant fréquemment plusieurs foyers d'inondation dans la ville.

Si ces inondations ne provoquent ordinairement que des dégâts mineurs, inondation des rez-de-chaussée, quelques maisons précaires abîmées ou parfois détruites, usure accélérée des chaussées, surtout dans les quartiers périphériques où elles ne sont pas revêtues, elles paralysent dans tous les cas la circulation dans la ville, sur des superficies très supérieures à celles identifiées comme inondées par le journaliste. Elles sont fréquentes et constituent environ la moitié des accidents relevés: le fichier compte 163 événements pluviométriques depuis 1900, qui ont occasionné 233 inondations proprement dites dans toute la ville, soit près de trois par an en moyenne.

Les crues boueuses

Répertoriées par les journalistes comme *aluviones*, *aludes* et parfois *deslaves*, ces accidents sont moins fréquents (73 accidents de ce type ont été recensés en 70 événements) mais nettement plus destructeurs que les inondations: outre la boue déposée sur 30 à 60 cm d'épaisseur, toujours présente, des pierres, blocs et troncs d'arbre 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 km sur 100 à 400 m de largeur. Les dégâts peuvent être importants, avec destruction partielle de maisons, de voitures et d'équipements de voirie, colmatage du réseau d'égouts sur des superficies importantes, et parfois même pertes de vies humaines.

Il s'agit soit de coulées de boue, relativement peu liquides et très localisées, soit plus fréquemment de crues à forte charge solide, allant dans les cas les plus graves jusqu'à charrier des pierres et des blocs sur des surfaces beaucoup plus étendues. Ce sont des accidents de la périphérie de la ville, exclusivement liés au tracé des actuelles quebradas, qu'il est presque toujours possible d'identifier même lorsque le journaliste n'en parle pas. En dépit des journaux, les embâcles en amont ne jouent guère de rôle. Dans l'aluvión de la quebrada La Raya, que nous avons pu étudier «à chaud» (cf. De Noni, Fernandez de Castro, Peltre, 1988), la

cause directe de la crue doit être attribuée au caractère exceptionnel de la précipitation, d'une intensité de 60 à 80 millimètres par heure en 30 minutes. Dans un autre cas ayant fait l'objet d'un compte rendu scientifique, l'accident de l'avenida La Gasca du 25 février 1975 (deux morts) les journaux ont également fait état d'un embâcle, non confirmé par l'étude réalisée (cf. Feininger 1975), qui attribue l'origine de la très importante charge solide, estimée à 52 000 m³, à un seul et brutal épisode d'érosion du lit de la quebrada Pambachupa. Les crues boueuses sont de même nature que les inondations, avec des effets aggravés par la charge solide importante. Au dépouillement, les deux types d'accidents ne sont pas toujours faciles à distinguer, compte tenu de l'imprécision du vocabulaire.

Les effondrements

Qualifiés de *hundimientos*, les effondrements de chaussée sont dus aux égouts défectueux dans le matériau de remblaiement des anciennes quebradas. Ce sont les accidents les plus rares (36 depuis 1900). Ils sont cependant spectaculaires 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 raides, 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. Il arrive aussi qu'un édifice soit affecté par de tels affaissements, mais beaucoup plus rarement, dans la mesure où l'on a évité de construire sur les superficies remblayées, habituellement réservées aux avenues et à des espaces de loisirs. Certains effondrements de chaussée atteignent des proportions spectaculaires, tel celui du 1^{er} février 1984 dans l'avenida de los Libertadores, où la quebrada Navarro a repris son cours naturel, ouvrant l'avenue sur 200 m de long, 30 de large et 20 de profondeur.

On ignore tout du temps de latence entre la cause de l'accident (la précipitation qui induit la rupture de canalisation) et l'événement lui-même. Les deux derniers affaissements de grandes dimensions datent du début 1984, au cours d'une saison des pluies jugée assez forte, mais les deux précédentes avaient été exceptionnelles; on peut donc imaginer un délai de préparation des accidents entre quelques mois et deux ans, sans pouvoir préciser plus. L'incidence du phénomène est du reste beaucoup plus élevée que ne le laisse apparaître le compte des accidents: un très grand nombre de petits affaissements progressifs, non catastrophiques, affecte les rues et avenues, mobilisant les services de voirie.

Les éboulements

Décrits sous les termes de *derrumbe* et parfois de *deslave* ou de *deslizamiento*, ce sont des accidents très ponctuels qui affectent les quartiers construits sur des pentes raides. Assez fréquents avec 114 fiches, 21 d'entre eux sont simplement décrits comme des effondrements de maisons pour lesquels il est difficile de distinguer quelle est la part de l'instabilité du terrain et celle de la simple vétusté des bâtisses, principalement dans la vieille ville coloniale; la plupart des articles mentionne cependant des orages violents comme cause première, et parfois un terrain instable par suite du remblaiement d'une quebrada proche. Aussi nous avons compté ces effondrements de maisons comme des éboulements, la surestimation de leur nombre due aux effondrements par simple vétusté des édifices n'excédant probablement pas 10%.

Des morceaux de talus, hauts de quelques mètres, d'un volume limité, s'éboulent, emportant quelques maisons ou enterrant celles qui se trouvent en aval. Ces accidents arrivent surtout en saison des pluies, et 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. Bien que très localisés, ce sont des accidents graves, puisqu'ils affectent des talus de 5 à 10 m de haut, qui détruisent des maisons entières et entraînent des pertes de vies humaines. Ils sont meurtriers (115 morts sur 171 répertoriés dans le fichier). Leur cartographie (cf. Peltre 1989) reste faiblement significative, soulignant simplement les quartiers édiés sur des versants raides. Ils sont liés à une urbanisation pauvre de pentes fortes, où la construction est restée très

artisanale, les talus mal ou pas étayés, et très insuffisamment drainés; il semble que des quartiers plus riches, parfois construits sur des pentes également fortes, ne souffrent pas de ce genre de problèmes.

Les quatre types d'accidents que nous venons de décrire dépendent tous des conditions d'évacuation des eaux de ruissellement dans la ville: inondations et crues boueuses associées aux précipitations les plus intenses; les effondrements aussi, mais avec le retard dû à l'évolution géomorphologique souterraine; les éboulements dépendant de l'infiltration et de la dynamique de l'eau dans les sols des versants raides sous certaines conditions de saturation.

III. Fréquence et localisation des accidents

1. Rythmes d'occurrence

La courbe des fréquences annuelles des accidents montre deux phases fortes (1915-1928 et 1950-1987), mais qui n'ont aucune corrélation avec les variations annuelles des précipitations, à défaut des données journalières ou horaires. En revanche, la fréquence mensuelle des accidents est bien associée à la moyenne mensuelle des précipitations sur 89 années (cf. Alulema, Ojeda, Nouvelot, Pourrut, 1985) (fig. 2).

Les crues boueuses semblent apparaître avec un mois de retard sur le maximum d'octobre, pour se développer complètement de février à mai, comme les éboulements; on peut supposer que les crues boueuses sont directement alimentées en charge solide par des éboulements dans l'amont du bassin versant des quebradas, ou tout au moins par des conditions d'affaiblissement de la structure de leurs berges dues à l'humectation des sols en profondeur, conditions voisines de celles qui provoquent les éboulements. Le temps nécessaire pour réaliser cette humectation expliquerait le décalage que l'on observe par rapport aux maxima pluviométriques, ce décalage étant plus net pour octobre, début brutal de la saison des pluies, que pour avril, où cette dernière est déjà installée depuis plusieurs mois.

Les effondrements de voirie ont une distribution voisine et sont donc liés à un ruissellement souterrain en phase d'activité; mais leur préparation peut demander un ou deux ans.

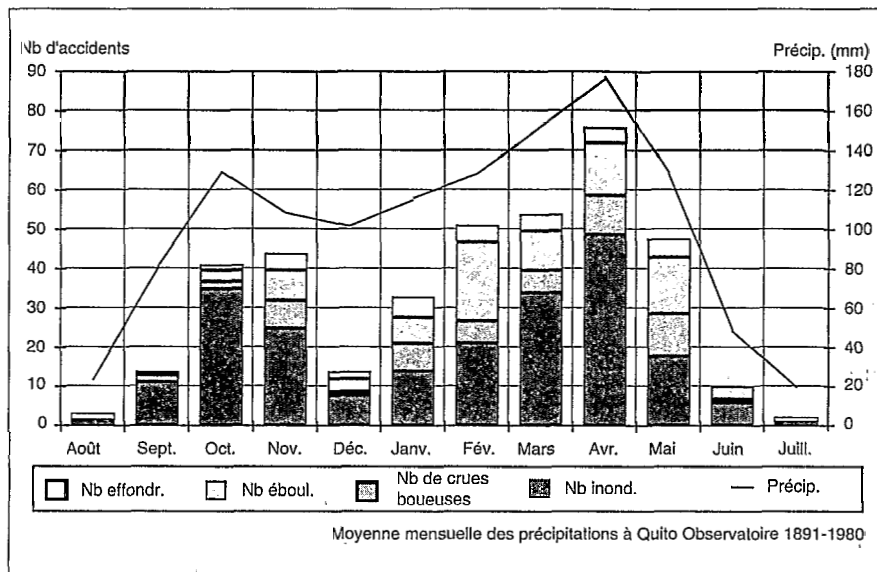


Fig. 2.— Fréquence mensuelle des accidents à Quito 1900-1988.

En un siècle la ville a multiplié sa superficie par 40, et les fréquences d'accidents doivent être rapportées à la croissance urbaine. Nous avons ainsi construit les histogrammes de fréquences (fig. 3) selon trois zones successives de croissance urbaine.

La figure 3 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 (7): peu d'accidents dans la première moitié du siècle pour les deux auroles de croissance urbaine, et mode principal en 1983, dans la zone la plus récemment urbanisée. Ce glissement dans les fortes fréquences annuelles globales s'accompagne d'un déplacement des modes dans la fréquence des éboulements et crues boueuses: nombreux dans le centre colonial jusqu'en 1930, ils se raréfient ensuite et disparaissent presque après 1963,

(7) Les 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.

alors qu'ils sont fréquents dans la zone 1900-1947, et qu'ils dominent 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 produisent plus haut en amont sur le cours des ravins, là où commence le remblaiement. C'est mainte-

nant la périphérie qui subit ces accidents, caractéristiques de la frange où les bassins versants 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. La fréquence des inondations semble même régresser dans le centre depuis 1961; 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 décennies difficiles. Durant cette période, ce sont surtout des zones planes 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 ravins remblayés dans cette partie de la ville étant peu profonds; ainsi que celui des éboulements, absents des terrains plats.

La zone la plus récemment urbanisée a une forte proportion de crues boueuses et d'effondrements. Les années 1982 à 1984 battent tous les records sur l'ensemble de la période;

Les inondations ont été décomptées par événement pluviométrique journalier, pour éviter de leur donner en fréquence un poids excessif du fait de leur grande extension; les trois autres types, plus ponctuels, ont été comptés par foyer géographique. De ce fait, le tableau III indique un total (457) supérieur à celui des événements (357), et inférieur à celui des accidents (567) selon ce principe: nombre des épisodes journaliers d'inondations; plus nombre des autres accidents géographiquement localisés.

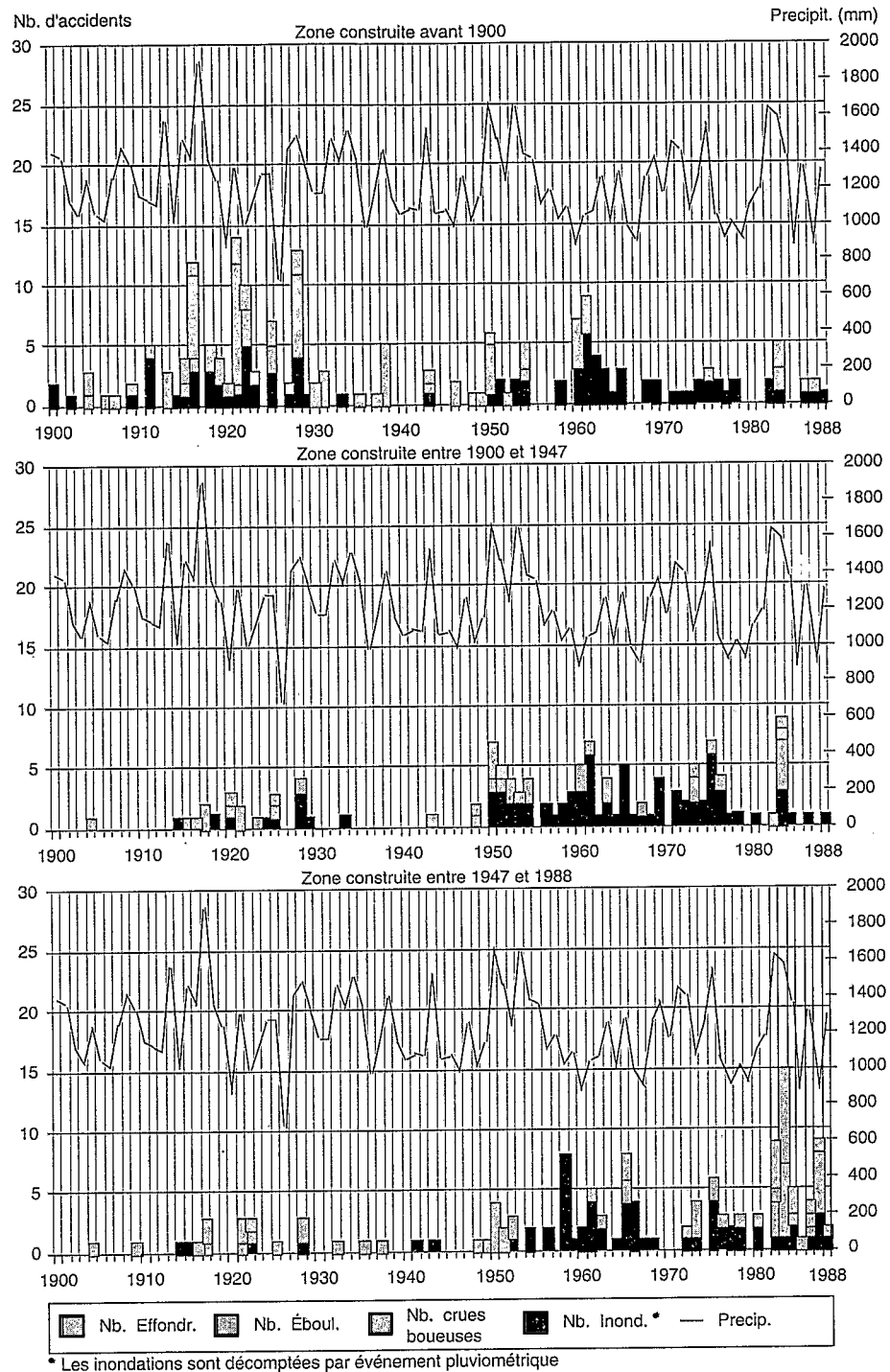


Fig. 3.— Quito: fréquence des accidents.

Tableau III
Nombre d'accidents et croissance urbaine.

| Zone construite: | avant 1900 | de 1900 à 1947 | de 1947 à 1986 | total |
|------------------|------------|----------------|----------------|-------|
| Inondations | 89 | 82 | 62 | 233 |
| Crues boueuses | 24 | 18 | 31 | 73 |
| Éboulements | 56 | 21 | 38 | 115 |
| Effondrements | 21 | 6 | 9 | 36 |
| Total | 190 | 127 | 140 | 457 |

s'il est vrai que l'année 1983 correspond à un phénomène de Niño très accusé et à des inondations catastrophiques dans la région côtière (8), 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 1980 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 ravins, 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 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.

2. Distribution spatiale

La cartographie de l'évolution des accidents dans le temps (fig. 4) confirme l'analyse par fréquences: les crues boueuses, très présentes dans le centre historique entre 1900 et 1967, y disparaissent ensuite. Au cours de la période 1968-1988, elles sont localisées à la périphérie de la ville,

(8) El Niño correspond à un phénomène océanique sur les côtes du Pérou et de l'Équateur, 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 averses ni augmenter les totaux journaliers (cf. Nouvelot et Pourrut, 1986).

ce qui apparaît nettement au sud du Panecillo, alors qu'au nord le phénomène est moins net, masqué par un large étalement des écoulements. Pourtant dès le début du siècle on note des crues boueuses au pied des grandes quebradas du Pichincha, dans des zones non urbanisées où le drainage naturel a été encore peu tou-

ché (9); 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 d'aménagement du drainage, de préférence maintenu à ciel ouvert.

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. 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 accidentés de la ville.

Les vingt dernières années comportent deux crues boueuses de gravité et d'extension exceptionnelles: l'aluviôn de La Gasca de 1975 (quebrada Pambachupa), qui est arrivée jusqu'au quartier de la Mariscal Sucre et, au nord, celle de la quebrada Rumiurcu de 1983, qui a affecté la nouvelle avenue Occidentale et le quartier de Cotocollao, ancien village de la périphérie, et s'est répétée trois fois au cours de la période étudiée sans qu'il soit cependant possible de comparer clairement la gravité de ces récives. À 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.

(9) 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.

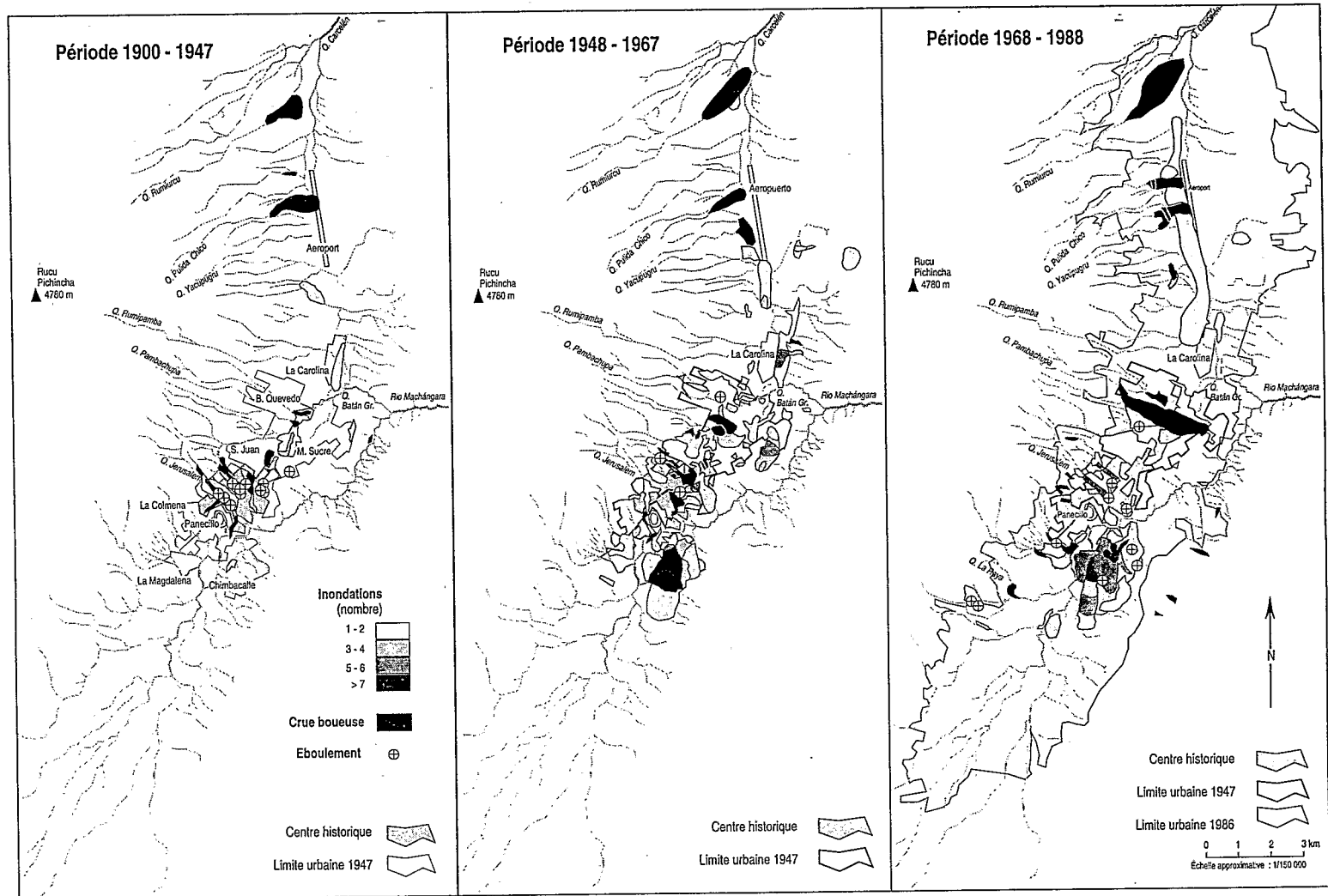


Fig. 4.— Analyse historique.

3. Gravité des accidents

La cartographie des accidents survenus depuis 1900 permet d'identifier des zones sensibles aux problèmes du drainage dans la ville. Cependant tous ces événements ne sont 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. Les accidents ont donc été affectés d'un degré de gravité en quatre catégories selon des critères simples, facilement identifiables dans les descriptions qu'en faisait le quotidien: 3: gêne du trafic, dégâts légers; 2: dégâts matériels rapportés par le journaliste, trafic très gêné; 1: existence de morts et blessés, dégâts matériels importants; 0: gravité et extension exceptionnelles. Au total 71 accidents ont causé des dégâts importants ou très importants ou des morts et des blessés depuis 1900 (degré de gravité 1 et 0): 27 éboulements, 24 crues boueuses, 15 inondations et 5 effondrements.

On a observé que, sur 163 inondations qui affectent la ville, seul un petit nombre d'entre elles sont graves; les accidents graves commencent en 1911 par une crue du rio Machangara qui fait 6 victimes, et par deux éboulements en 1913 au débouché de la quebrada Jerusalem; ils se poursuivent en 1917 par deux crues boueuses de la quebrada Pambachupa (déjà!), et une de la quebrada Jerusalem en 1922, qui semblent marquer le début des grands travaux de remblaiement et de modification du réseau de drainage. Tous les accidents très graves se sont produits entre 1973 et 1984, soulignant probablement l'ampleur croissante des grands travaux de l'urbanisation récente.

Les fichiers recensent 168 morts sur l'ensemble de la période. Il s'agit là d'une estimation approchée, le journaliste n'ayant pas toujours donné un nombre exact des victimes; lorsqu'il n'a été mentionné que «plusieurs morts» 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 dus aux seuls éboulements, type d'accident le plus meurtrier, et 70 aux crues boueuses; les inondations ont fait 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 le danger de ces accidents par rapport aux 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; les destructions complètes de maisons sont rares; c'est dans le domaine des réparations de voirie que l'on enregistrerait les coûts de gestion les plus élevés.

4. Le futur: les risques morphodynamiques exceptionnels

Dans l'hypothèse (Peltre 1989) d'un séisme survenant au cours d'une période exceptionnellement humide, affectant des sols saturés d'eau en profondeur, on pourrait très probablement assister à des glissements de terrain de grande ampleur, pouvant causer plusieurs centaines de morts. La probabilité de tels accidents reste faible, exigeant la conjonction de deux phénomènes de fréquence d'occurrence rare, mais elle existe et doit être prise en compte dans l'estimation du risque urbain. Les quartiers les plus menacés dans cette hypothèse sont ceux des pentes fortes, ou au pied des grands versants raides.

Une éruption du Pichincha, couvrirait le massif d'une couche de cendres, de 10 à 25 cm d'épaisseur. Ce dépôt provoquerait dans la ville la paralysie des transports, l'arrêt probable de la distribution d'eau potable, et éventuellement des effondrements de maisons au cas où il atteindrait plus de 25 cm. Les pluies violentes, très probables par suite des projections massives de cendres en altitude où elles constituent une densité élevée de noyaux de condensation, provoqueraient des crues boueuses de grande ampleur. Un quart à la moitié de la ville serait affecté par des lahars destructeurs. Dans l'hypothèse la plus basse, il faudrait s'attendre à un lahar dans chaque ravin traversant la ville, dont cinq dépasseraient le double ou le triple du volume estimé de la pire crue boueuse enregistrée depuis 1900 — l'*aluvión* de l'Avenida La Gasca (70 000 m³) — et quatre atteindraient cinq, six et dix fois ce volume. Dans une hypothèse

moyenne, on pourrait s'attendre à dix-sept lahars dépassant 100 000 m³, la plupart des petites quebradas approchant le volume de l'aluvión de la Gasca. Enfin dans le cas d'une chute de cendre importante (plus de 20 cm d'épaisseur), le volume de boue mobilisé dans la plupart des talwegs dépasserait largement le double de celui de l'accident de la Gasca, et huit, dix et dix-huit fois son volume pour les quebradas Jerusalem, Rumipamba et Rumiurcu. Dans les trois hypothèses étudiées, on aurait affaire à une véritable catastrophe urbaine susceptible de provoquer plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de morts si l'évacuation des zones menacées n'est pas décidée en temps utile.

Enfin dans le cas d'une éruption du volcan Cotopaxi (5 897 m), situé à une soixantaine de kilomètres au sud de la capitale, la fusion partielle des glaciers qui couvrent son cône sommital provoquerait un lahar de grande ampleur dans la vallée des Chillos. Cette partie du sillon interandin, au pied du gradin tectonique où est construite la ville, voit s'implanter, depuis deux décennies, de nombreux quartiers résidentiels édifiés en grande partie sur les dépôts du lahar provoqué par la dernière éruption du Cotopaxi, en 1877. La population est passée dans cette zone de moins de 25 000 habitants à la fin du siècle dernier à plus de 200 000 actuellement, et R. D'Ercole (1989) estime que près de 10 000 personnes seraient directement menacées par le lahar dû à une éruption de proportions moyennes, et 95 000 par celui d'une éruption de grande ampleur. C'est dire que la prochaine éruption du Cotopaxi pourrait faire autant ou plus de victimes que celle du Nevado del Ruiz de novembre 1985 en Colombie (25 000 morts), risque non négligeable si l'on prend en compte les six périodes éruptives que ce volcan a connues en moins de cinq cents ans.

Conclusion:

croissance urbaine et gestion du milieu

Sous des dehors tranquilles, la ville de Quito compte ainsi un nombre considérable d'accidents qui, après dénombrement, étonne même les vieux Quiténiens. Certains de ces événements ont marqué la mémoire collective, tel l'aluvión de l'Avenida La Gasca en février 1975, qui fut l'un des plus graves enregistrés, ou cet effondrement de la chaussée en mai 1978 dans l'avenue América, qui engloutit une Volkswagen à deux heures du matin sous les yeux ébahis du chauffeur du bus qui la croisait. L'hiver 1982-1983 a égale-

ment laissé un vif souvenir, mais des années noires comme 1950, 1958 ou 1961, qui furent presque aussi graves, semblent avoir disparu de la mémoire collective, et il faut les exhumer des archives de presse pour en mesurer l'ampleur.

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.

Que faire ?

Il existe des solutions techniques par l'amont pour maîtriser ces accidents, ou diminuer leur fréquence et leur gravité: l'EMA a réalisé des aménagements pour écrêter les crues; associés à des mesures de protection et de stabilisation des versants, ces travaux doivent permettre de réduire la gravité des crues s'ils sont bien conçus. Dans ce domaine, l'herbe protège aussi bien de l'érosion, voire mieux, que les forêts d'eucalyptus qui peuplent en partie les versants du Pichincha; le débat mené à Quito sur le «bosque protector del Pichincha» (10) doit donc être pris au sens large d'une indispensable limitation de l'urbanisation des versants, plus que d'une reforestation proprement dite, qui ne s'impose pas nécessairement.

(10) Forêt protectrice du Pichincha, ordonnance municipale qui interdit l'urbanisation et la mise en culture des versants du volcan qui dominent la ville, et prévoit le reboisement des zones dénudées. Cette ordonnance est très difficilement respectée quant à l'extension de la ville, et fait l'objet d'un débat vigoureusement animé dans la presse de la capitale par la Federación Natura, association écologiste très active en Équateur.

Cependant le réseau d'égouts est construit selon l'EMA (11) pour n'absorber que les crues de fréquence d'occurrence quinquennale. Des travaux progressifs d'amélioration des collecteurs se trouvant le plus souvent en surcharge, qui porteraient leur capacité à l'évacuation de la crue décennale, ou de 20 ans, supprimeraient sans doute la quasi-totalité des petites crues boueuses et des inondations dans les secteurs concernés. Dans tous les cas il faut absolument cesser de remblayer les ravins, pratique qui reste très active dans toutes les nouvelles urbanisations et ne peut qu'amplifier les problèmes d'insuffisance du drainage dans le futur.

Pour les accidents graves, les solutions sont plus difficiles à élaborer: si l'on peut imaginer de détourner à ciel ouvert la quebrada Rumiurcu dans la quebrada Singuna (12), il est par contre difficile de proposer des mesures qui auraient évité l'accident de la Gasca de 1975; on ne peut que proposer, des mesures de stabilisation des versants et du lit de la quebrada, dans l'espoir de diminuer la puissance et la gravité du lahar. Ce type d'accident grave d'origine purement climatique est un risque rare, contre lequel il n'y a guère de protection complètement efficace, et avec lequel il faut vivre.

Les effondrements de chaussée peuvent être limités à long terme en soignant la qualité de construction des collecteurs chaque fois que des réparations sont nécessaires, de façon à leur donner une résistance suffisante à la pression atteinte lors des crues, valeur aisément calculée en fonction de la dénivelée du collecteur. Quant aux éboulements, ils relèvent de règlements d'urbanisme adéquats: limitation de l'urbanisation des pentes très fortes, et application de normes de construction adaptées au risque sismique et aux éboulements dans ces secteurs, en portant une attention toute particulière aux travaux de drainage des talus qu'impose l'urbanisation des versants.

(11) Note interne de l'EMA.

(12) Communication orale de l'ingénieur J. Carcélen (Quito).

Risque catastrophique

Enfin les risques morphodynamiques catastrophiques, liés aux séismes et à une éventuelle éruption du Pichincha, ne peuvent être traités qu'en termes de défense civile, par l'évacuation en temps utile des populations menacées. Encore faut-il avoir pris conscience de la gravité du risque, et traduire concrètement cette connaissance par l'élaboration d'un plan d'évacuation cohérent, appuyé sur l'éducation de la population.

Références

- ALULEMA R., OJEDA F., NOUVELOT J.-F., POURRUT P. (1985). *Proyecto acuífero de Quito. Informe final 1981-1985*. Quito: EMAP-Q, PRONAREG, INERHI, ORSTOM, multigr.
- CDM (1977). (Camp Dresser & Mac Kee Inc. y Consult. Ass. Ecuatorianos). *Planes maestros y Estudios de Factibilidad de los sistemas de agua potable y de alcantarillado*. Quito: USAID, 500 p. env., 17 chap.
- DE NONI B. et G., FERNANDEZ M. A., PELTRE P. (1988). «Drainage urbain et accidents climatiques à Quito (Équateur). Analyse d'un cas récent de crue boueuse». *Cahiers des sciences humaines*, Paris: ORSTOM, n° 24 (2), p. 225-249.
- D'ERCOLE R. (1989). «La catástrofe del Nevado del Ruiz. ¿Una enseñanza para el Ecuador? El caso del Cotopaxi. *Riesgos naturales en Quito. Estudios de Geografía*, Quito: Corporación Editora Nacional, n° 2, p. 5-32.
- FEININGER T. (1976). «El flujo de escombros en La Gasca. Un informe científico». *Boletín de la Sección Nacional del Ecuador*, Quito: IPGH, n° 5-6, enero-junio.
- NOUVELOT J.-F., POURRUT P. (1985). «El Niño. Phénomène océanique et atmosphérique. Importance en 1982-83 et impact sur le littoral équatorien». *Cahiers Orstom*, série «Hydrologie», vol. XXI, n° 1, p. 39-65.
- PELTRE P. (1989). «Quebradas y riesgos naturales en Quito, período 1900-1988». *Riesgos naturales en Quito. Estudios de Geografía*, Quito: Corporación Editora Nacional, n° 2, p. 45-91.
- WINCKELL A. (1984). «Primer informe técnico "La Mena II". Enero 1983». *Quito. Aspectos de su dinamismo geográfico. Documentos de Investigación*, Quito: CEDIG, n° 5, p. 82-83.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----|
| Rodolphe DE KONINCK. Rompre le cadre villageois: essai cartographique (9 fig.) .. | 97 |
| <i>Breaking the village circle: a cartographical essay.</i> | |
| Cynthia GHORRA-GOBIN. De l'alliance de la ville et de la haute technologie: les enseignements de la Silicon Valley (1 tabl., 1 fig.) | 109 |
| <i>The alliance between the high tech sector and the city: the example of Silicon Valley.</i> | |
| Chronique de science régionale 1989-1990 (A. BAILLY, H. BEGUIN, D. PUMAIN, Th. SAINT-JULIEN) | 119 |
| <i>Ville et environnement</i> | |
| Pierre PELTRE. Risque morphoclimatique urbain à Quito (Équateur, 1900-1988) (3 tabl., 4 fig.) | 123 |
| <i>Urban environment and morphoclimatic risk: Quito (Ecuador 1900-1988).</i> | |
| <i>Grand format</i> | |
| Paysage et modernité. Notes de lecture en forme d'hypothèse (A. BERQUE) | 137 |
| <i>Les mots de la géographie</i> | |
| Sur la naissance de l'«espace géographique» (M.-Cl. ROBIC) | 140 |
| <i>Méthodes</i> | |
| Jean-Claude THILL, Harry TIMMERMANS. Analyse des décisions spatiales et du processus de choix des consommateurs: théorie, méthodes et exemples d'applications | 143 |
| <i>The analysis of consumer spatial decision-making and choice processes: theory, methods, and examples of applications.</i> | |
| Alain MICHEL, Bernard LORTIC. Typologies urbaines et télédétection satellitaire. La notion de zones en milieu urbain (4 fig.) | 167 |
| <i>Urban typologies and remote sensing by satellite. The concept of zone in an urban environment.</i> | |
| <i>Géographies parallèles</i> | |
| Un Suédois en France (Jean-Louis TISSIER) | 179 |
| <i>Lectures</i> | |
| En relisant Pierre George (P. Claval); États-Unis-Québec-Suisse-France du Sud-Est: la <i>Concept connection</i> au service des représentations (R. Knafou); L'Italie (A. Dauphiné); La Pologne (V. Rey); Le Liban (Cl. Bataillon); La montagne au XVIII ^e siècle (B. Debarbieux); Voyager à la Renaissance (J.-L. Tissier); Déchiffrer la France (M.-Cl. Robic); Diviser pour unir: le maillage départemental (M.-Cl. Robic); Le territoire français à la fin du XVIII ^e siècle (R. Ferras). | 181 |

tome XXI, n°2
1992



L'ESPACE GÉOGRAPHIQUE tome XXI n° 2 1992 (parus 97 1992)

L'ESPACE GÉOGRAPHIQUE



2

PL 266

1992

■ L'univers du village en Malaisie

■ Les risques naturels à Quito

■ Décision spatiale et choix des consommateurs

■ Paysage et modernité • Ville et télédétection



RECLUS

Publication éditée avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique

CLAUDE BERTIN

PL 266