

Drainage urbain et accidents climatiques à Quito (Équateur)

Analyse d'un cas récent de crue boueuse (*)

Bernadette DE NONI (1), Georges DE NONI (2),
Maria Augusta FERNANDEZ DE CASTRO (1), Pierre PELTRE (3)

Géographes (1) CEPEIGE, Apartado 4173, Quito, Équateur,
(2) ORSTOM, Apartado 6596 CCI, Quito, Équateur,
(3) ORSTOM-CEDIG, Apartado 3898, Quito, Équateur

RÉSUMÉ

La ville de Quito a accru sa superficie de près de 40 fois au cours du dernier siècle, dans un site géomorphologiquement « sensible ». La croissance urbaine a ainsi transformé le drainage naturel de plus d'une centaine de « quebradas » (ravins au régime d'oued) en un système de drainage artificiel par le réseau d'égouts. Cette profonde transformation dans le fonctionnement géomorphologique du site provoque régulièrement des accidents (inondations, coulées de boue, effondrements), et pose des problèmes aigus de gestion du milieu urbain.

Ces problèmes géomorphologiques sont analysés en s'appuyant sur un relevé des accidents survenus depuis 1900. Puis la coulée de boue la plus récente est décrite à partir d'observations de terrain réalisées au lendemain de l'accident, et en analysant la précipitation à l'origine de la crue. L'étude conclut aux effets d'une croissance urbaine mal maîtrisée, face à un événement climatique de fréquence relativement habituelle (décennale).

MOTS-CLÉS : Équateur — Quito — Drainage urbain — Accidents climatiques — Crue boueuse — Géomorphologie urbaine.

RESUMEN

Drenaje urbano y accidentes climáticos en Quito (Ecuador). Análisis de un caso reciente de una crecida de lodo

La ciudad de Quito ha aumentado su superficie cerca de 40 veces durante el último siglo, en un sitio « sensible » desde el punto de vista geomorfológico. Así el crecimiento urbano ha convertido el drenaje natural de más de cien quebradas en un sistema urbano de drenaje por alcantarillas. Esta profunda transformación del funcionamiento geomorfológico del sitio causa accidentes con regularidad (inundaciones, coladas de lodo, hundimientos), y plantea problemas agudos de gestión del medio urbano.

Estos problemas geomorfológicos son analizados en base del estudio de los accidentes ocurridos desde 1900. Luego el aluvión más reciente esta descrito según las observaciones de terreno hechas en el lugar mismo del accidente, analizando además la lluvia que causo la crecida catastrófica. El estudio concluye que se trata esencialmente de efectos de un

crecimiento urbano mal controlado, frente a un evento climático de frecuencia relativamente habitual (decenal).

PALABRAS CLAVES : Ecuador — Quito — Drenaje urbano — Accidentes climáticos — Crecida de lodo — Geomorfología urbana.

ABSTRACT

*Urban drainage and climatic accidents in Quito (Ecuador).
Analysis of a recent case of muddy flood*

The area of the town of Quito has been increased by 40 times in the last century in a geomorphologically "sensitive" site. Therefore, the urban growth transformed the natural drainage of more than one hundred "quebradas" (ravines with a wadi regime) into a system of artificial drainage through the sewage system. This deep transformation in the geomorphology of the site leads to regular accidents (floods, mud flows, subsidences) and raises severe problems concerning the urban management.

These geomorphological problems are analysed by recording the accidents which have occurred since 1900. Then, the most recent mud flow is described from field observations made the day following the accident and by analysing the rainfall which is at the origin of the flood. The study comes to the conclusion that the urban growth is badly controlled when faced with a climatic event whose frequency is rather usual (ten years).

KEY WORDS : Ecuador — Quito — Urban drainage — Climatic accidents — Muddy flood — Urban geomorphology.

Traiter du fonctionnement géomorphologique d'un site urbain en termes de drainage et d'accidents climatiques dans le cadre d'une revue de Sciences Sociales peut surprendre de prime abord. Il s'agit cependant à Quito d'un problème aigu, aussi ancien que la ville coloniale elle-même, et toujours actuel.

Les accidents urbains, constitués pour l'essentiel de crues boueuses (« aluviones ») et d'inondations, y sont en effet rapportés par les chroniques dès l'époque coloniale, et n'ont jamais cessé. Bien qu'habituellement de gravité moyenne ou faible en regard des risques sismiques et volcaniques qui menacent l'ensemble du site, ces accidents géomorphologiques n'en ont pas moins des effets souvent dévastateurs à l'échelle du quartier, et leur coût social est loin d'être négligeable dans un tissu urbain qui s'est considérablement développé au cours des quatre dernières décennies.

Nous avons essayé de montrer ici que si la ville occupe progressivement l'espace et le reconstruit selon ses besoins, cet espace oppose des résistances difficiles à contourner, qui non seulement imposent des limites à l'expansion urbaine, mais également réapparaissent périodiquement en plein tissu urbain. Ne pas tenir compte de ces limites en termes de construction et de gestion du milieu urbain, c'est pour la collectivité citadine se condamner à des déboires plus ou moins graves, dont certains sont de véritables catastrophes.

Voilà pourquoi nous pensons que l'étude du fonctionnement géomorphologique du site urbain de Quito a bien ici sa place, en s'appuyant sur l'étude historique (encore en cours) des accidents survenus depuis 1900, puis en procédant à l'analyse détaillée du dernier « aluvión » venu perturber l'un des quartiers récents de la capitale Equatorienne. On verra notamment à quel point l'urbanisation mal maîtrisée aggrave et rend catastrophique un phénomène géomorphologique naturel de fréquence très moyenne, dont les conséquences en milieu rural restaient tout à fait mineures.

DRAINAGE ET CROISSANCE URBAINE : LE PROBLÈME DES QUEBRADAS DE QUITO

Le site urbain

La ville de Quito est située à 2 800 mètres d'altitude, pratiquement sous l'équateur (0 degrés 10' de latitude sud), au pied du volcan actif Pichincha (alt. 4794 m) (1). La cité occupe au flanc du volcan un gradin tectonique qui domine de 300 mètres environ le sillon interandin, vallée nord-sud séparant les Cordilières orientales et occidentales. Ceci donne au site l'aspect d'une gouttière étroite 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 cendres volcaniques et de tufs faiblement indurés, affectés de plusieurs failles importantes ; l'ensemble du site est presque uniformément recouvert de cendres volcaniques fines d'origine éolienne — la « cangahua » —, qui moulent la topographie ancienne d'une couche de dix à vingt mètres d'épaisseur, et présentent un aspect assez voisin (mais une composition géochimique distincte) de celui des loess d'Europe. Ces formations géologiques présentent la 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 de près d'une centaine de ravins (les « quebradas ») qui traversent le site urbain.

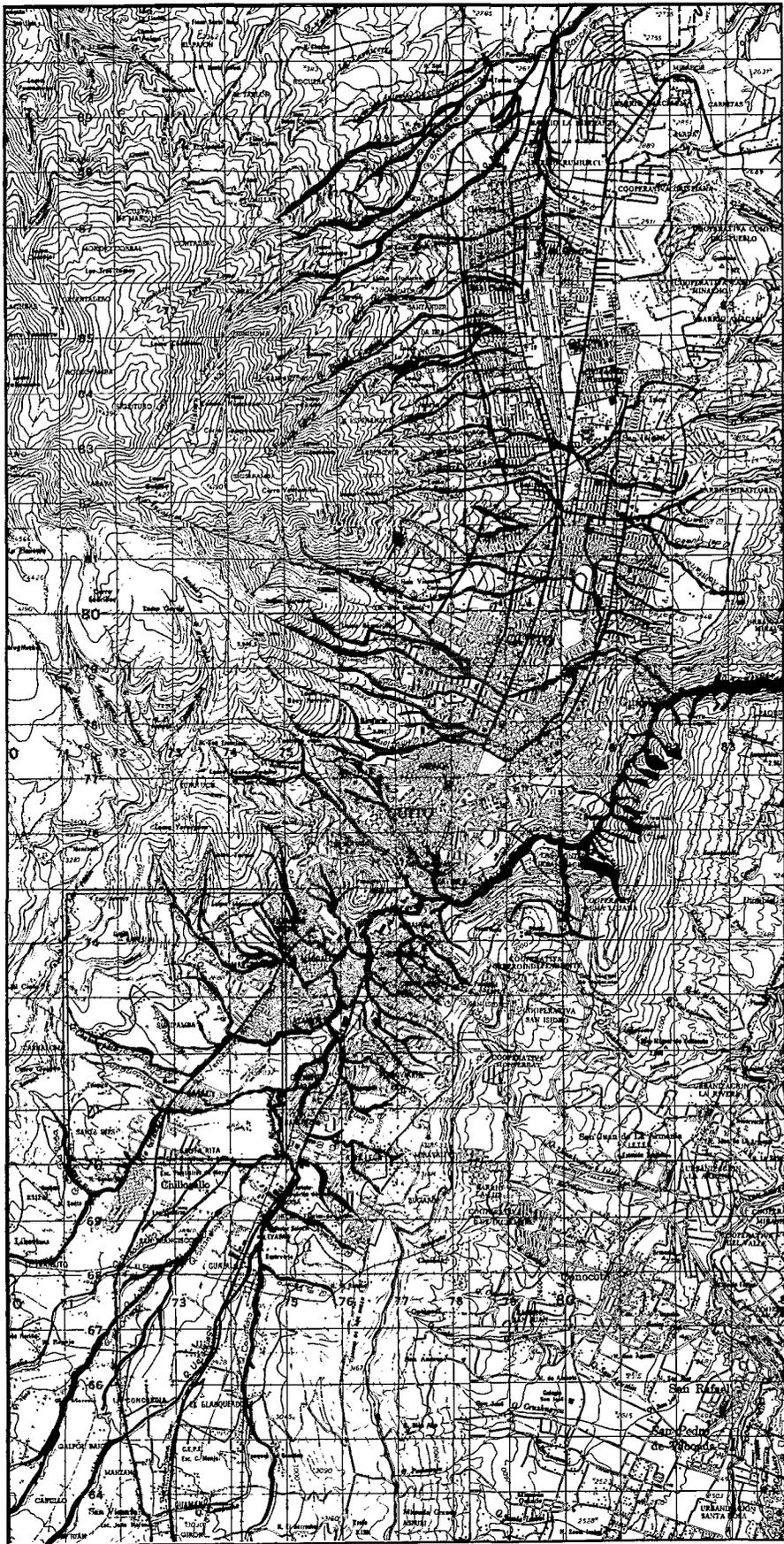
Sur les pentes du Pichincha (30 à 35 degrés) et sur celles du revers du gradin, à l'est de la ville (20 degrés), les quebradas sont incisées de dix à vingt mètres ; en arrivant dans le fond de la gouttière, les plus importantes conservent encore une profondeur de deux à trois mètres, alors que les plus petites ou les plus actives en termes de sédimentation ne sont plus marquées topographiquement.

Drainage et croissance urbaine

La ville de Quito a accru sa superficie de près de 40 fois entre 1880 et 1980 ; la topographie particulière de son site a imposé à la ville une croissance en longueur (3 à 4 km de large sur 25 km de long), l'occupation de versants raides à l'est et à l'ouest du site, et le remblaiement du réseau de drainage des quebradas (2) du Pichincha pour gagner de l'espace.

Les contraintes imposées à la croissance urbaine par la topographie du site ont induit un risque géomorphologique parfois important, dû pour l'essentiel aux modifications du drainage naturel. Ainsi à Quito 260 accidents ont été rapportés par les journaux entre 1900 et 1985, partagés entre les inondations et les coulées de boue (« aluviones ») au débouché des quebradas du Pichincha, les éboulements dans les quartiers périphériques établis sur des versants à pentes raides, et les effondrements causés par des phénomènes d'érosion interne dans les remblaiements de quebradas.

Les problèmes majeurs du site y sont directement liés au remplacement du système naturel de drainage par un système artificiel : le réseau d'égouts de Quito doit non seulement évacuer les eaux usées et les eaux de ruissellement de la ville même, mais également les eaux de ruissellement du versant oriental du Pichincha, évacuées par 68 quebradas qui ne disposent que de trois sorties en tout (le Rio Machangara, et les quebradas El Batán à l'est et Carcelén au nord). Les eaux de



toutes ces quebradas traversent la ville par le réseau d'égouts, lequel est localement insuffisant pour évacuer les fortes intensités de pluie qui sont fréquentes sous climat équatorial de montagne. Les eaux et la boue passent alors par les rues, causant des dégâts parfois importants comme lors de l'« aluviòn » de l'avenue La Gasca en 1975, dû à la rupture d'une retenue naturelle de branchage et de débris formée sur le cours de la quebrada Pambachupa qui domine l'avenue.

Ce réseau d'égouts, qui remplace un drainage de montagne, aux crues brutales et violentes, pose des problèmes d'entretien particulièrement difficiles : nettoyage permanent indispensable de l'alluvionnement et parfois rupture des canalisations, induisant des phénomènes d'érosion interne. Ces derniers affectent les matériaux de remblaiement de nombreuses anciennes quebradas, dans lesquelles l'écoulement produit par des canalisations rompues soutire des matériaux fins, limons et sables. Dans les zones où le phénomène est le plus actif, apparaissent alors des effondrements, le plus souvent dans les rues ou avenues occupant en général les anciens tracés de quebradas (photo 1).

La croissance urbaine

La croissance démographique de la ville s'effectue, depuis une trentaine d'années, selon un rythme très soutenu, supérieur à 4 %, provoquant le décuplement en 25 ans de la superficie urbanisée. Cette dernière atteint actuellement 12 500 ha pour 900 000 habitants.

L'examen des plans successifs de la ville depuis l'époque coloniale montre que trois étapes successives peuvent être distinguées dans la progression du domaine urbain :

— Depuis la fondation de Quito par les Espagnols 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 elle se caractérise par une progression plus rapide sous forme de fines tentacules le long des voies de communications vers le nord et vers le sud ; en 1950 la superficie urbanisée n'excède pas 1 300 ha, chiffre encore modeste comparé à l'actuel.

— C'est à partir de cette époque que l'urbanisation de l'espace s'accélère dans des proportions considérables, et que la plupart des cours inférieurs des quebradas du site disparaissent, poursuivant une tendance déjà amorcée dès l'époque coloniale.

Le tracé du plan de 1975 indique que la progression s'effectue principalement vers le nord, sur les terrains asséchés des marais d'Inaquito et autour de l'aéroport. Vers 1982 l'extension de la ville gagne le sud, et s'accompagne d'un élargissement vers l'est, sur les versants de l'escarpement de faille, et vers l'ouest, sur ceux du Pichincha, souvent sous forme spontanée. Le Plan d'urbanisme élaboré en 1980 par le Municipio, qui fixait la limite supérieure de la ville à la courbe 2950 mètres pour limiter les problèmes de drainage et de distribution d'eau, est fréquemment débordé. Actuellement, un certain nombre de quartiers pauvres atteignent ou dépassent la cote des 3 200 m, aggravant les problèmes d'érosion urbaine et la sédimentation dans le réseau d'égout.



Anciennes quebradas de Quito



Tracé à partir des relevés du Service
Géographique Militaire (1932-1934)



Quebradas repérées avant 1932



Limites urbaines selon plan IGM 1983

L'évolution du réseau de drainage

La carte des anciennes quebradas (3) tracée sur le réseau urbain récent permet de se rendre compte de l'importance du véritable bouleversement qu'a subi le réseau hydrographique de Quito. Les premières quebradas remblayées dans le centre, dès l'époque coloniale, sont la Manosalvas, qui évacue les eaux des quebradas El Tejar et El Cebollar, et La Marin, qui drainait le versant occidental de l'Itchimbia et la zone de la Alameda.

Puis au début du siècle (1913), c'est la quebrada Jérusalem qui est recouverte, dont l'égout doit évacuer les débits de pointe considérables de la quebrada La Cantera (4), et qui posera de nombreux problèmes tout au long du siècle.

Dans les années 1930, l'extension de la ville vers le nord fait remblayer les quebradas Miraflores, El Armero et Vasconez dans la partie de leur cours qui traverse le nouveau quartier Mariscal Sucre, et dans les années 45-60 ce sont les quebradas du secteur de La Caroline et de l'aéroport qui seront remblayées (Pambachupa, Rumipamba, Runachanga, Yacupugru), ainsi qu'une partie de celles du secteur au sud du Panecillo.

Actuellement cette tendance se poursuit tant au nord (remblaiement des quebradas El Colegio et Rumiurcu) qu'au sud de la ville (quebradas La Raya, de Los Chochos, projet de couverture du Rio Machangara).

Les problèmes de drainage

Un dépouillement systématique du quotidien El Comercio de 1900 à 1986 nous a permis de dresser un fichier de 260 accidents urbains, d'origine climatique, suffisamment graves pour avoir fait l'objet d'un article. Quatre types de ces accidents urbains ont été distingués :

- les « aluviones » correspondent à des crues brutales des quebradas, laissant dans les rues et les maisons des dépôts importants de boue, de pierres et de débris divers ;
- les inondations qui, soit correspondent au même phénomène, mais en mobilisant beaucoup moins de débris et de sédiments, soit correspondent à un excès d'eau sans mise en jeu directe d'une quebrada, par simple engorgement du réseau d'égout, et sont alors beaucoup moins graves ;
- les éboulements et glissements de terrain, qui affectent surtout des talus et versants raides dans les quartiers les plus accidentés ;
- les effondrements, qui traduisent des phénomènes d'érosion interne le plus souvent liés au remblaiement des quebradas et à un fonctionnement défectueux des égouts.

Un premier dépouillement de ce fichier, encore provisoire (5), fait apparaître la distribution suivante de ces types d'accidents urbains (tabl. 1).

Ces événements affectent naturellement d'abord le centre ancien, pratiquement seul urbanisé jusque vers 1940-45, soit durant près de la moitié de la période considérée, et par conséquent seul exposé aux accidents urbains enregistrés par la presse. Si le nombre des accidents très localisés, comme les éboulements et les effondrements, diminue dans la seconde moitié de la période, le nombre des « aluviones » et inondations augmente par contre très nettement, atteignant plus du double de ceux qui avaient affecté le centre de la ville de 1900 à 1945.

Compte non tenu des variations de la pluviométrie, qui n'a pu encore être étudiée, ce doublement s'explique très certainement par la seule croissance urbaine : la ville ayant occupé de nouveaux territoires au pied du Pichincha et sur les versants raides de la Loma Puengasi, les crues des quebradas qui autrefois se

TABLEAU I

Type d'accidents \ Période	1900-86	1900-45	1946-86
"Alluvions"	38 cas	12	26
Inondations	127 cas	39	88
Eboulements et glissements	67 cas	37	30
Effondrements	28 cas	18	10
Total	260	106	154

déroulaient en zone rurale, avec des conséquences minimales, ont ensuite eu des effets dévastateurs dans les nouveaux tissus urbains.

Jusque dans les années 1945-50 la quasi-totalité des accidents répertoriés en matière d'« aluvions » et d'inondations le sont dans le centre, liés aux crues de la quebrada Jerusalem d'une part (26 cas jusqu'en 1950), et à celles des quebradas El Tejar, El Cebollar et Manosalvas de l'autre (14 cas). A partir de 1950 ces deux ensembles occasionnent encore respectivement 6 et 4 accidents, mais l'on voit apparaître les nombreux problèmes des quebradas du Pichincha : Miraflores en 1950 et 51, El Armero (3 accidents en 1951), Pambachupa en 1961 et 75, Manzanachupa et Rumipamba en 1972, Yacupugru et Rumiurcu en 1983 pour les accidents les plus importants. Cette zone s'était déjà signalée avant 1940 en posant des problèmes sur la « carretera norte », notamment les quebradas Pambachupa et Rumiurcu en 1917, et Runachanga en 1932 et 41, mais la multiplication des problèmes que l'on constate ensuite doit être mise en relation avec l'urbanisation accélérée, puis avec la construction de l'Avenue Occidentale.

De même c'est en 1958 que l'on voit apparaître les premiers problèmes posés par les quebradas Seca et El Batán, témoins des débuts de l'urbanisation du quartier du même nom. Le phénomène est identique au sud du Panecillo, mais les quebradas, fort nombreuses, y sont plus petites, et par conséquent mal identifiées par les journaux ; les accidents y apparaissent ainsi moins fréquents et de moindre gravité. Les seules quebradas mentionnées à l'occasion d'inondations sont le Rio Machangara, la quebrada La Boca del Lobo (actuellement calle Gualberto Pérez), et la quebrada Alpahuasi (à l'emplacement de la rue du même nom). Cependant une analyse plus fine du fichier montrera probablement des problèmes identiques à ceux abordés ci-dessus dans le nord de la ville, comme permet de le supposer le cas de la quebrada La Raya (janvier 1986) que nous décrivons ci-dessous.

Dans son extension actuelle, la ville présente de graves problèmes d'évacuation des eaux de ruissellement du versant oriental du Pichincha. L'« Informe final » élaboré en 1977 pour l'EMAP Quito (CMD 1977, chap. 14) fournit à cet égard des estimations intéressantes : à partir des intensités maximales pluviométriques de fréquence décennale sur les flancs du Pichincha, rapportées aux caractéristiques physiques des bassins des quebradas (pente, superficie, densité de drainage, temps de concentration), le débit maximum de fréquence décennale des quebradas majeures du Pichincha a été estimé. Ce débit a ensuite été comparé à la capacité des collecteurs chargés d'en évacuer les eaux. Le résultat de cette estimation pour les quebradas de l'Avenue Occidentale (entre la Q. Rumiurcu et la Q. Rumipamba) est donné par le tableau II.

Sur 19 quebradas ayant fait l'objet de cette estimation, 12 présentent donc un déficit d'évacuation parfois considérable pour la fréquence décennale. Ceci

TABLEAU II

N° QUEBRADA (6)	DEBIT (m ³ /s)	CAPACITE D'EGOUT (m ³ /s)
6 Rumiurcu	38,8	13,65
7 Bellavista	2,9	3,20
8 Atucuchu	11,3	3,45
9 Pulida Grande	9,9	4,65
11 Pulida Chico	11,7	4,00
12 La Esperanza	5,8	3,20
13 Las Delicias	2,2	-
14 Yacupugru	5,8	3,20
15 Runachanga	4,7	4,00
16 San Vicente	3,6	2,40
17 La Concepcion	3,0	7,55
18 Osorio	0,3	4,50
19 Caicedo	5,7	4,55
20 Mirador	1,7	3,20
21 Chimichamba	0,9	3,20
22 Manzanachupa	4,5	3,20
23 Rumichaca	3,4	4,80
24 Nunguilla	3,9	4,80
25 Rumipamba	24,9	8,55

explique une très grande part des inondations enregistrées, d'autant plus que les fortes crues charrient en général des éléments solides (branches, pierres, boue, ordures) qui bouchent, partiellement ou complètement les prises d'égout.

Les solutions mises en œuvre par l'EMAP Quito (7) pour pallier l'insuffisante capacité d'évacuation consistent à aménager un « entonnoir » autour de la prise d'égout, de manière à stocker l'excédent de crue durant 20 à 30 minutes, délai généralement suffisant pour étaler les averses très intenses (photo 2). Une autre solution consiste à dévier les débits de trois quebradas très mal drainées à l'aval (La Esperanza, Las Delicias, Yacupugru) vers une quatrième (Runachanga), disposant de meilleures capacités d'évacuation et de stockage.

« L'ALUVIÓN » DE LA QUEBRADA « LA RAYA » DU 23 JANVIER 1986

Description de l'accident

La crue est liée à un violent orage survenu le 23 janvier 1986 de 16 h à 16 h 45 environ, que nous avons pu observer depuis le bâtiment de l'IGM; le front d'orage, particulièrement noir et tranché dans la zone de la Loma Ungui et de Chillogallo, était accompagné de grêle abondante. Progressant de SW en NE, il est arrivé sur La Floresta vers 17 heures.

Les articles des quotidiens Hoy et El Comercio du 24 janvier 1986 décrivent des inondations dues à l'insuffisante évacuation des eaux par les égouts à La

Deslave causó serios estragos



Urbanización Santiago anegada

Este es el aspecto de la Urbanización Santiago, ubicada al suroriente de Quito, luego de sufrir estragos el jueves, debido a las fuertes lluvias, que provocaron el estallido de un muro de contención de la represa situada en la zona de Langui. Según demue...

moradores, anteriormente habían advertido a las autoridades municipales de tal cosa podía suceder sin que hayan tomado medidas preventivas. Ayer, el Municipio estuvo en alerta para facilitar las tareas de limpieza.



Ecuador, Viernes 24 de enero de 1986 **hoj**

En...

En la zona sur, se registraron los peores estragos

Se cayó una casa: Inundación en zona sur por torrencial aguacero

Como consecuencia de la lluvia torrencial que ayer azotó a Quito, se derrumbó una casa y varias manzanas de la ciudadela Chimborazo y del barrio Santa Anita, en el sur de la ciudad se inundaron.

Los habitantes de ese sector tuvieron que huir tras el inicio del torrencial hasta llegar a la noche para desalojar el agua y el lodo.

En la esquina de la avenida Vencedores y la entrada a la ciudadela Chimborazo, los vecinos aseguraron que la inundación fue provocada por un muro de contención que púsose en la esquina de los ingenieros del Batallón Chimborazo obstruyendo el desdique natural del agua.

El cerramiento realizado por ese batallón, dijeron, ha provocado ahora y también en otras oportunidades, la inundación de la zona. Por esto pedimos que se lo derumbe inmediatamente para evitar desastres más graves.

También aseguraron que ya existía orden de derrocamiento del citado muro, pero que no se lo ha hecho por parte del Director de Alcance...

rillado. Manifiestan además que los tubos del alcantarillado tienen un diámetro reducido y piden que el Alcalde disponga el cambio de ese servicio. Aunque —dijeron— el jefe de la comuna, desde su posesión no ha visitado este barrio.

En la calle Avancraz y Sanitas 2 los vecinos trabajaban febrilmente para desalojar, sobre todo una 'upa espesa de lodo. Pidieron que las autoridades respectivas envíen un tractor para hacer este trabajo.

La inundación afectó también otras zonas de la ciudad, según se supo, pero en el sur, especialmente en Santa Anita, el agua subió hasta un nivel que provocó daños considerables. La casa derrumbada pertenece a una familia humilde, la propietaria Albina Ríos, con llanto en los ojos pidió que la ayudaran.

El Grupo de Bomberos estuvo cooperando durante varias horas, mientras la lluvia seguía cayendo en forma intermitente aunque con menor fuerza durante la noche.



Desastrosa tempestad ayer

Un violento aguacero se provocó ayer en Quito y emergencias.

Los bomberos han recibido más de 500 llamadas de auxilio desde diferentes sectores de la ciudad y su periferia, registrándose daños en numerosos domicilios, además de calles y avenidas inundadas por el taponamiento de alcantarillas.

El reporte indica que los estragos más fuertes se

registraron en la Urbanización Santiago, al sur-este de Quito, donde el muro de una represa estalló por la acumulación de piedras y basura, que dañaron por la menos cuatro inmuebles, inundaron otros y paralizaron completamente el tránsito por la acumulación de sedimento.

Por fortuna el suceso no dejó víctimas que lamentar. Más en la 10-B.



Aguacero causó estragos

El torrencial aguacero que se precipitó ayer sobre esta capital causó estragos en los domicilios, especialmente en el suroccidente de la urbe, así como en los vehículos. Varios conductores debieron abandonar sus vehículos al quedar en pieza vie. (Más información en B-10)

Vicentina, La Floresta, El Dorado, la Mariscal et la 6 de Diciembre, et font notamment état de 500 appels aux pompiers en cette fin d'après-midi.

En ce qui concerne l'«aluvión» de la quebrada La Raya, dans l'urbanisation «Santiago», l'article mentionne cinq pâtés de maisons inondés de boue et d'ordures atteignant un mètre de haut dans certains secteurs, ainsi que l'interruption du trafic sur l'Avenue Vencedores de Pichincha ; aucun des articles ne mentionne explicitement le rôle d'une quebrada, se bornant à préciser que l'accident aurait été provoqué par «l'accumulation d'eau due au débordement d'une retenue au flanc de la Loma Ungüi, qui avait répandu de la boue, des pierres et toutes sortes de déchets...».

Des témoins résidents dans la zone de Chillogallo rapportent qu'à la suite de l'orage, ils ont subi des remontées d'eau et de grêle par les waters et les syphons d'éviers dans des appartements du second étage de l'urbanisation «Plan conjunto Chillogallo» (bloc 21), dues à une puissante mise en charge des égouts. L'ensemble de ces éléments indique donc une précipitation d'une violence inhabituelle.

Les observations de terrain menées le lendemain matin (vendredi 24 janvier 86) font apparaître les points suivants :

— Le dépôt de boue de 15 à 50 cm d'épaisseur au débouché de la quebrada La Raya affecte les rues de cinq pâtés de maisons, sur une superficie d'environ 200 mètres sur 100.

— La coulée s'est étalée au débouché de la quebrada, en suivant approximativement son ancien lit, dont le tracé en baïonnette, actuellement rebouché et urbanisé, domine l'Avenue Vencedores de Pichincha (cf. fig. 1 et photos 3 à 6).

— Dans la zone urbanisée la quebrada est remplacée par un égout de section $1,60 \times 1,20$ mètre, en travaux de réfection le jour de l'accident. La trace de cet égout, partiellement effondré, était visible dans le chemin longeant la quebrada en rive droite, par un tassement de 20 cm sur 1,50 m de large, d'une vingtaine de mètres de longueur (cf. photo 7).

— Au niveau de la prise d'égout, le lit de la quebrada est très nettement incisé dans la cangahua, sur une profondeur de près de 10 mètres et autant de largeur. A 500 mètres en amont de la prise d'égout (altitude 2870 m), la quebrada a environ 20 m de profondeur sur 12 de largeur (cf. photo 8).

— La prise d'égout était réalisée, avant l'accident, par un mur en pierres sèches d'environ 2 m de haut, barrant en biais le lit de la quebrada pour dériver les eaux dans la prise d'égout ; une autre murette remplissait la même fonction au niveau du débouché du lit dans la rue (fig. 1 et photo 9 ; témoignage de l'un des ouvriers du chantier de réfection). Il ne subsiste plus aucune trace de ces murs après l'accident.

— Sur l'Avenue Vencedores de Pichincha tous les égouts sont bouchés par la boue, et plusieurs camions pompe de l'EMAP sont au travail dès le lendemain de l'accident, ainsi que deux bulldozers nettoyant la boue dans les rues de l'urbanisation.

Une seconde visite le 28 janvier 1984 permet de constater le retour à la normale dans le quartier. Il n'y a pratiquement plus aucune trace visible de l'aluvion, et le chantier de réfection de l'égout est en plein travail (photo 10).

Une troisième sortie de terrain du 18 janvier 1986, destinée à étudier l'ensemble du bassin-versant de la quebrada, permet de constater qu'une murette provisoire de dérivation, d'environ 1,20 m de haut, appuyée sur un talus de terre (photo 11), a été reconstruite à la prise d'égout.

Observation du lit et du bassin-versant

— La quebrada La Raya borde par le sud le cône de déjection de la

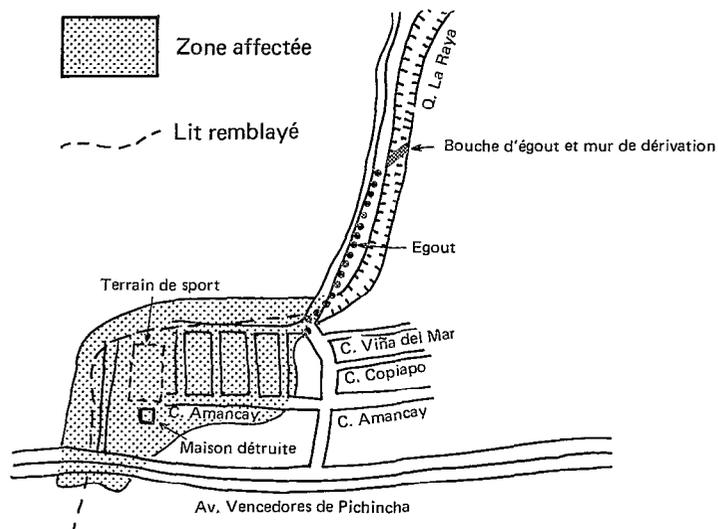


FIG. 1. — Zone affectée par la coulée de boue



PHOTO 1. — Effondrement de vastes dimensions du 1/2/1984 dans l'Avenida de los Libertadores. La quebrada Navarro a rouvert son cours naturel, probablement suite aux phénomènes d'érosion interne dans le remblaiement dûs à deux hivers particulièrement pluvieux. Au fond le versant est de la Loma Ungüi, sur lequel se situe le bassin-versant de la quebrada La Raya.
(Photo H. GODARD)

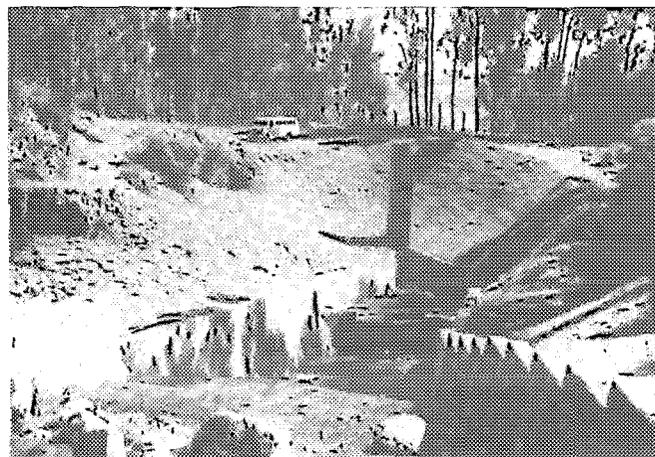


PHOTO 2. — Aménagement en «entonnoir» de la quebrada Rumiurcu, permettant de stocker les pointes de crue. Les ouvertures en hauteur que l'on distingue dans la tour autorisent un écoulement au cas où la prise d'égout serait bouchée par des sédiments. (Photo P. PELTRE)



PHOTOS 3 et 4. — Aspect de la rue Amancay le lendemain de l'aluvion, à 9 h 30; les engins de l'EMAP-Quito procèdent au nettoyage. (Photos P. PELTRE)

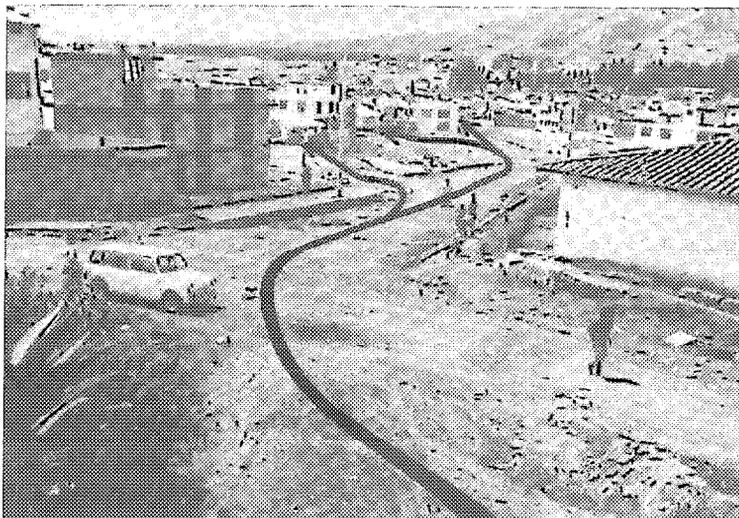


PHOTO 5. — Cheminement de « l'aluvion » dans l'urbanisation Santiago; vue prise depuis le débouché de la quebrada. Le flot de boue a emprunté la rue de droite, puis s'est divisé en fonction du tracé et de la pente des rues, pour s'arrêter sur l'Avenida Vencedores (cf. fig. 1). (Photo P. PELTRE)

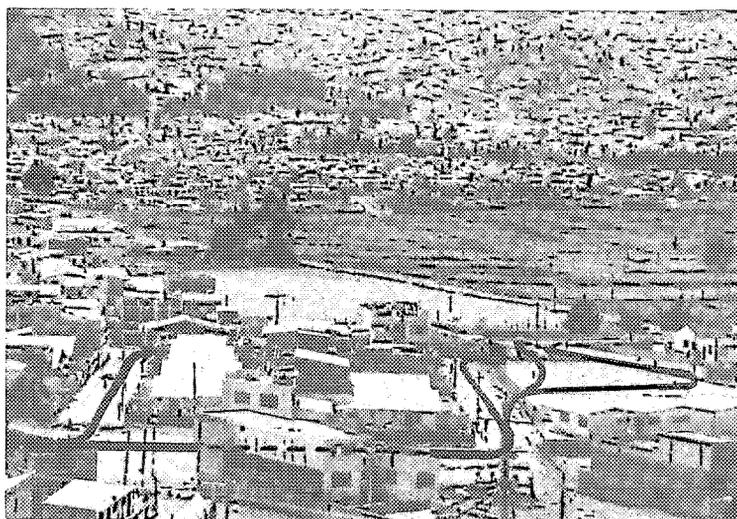


PHOTO 6. — Tracé de « l'aluvion » dans la partie sud de l'urbanisation Santiago. (Photo P. PELTRE)

quebrada de Los Chochos entièrement occupé par de nouvelles urbanisations en cours de construction : au milieu du cône est construit le nouvel hôpital du sud, et toute la zone bordant la quebrada vient d'être viabilisée : les rues sont goudronnées, un réseau complet d'égouts dessert le futur quartier, et déverse dans la quebrada La Raya.

— A 500 mètres en amont de la prise d'égout, à l'altitude 2880 m, la quebrada se subdivise en deux branches parallèles, également incisées. Cent mètres en aval de ce confluent une passerelle de bois enjambe l'entaille, qui mesure à cet endroit 12 mètres de largeur. Ce matin-là, il pleut depuis environ une heure, avec une intensité très moyenne, la semaine précédente ayant eu approximativement une pluie tous les deux jours. Nous assistons au début de l'écoulement dans le lit de la quebrada, alors que l'une des sorties des égouts drainant le cône de déjection (loti et asphalté), coule déjà abondamment depuis environ 20 minutes (photos 12 et 13).

— Ceci met parfaitement en évidence l'effet accélérateur, bien connu, que produit sur le ruissellement l'urbanisation des sols ; encore ne s'agit-il dans le cas présent que de rues asphaltées, les parcelles à lotir étant encore en végétation naturelle ; leur future construction ne fera que réduire encore le temps de réponse du ruissellement urbain.

L'observation détaillée du lit de la quebrada en amont de la passerelle peut être résumée ainsi :

— Le lit, d'une largeur moyenne de 2 mètres, présente des traces très nettes d'écoulement, selon un profil en marches d'escalier successives de 50 cm à 1 m de haut, séparées par des biefs de 20 à 50 mètres de longueur.

— L'entaille est entièrement inscrite dans une cangahua à boules très nettes, de 15 à 20 cm de diamètre. A 30 mètres en amont de la passerelle, un important paquet de cangahua s'est éboulé dans le lit de la quebrada, dont le volume peut être estimé entre 50 et 100 m³ ; cet éboulement est dû à l'effondrement d'une tranchée d'égout creusée en rive gauche, parallèlement à l'entaille, à moins de cinq mètres du rebord (photo 14).

L'étranglement ainsi déterminé dans le lit a manifestement fait office naturel, comme l'attestent des dépôts sableux stratifiés qui atteignent 1,50 m de haut à l'amont immédiat du rétrécissement (cf. photo 15). Le riverain le plus proche, dont la maison domine pratiquement le lieu de l'éboulement, déclare cependant que lors de la crue du 23 janvier, il n'a constaté aucune retenue naturelle d'importance à cet endroit, si ce n'est un écoulement beaucoup plus abondant et plus turbulent que de coutume.

— Un certain nombre de fissures le long du rebord d'entaille préparent visiblement de nouveaux paquets de cangahua, prêts à se détacher ; l'étroitesse de l'entaille permet de penser que l'élargissement naturel de cette dernière a dû être lent ou très lent dans le passé, mais que les travaux récents d'urbanisation accélèrent considérablement la vitesse de cette évolution.

En amont du confluent, l'ensemble du bassin-versant des deux affluents qui constituent la quebrada La Raya est occupé par une urbanisation spontanée récente, en terrasses directement creusées dans le versant. Dans cette partie amont du bassin, la pente atteint 15 à 20 degrés, et dans les parcelles non encore construites des souches d'arbres, déchaussées de 20 à 50 cm, témoignent d'une vigoureuse érosion.

— L'affluent de rive gauche (le plus au nord, et le moins développé) ne subsiste plus que sur une centaine de mètres environ ; l'amont de son bassin a été remblayé pour le passage du chemin qui dessert l'urbanisation, laquelle a brouillé le haut du tracé, qu'il n'est plus guère possible de distinguer.

— L'affluent de rive droite (au sud), ne subsiste plus également que sur 150 m environ ; son cours a pareillement été remblayé, par le même chemin sur 200 m de longueur, depuis un an environ selon les riverains. A l'amont de ce chemin le lit de la quebrada, bien individualisé (3 à 5 m de profondeur), est



PHOTO 7. — Débouché de la quebrada dans l'urbanisation Santiago ; vue prise depuis la prise d'égout. On note dans le chemin, au premier plan, les traces d'effondrement de ce dernier. (Photo P. PELTRE)



PHOTO 8. — Vue vers l'amont du débouché de la quebrada. La prise d'égout, en travaux de réfection, se situe au niveau des camions ; le mur de dérivation a disparu du lit de la quebrada. On notera la diminution de profondeur de l'incision vers l'aval. (Photo P. PELTRE)

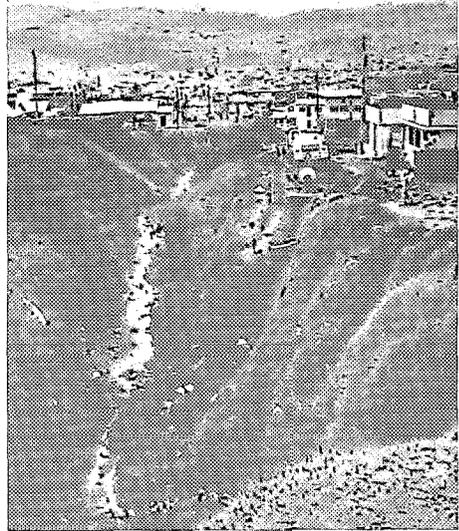


PHOTO 9. — Aspect de la quebrada à 500 mètres en amont de la prise d'égout (alt. 2870 m). On notera la profondeur de l'incision (20 m environ). (Photo P. PELTRE)

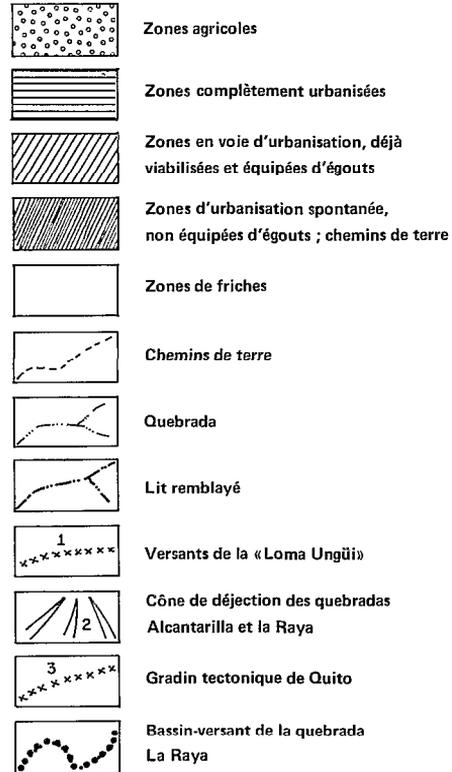
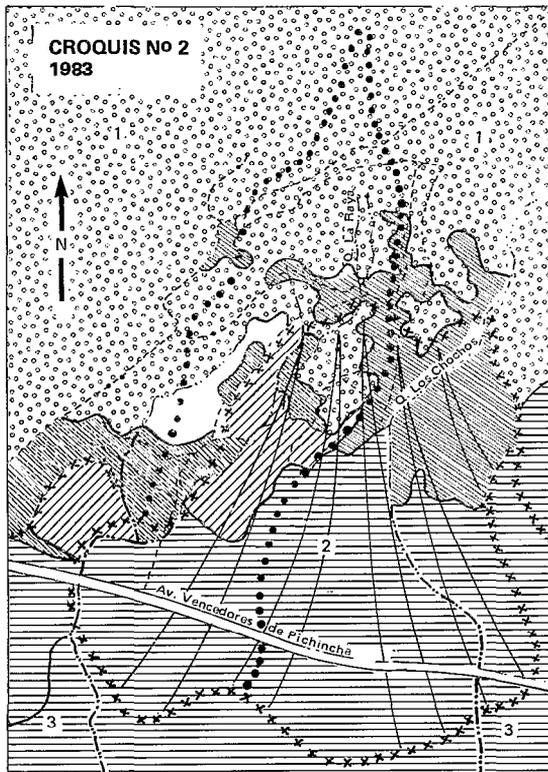
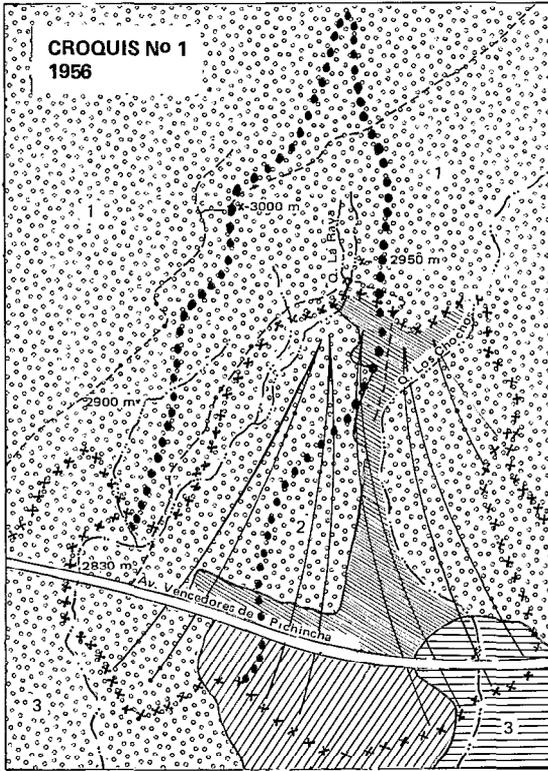


FIG. 2. — Évolution urbaine du bassin-versant de la quebrada La Raya

encore bien visible; ses eaux de ruissellement empruntent maintenant une ancienne route empierrée au flanc du versant, d'où elles s'échappent pour alimenter plusieurs ravines et rejoindre ainsi le chemin établi sur l'ancien lit de la quebrada. A l'endroit où reprend le lit naturel de cette dernière, le talus de remblayement du chemin montre déjà une vigoureuse érosion régressive, qui laisse supposer une durée de vie éphémère du nouvel aménagement.

Un bassin-versant en cours d'urbanisation

Le processus d'urbanisation du bassin de la quebrada étant manifestement récent, tant spontané dans sa partie amont que sous forme organisée sur sa rive gauche, deux photographies aériennes, de 1956 et 1983 ont été examinées pour mieux apprécier les changements d'occupation du sol.

Du point de vue géomorphologique, l'amont du bassin-versant occupe le versant nord-est de la Loma Ungüi, en pente forte, de l'ordre de 30 % (15 à 20 degrés). Dans son cours moyen la quebrada suit la rupture de pente entre ce versant, et le cône de déjection de la quebrada de Los Chochos; ce cône présente des pentes beaucoup plus faibles, de l'ordre de 5 à 10 % (3 à 6 degrés). Enfin le cours inférieur de la quebrada coule dans la plaine de Quito, ici pratiquement plane, pour rejoindre le Rio Machangara à un kilomètre et demi du passage de l'Avenue Vencedores de Pichincha, où la pente du lit devient nulle (fig. 2 et photo 16).

En 1956 l'utilisation du bassin-versant de La Raya est principalement de type agricole; seule apparaît une petite unité déjà urbanisée dans l'angle inférieur droit du croquis, à partir de laquelle se développent deux fronts d'urbanisation élémentaires. Le premier, étroit et allongé, suit la quebrada de Los Chochos; il s'agit plus encore d'un village de la périphérie que d'une urbanisation, constitué d'un tissu lâche de maisons et de chemins de terre. Le second, plus localisé à l'est de l'Avenue Vencedores, correspond à un lotissement encore sans constructions.

En 1983 l'urbanisation est généralisée sur les pentes faibles, de part et d'autre de l'Avenue Vencedores. Tout l'aval du cône de déjection est occupé par des quartiers déjà relativement anciens (10 à 20 ans), alors que sa partie médiane est en plein processus d'urbanisation, avec le nouvel hôpital du sud et un vaste lotissement non encore construit en rive gauche de La Raya, mais déjà asphalté et équipé en égouts. La partie supérieure du cône et les basses pentes de la Loma Ungüi sont le siège d'une urbanisation spontanée en terrasses et chemins de terre, responsable du remblaiement partiel des cours supérieurs de la quebrada.

Si les zones loties et équipées en égouts accélèrent le ruissellement, diminuant ainsi le temps de concentration des crues comme nous en avons vu un exemple, l'urbanisation spontanée des pentes plus fortes a déjà déclenché une érosion parfaitement visible, qui se traduit non seulement par des départs de matériaux, mais également par leur sédimentation à l'aval, là où la pente s'affaiblit et où l'égout prend le relai du drainage naturel.

Analyse des précipitations (8)

Le climat du site urbain de Quito est de type équatorial d'altitude dont la pluviométrie peut se caractériser comme suit :

— un fort gradient pluviométrique du nord (800 mm) au sud (plus de 1400 mm), sur une distance d'environ 35 km, dû pour l'essentiel au volcan Pichincha qui abrite le nord de la ville des vents humides de sud-est;

— un régime pluviométrique distribué en deux saisons des pluies, de février à mai et d'octobre à novembre :



PHOTO 10. — Détail du chantier de réfection de l'égout à la prise d'égout; à cet endroit la profondeur de l'égout est de 8 mètres environ. (Photo P. PELTRE)



PHOTO 11. — Vue vers l'aval de la prise d'égout, trois semaines après l'accident; une murette provisoire de dérivation en terre a été reconstruite pour mettre hors d'eau les travaux de l'égout. C'est un mur de pierres sèches et de terre, localisé à cet endroit, qui a cédé lors de l'aluvion. (Photo P. PELTRE)

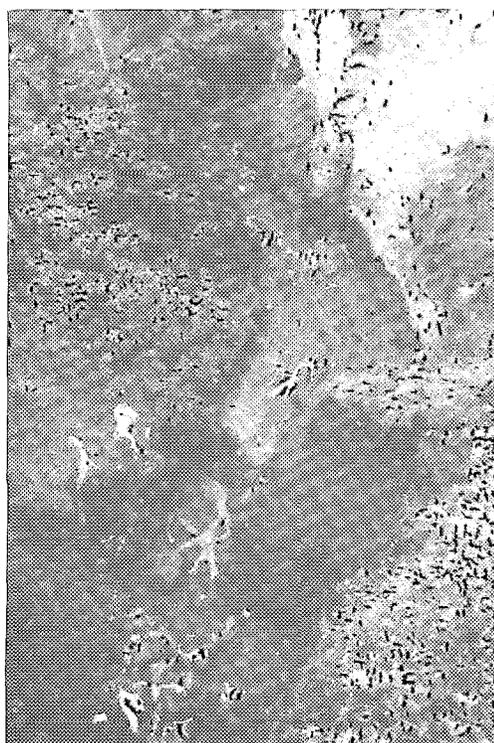
TABLEAU III

Moyenne des précipitations sur 29 années à la Station de Quito-Observatoire (9)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
116	129	153	177	129	49	20	24	81	130	109	102	1219

— une hauteur de pluie journalière de fréquence médiane de l'ordre de 40 mm (39 à Quito-Observatoire), de 52 mm pour la fréquence décennale et de 68 mm pour la fréquence centennale.

— des intensités maximales durant 30 minutes (IM 30) en millimètres par heure (mm/h) de valeur moyenne (40 à 45 mm/h) comparées aux maxima (plus de 70 mm/h) rencontrés sur les flancs extérieurs des cordilières.



PHOTOS 12 et 13. — Début de l'écoulement dans le cours moyen de la quebrada (à 500 m en amont du débouché), alors qu'il pleut depuis une heure (intensité très moyenne). A ce niveau la décharge d'égout de la nouvelle urbanisation coule déjà depuis 20 minutes. (Photo P. PELTRE)

TABLEAU IV

Fréquences Temps	Médiane		Décennale		Centennale	
	h (mm.)	I (mm/h)	h (mm.)	I (mm/h)	h (mm.)	I (mm/h)
5 minutes	8,3	100	10,6	126,4	12,5	150,1
15 minutes	16,3	65	20,9	83,7	25,2	100,6
30 minutes	23,2	46,3	29,3	58,5	34,6	69,2
60 minutes	27,4	27,4	35,1	35,1	42,3	42,3

L'expérience acquise entre 1981 et 1983 sur des parcelles de ruissellement situées dans la partie nord du « Valle de los Chillos » (Alangasi-Ilalo) (10) montre que le paramètre le plus significatif de l'érosion correspond à l'IM 30 (intensité maximale en mm/h de la pluie constante pendant 80 minutes). Il semble par conséquent logique de chercher à caractériser la pluie du 23 janvier 86 par cette

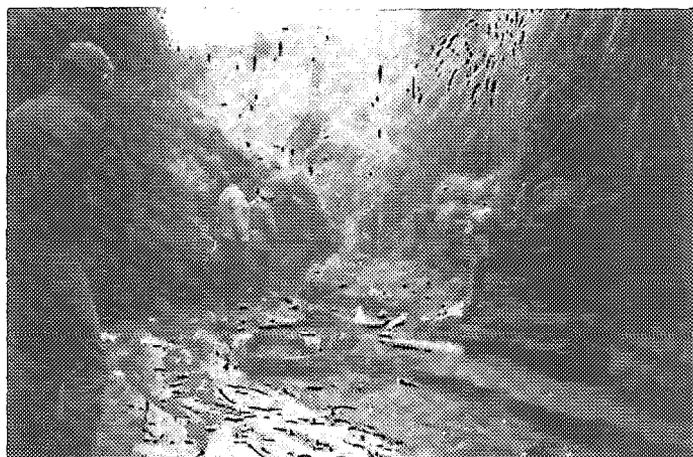


PHOTO 14. — Aspect de l'éboulement qui a provoqué l'étranglement du lit et la mise en charge de l'écoulement.
(Photo P. PELTRE)

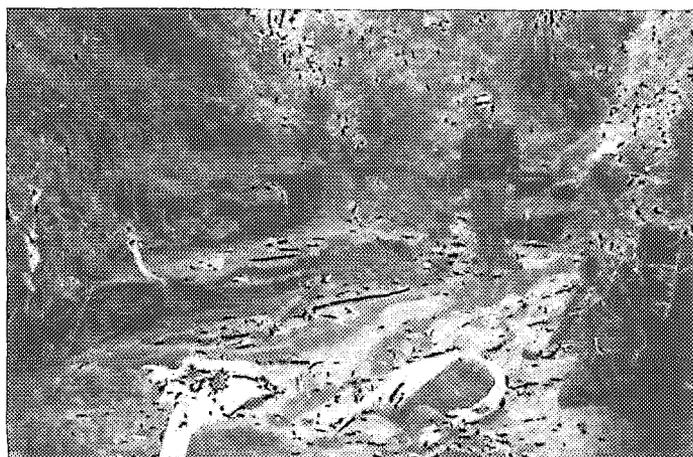


PHOTO 15. — Dépôts sableux stratifiés à l'aval du confluent, en amont de l'éboulement, dûs à la mise en charge de l'écoulement.
(Photo P. PELTRE)

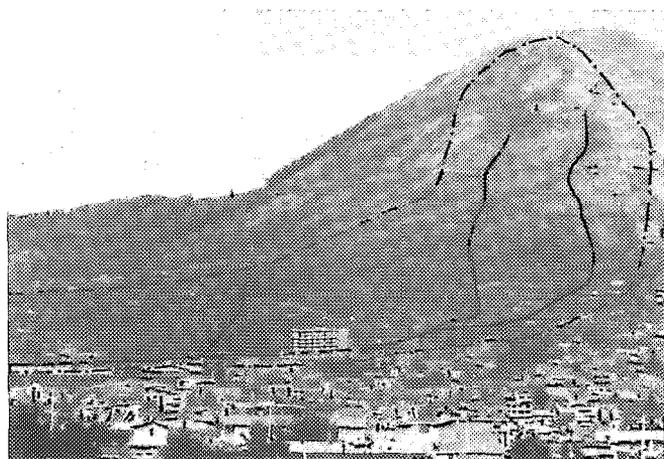


PHOTO 16. — Vue d'ensemble de la Loma Ungüi. Le bassin-versant de la quebrada La Raya a été tracé en pointillés. Au pied du versant, on remarque le nouvel hôpital du sud, construit sur le cône de déjection de la quebrada de Los Chochos.
(Photo P. PELTRE)

valeur. Pour ce faire on a choisi les stations de La Magdalena et de Miravalle, parce que plus proches du bassin de La Raya que Quito-Observatoire; le pluviographe de la station de Chillogallo, très proche également, n'a pas fonctionné ce jour-là, et ses données n'ont pu être utilisées. Le dépouillement des pluviogrammes de ces deux stations donne les résultats suivants :

TABLEAU V

STATIONS	HEURES	TEMPS PARTIEL EN MINUTES	PRECIPITATION PARTIELLE mm	PRECIPITATION TOTALE mm	IM30 mm/h
Magdalena	14-15	60	2	2	2
	15-16	60	6	8	6
	16-17h45	105	3,5	11,5	2
	17h45-18h15	30	3,8	15,3	7,6
	18h15-19h30	45	0,5	15,8	0,6
Miravalle	15-15h30	30	1	1	2
	16h30-18h15	105	10	11	5,7
	18h15-19h30	45	0,3	11,3	0,4

Les valeurs de l'IM 30 de ces enregistrements sont particulièrement faibles, comparées à celles des intensités de fréquence médiane exprimées dans le tableau V. De telles intensités de pluie sont sans rapport avec les effets constatés, et sont de fréquence extrêmement commune en saison des pluies, sans pour autant causer de pareils dégâts.

Plusieurs hypothèses peuvent rendre compte de la faiblesse des mesures :

— Un mauvais fonctionnement des pluviographes; mais les mesures concordent et un fonctionnement défectueux doit être écarté.

— L'hypothèse du bouchage de l'entonnoir par la grêle; l'entonnoir d'un pluviographe contient cependant plus de 100 mm de pluie et la précipitation totale de l'après-midi ne dépasse pas 16 mm. Même bouché par la grêle, le pluviographe aurait enregistré la hauteur totale de la précipitation, au rythme de la fonte de la glace; cette hypothèse doit donc également être écartée.

— Enfin l'hypothèse selon laquelle le noyau de l'orage serait resté circonscrit aux flancs du Pichincha dans la partie sud de la ville, avant de s'en éloigner pour toucher La Floresta et La Vicentina. La forte concentration dans l'espace des précipitations très intenses est bien connue, et de plus l'horaire des enregistrements concorde avec l'observation directe. Il est donc clair que les stations de La Magdalena et de Miravalle n'ont enregistré que la marge orientale de l'orage et que c'est bien cette hypothèse qui doit être retenue.

Pour confirmer cette hypothèse, nous avons vérifié le limnigramme de la station hydrométrique de Guapulo, qui enregistre en permanence les variations du niveau d'eau du Rio Machangara. Ce bassin-versant — auquel appartient celui de la quebrada La Raya — d'une superficie totale de 151 km² dont 30 km² environ de surface urbanisée, draine tout le sud de la cuvette de Quito, et l'on a supposé que l'ensemble du bassin devait avoir réagi à une précipitation évidemment exceptionnelle.

Les résultats de l'interprétation du limnigramme sont très démonstratifs : entre 16 h 15 et 16 h 40, le niveau d'eau est passé de 0,10 m à 2,72 m. La puissance

et la rapidité de la crue confirment donc que la partie amont du bassin du Machangara a bien subi une précipitation brutale et intense. Une tentative d'estimation de l'intensité de la pluie menée à partir de la hauteur de crue (11) donne les résultats suivants :

— En comparant les hauteurs d'eau et les débits mesurés entre 1981 et 1984 à la station de Guapulo, il peut être estimé par extrapolation logarithmique qu'à une hauteur d'eau de 2,60 m devrait correspondre un débit minimal de 300 m³/s.

— Cette valeur, fort élevée, peut être considérée comme de fréquence décennale.

— En ce qui concerne la pluie, un pareil débit n'a pu être provoqué que par un orage très intense, avec un IM 30 exceptionnel de l'ordre de 60 à 80 mm/h, et de fréquence décennale ou plus rare.

— Le débit de ruissellement par unité de surface peut être estimé de l'ordre de 2 m³/s/km² pour la surface totale du bassin, et de 10 m³/s/km² si on le rapporte exclusivement à la superficie urbanisée de ce dernier. Ces valeurs unitaires sont vraisemblablement encore plus élevées (doublées?) si l'on tient compte de l'hétérogénéité spatiale de la précipitation, qui a dû réduire fortement la superficie des zones dont le ruissellement a été directement responsable de la crue.

L'étude pluviométrique ne donnant pas de résultats significatifs par suite de la localisation des stations, c'est donc l'étude hydrologique qui nous permet d'estimer l'intensité et la fréquence de la précipitation du 23 janvier. Cette dernière a dû avoir une intensité maximale durant 30 minutes de 60 à 80 mm/h, correspondant à une fréquence décennale, ou même plus rare, selon les hypothèses prises en compte dans le calcul d'estimation.

CONCLUSION : LES CAUSES DE « L'ALUVION »

L'analyse de l'accident du 23 janvier 1986 fait apparaître plusieurs éléments essentiels :

— D'une part un orage violent, dont il n'est malheureusement pas possible de mesurer l'intensité, puisque le très faible enregistrement réalisé sur deux pluviographes montre que l'orage a été très localisé au flanc est de la Loma Ungüi. La description faite par les journaux, l'observation oculaire et les témoignages d'habitants de Chillogallo permettent cependant de penser qu'il s'agit d'une précipitation relativement exceptionnelle. L'estimation effectuée à partir de l'enregistrement de la crue du Machangara à Guapulo confirme cette supposition, et fournit une période de retour de 10 ans ou plus.

— On ignore tout du débit de pointe de la quebrada La Raya, trop petite pour avoir fait l'objet de mesures, de même qu'on ignore la capacité d'évacuation de la canalisation qui draine les eaux de la quebrada. Cependant cette prise d'égout était, le jour de l'accident, en chantier de réfection d'un effondrement partiel ; il est donc très probable que l'égout n'avait pas sa pleine capacité d'évacuation du débit. En outre la brutalité manifeste de la crue a remanié des sédiments du lit et mobilisé de nombreux déchets, qui ont partiellement ou totalement bouché le réseau d'égouts au niveau de l'Avenue Vencedores de Pichincha, comme l'indique l'intense travail de débouchage mené par L'EMAP le lendemain de l'accident.

— Enfin l'urbanisation très récente de l'ensemble du bassin-versant mobilise des quantités considérables de terres ameublées par les travaux, de même qu'elle accélère puissamment les temps de concentration du ruissellement. Cette urbanisation n'a guère plus de cinq ou six ans selon les habitants du quartier, et l'interprétation de la photographie aérienne de 1983 saisit manifestement un processus en cours, commencé depuis deux ou trois ans, qui s'est poursuivi depuis

et n'est pas encore terminé. Selon l'ingénieur POBERA, de l'EMAP-Quito, l'urbanisation d'un bassin-versant multiplie le coefficient de ruissellement par 9 (rapport entre le volume d'eau ruissellé et celui précipité), et nous avons vu un exemple concret de l'accélération des temps de réponse du ruissellement par la viabilisation des terrains en rive gauche de la quebrada. En outre aucune de ces urbanisations ne dispose de service de ramassage d'ordures pour des raisons de mauvaise accessibilité, et des quantités considérables de déchets sont donc disponibles pour être prises en charge par le ruissellement et venir boucher les égouts.

L'aluvion du 23 janvier 1983 dans l'urbanisation Santiago semble donc dû à la conjonction de l'urbanisation récente du bassin-versant, qui a très sérieusement perturbé les conditions du drainage naturel, avec la première précipitation de fréquence décennale qui ait affecté la nouvelle organisation du secteur. Il s'agit donc d'un problème de gestion du nouveau milieu urbain face aux conditions climatiques, lesquelles incluent nécessairement des événements de fréquence rare, mais inéluctable. Le problème dans ce domaine est de choisir pour quelle période de retour de ces événements il convient de dimensionner les ouvrages qui accompagnent l'urbanisation du milieu. Naturellement, plus la fréquence choisie sera rare, plus les ouvrages coûteront cher ; il s'agit donc d'un choix politique, cherchant à évaluer le coût de l'aménagement par rapport à celui, matériel et social, des probables accidents futurs, chaque fois que les événements climatiques excéderont la fréquence prise en compte pour cette évaluation.

Du seul point de vue géomorphologique, il est clair que la meilleure solution serait de maintenir à travers la ville un écoulement à ciel ouvert, en assurant la circulation par des ponts. Prétendre évacuer les écoulements des véritables torrents de montagne que sont les quebradas du Pichincha par les seuls égouts urbains constitue en effet une gageure, dans la mesure où un réseau de drainage de montagne possède nécessairement une dynamique érosive, peu maîtrisable, et donc un alluvionnement qu'il est tout aussi difficile de contrôler.

Cependant l'urbanisation ayant progressé de l'aval à l'amont des quebradas, la question ne se pose même plus dans la plupart des cas, sauf à envisager un impossible remodelage de la ville. Tout au plus pourrait-on recommander cette solution dans les nouvelles extensions urbaines, mais les traditions de la gestion du milieu urbain de Quito sont séculaires, et pratiquement les solutions sont sans doute à envisager en termes d'amélioration de la gestion des aménagements existants. L'EMAP réalise actuellement un travail considérable pour l'entretien, absolument indispensable, du réseau de drainage urbain : surveillance, réfection et nettoyage permanent des égouts. Mais l'amélioration des aménagements représente des investissements considérables, et ramène au problème politique d'évaluation comparée entre les coûts d'investissements et ceux des dégâts éventuellement prévisibles dans le futur.

BIBLIOGRAPHIE

- CARRERA (B.), 1984. — Mapa de distribución de la población de la ciudad de Quito, in : « Quito. Aspectos de su dinamismo geográfico » Documentos de Investigación N. 5, 1984, 87 p. ; CEDIG, Quito : 7-15.
- CDM, 1977. — (Camp Dresser & Mc Kee Inc. y Consult. Ass. Ecuatorianos) Planes maestros y Estudios de Factibilidad de los sistemas de Agua potable y de Alcantarillado. USAID, Quito, 500 p. env., 17 chap.
- CDM, 1985. — Camp Dresser & Mc Kee Inc., Cohidro Consult. Cia. Ltda. Control de la

- erosió, y escurrimiento de las laderas del Pichincha. — Quebrada Yacupugru. — Informe final. USAID, Quito, env. 100 p. *multigr.*
- CEVO (G.), CEVO (S. de), HUMBERTO (J.), 1975. — Problemas de erosión y reforestación en las pendientes orientales del volcán Pichincha. CEPEIGE, Quito, env. 60 p. *multigr.*
- DE NONI (G.), NOUVELOT (J. F.), TRUJILLO (G.), 1986. — Estudio cuantitativo de la erosión con fines de protección de los suelos : las parcelas de Alangasi e Ilaló. *Documentos de Investigación*, N. 6, CEDIG, Quito : 35-47.
- FEININGER (T.), 1976. — El flujo de escombros en La Gasca. Un informe científico, in : *Boletín de la Sección Nacional del Ecuador*; IPGH, Nos 5-6, Quito, Enero-Junio 1976.
- GOMEZ (N.), 1984. — La Mena II, un barrio de Quito con una lesión congénita, in : « Quito. Aspectos de su dinamismo geográfico » *Documentos de Investigación*, N. 5, 87 p.; CEDIG, Quito : 75-81.
- INERHI. 1975. — Informe interno sobre el aluvión del 25/11/75. Inedito, Quito, abril 1975.
- MUNICIPIO DE QUITO, 1974. — El área metropolitana de Quito. Municipio de Quito, *multigr.*
- PAZ (L.) y MINO, 1960. — Apuntaciones para una geografía urbana de Quito IPGH, Mexico, *multigr.*
- RYDER (R.), 1984. — Segundo informe técnico « La Mena II ». Enero 1984, in : « Quito. Aspectos de su dinamismo geográfico » *Documentos de Investigación*, N. 5, 1984, 87 p.; CEDIG, Quito : 84-87.
- WINCKELL (A.), 1984. — Primer informe técnico « La Mena II ». Enero 1983, in : « Quito. Aspectos de su dinamismo geográfico » *Documentos de Investigación*, N. 5, 1984, 87 p.; CEDIG, Quito : 82-83.

Notes

- (*) Version légèrement remaniée de l'article paru en Espagnol sous le titre « Accidentes climáticos y gestión de las quebradas de Quito », in : *Paisajes geograficos* No. 17, juillet 1986, Quito.
- (1) Le Pichincha a eu plusieurs éruptions historiques depuis la fondation de la ville Espagnole, dont la plus connue est celle de 1660, sans cependant causer d'autres dégâts que des chutes de cendre sur la ville (jusqu'à 40 cm d'épaisseur); il présente actuellement une petite activité géothermique permanente. Étant de type « Péléen » (volcanisme explosif, rejetant surtout des cendres et éventuellement des nuées ardentes), il constitue avec les séismes le principal risque potentiel de grande ampleur menaçant la ville.
- (2) Les « quebradas » apparaissent dans la région de Quito comme des ravins à bords vifs atteignant fréquemment 15 à 20 mètres de profondeur. Ces torrents de montagne ont un régime d'oued et ne coulent que quelques jours par an lors des orages les plus violents. Ils doivent leur morphologie très particulière à la nature et à l'épaisseur des cendres volcaniques (« cangahua ») du matériel encaissant.
- (3) Cette carte a été établie en reportant le tracé des quebradas figurant sur les premières cartes topographiques de 1935 (« Planchetas ») sur le fond topographique de 1979 de la ville (1/25 000^e); leur tracé dans le centre colonial, couvert depuis beaucoup plus longtemps, a été reconstitué à partir des indications issues de plan plus anciens.
- (4) Sur l'ensemble du site de Quito, les quebradas changent très fréquemment de nom le long de leur cours; ainsi dans le cas présent, trois quebradas (La Chorrera, Bellavista et San Cristobal) deviennent à l'aval la quebrada La Cantera, qui prend à partir de

San Roque le nom de Jérusalem. De plus ces noms ont fréquemment changé dans le temps, et il est rare de trouver à une quebrada le même nom sur divers documents cartographiques successifs. Nous avons tenté d'utiliser le nom le plus fréquemment utilisé, tant sur les cartes que par les journaux.

- (5) P. PELTRE, Fichier des accidents urbains climatiques survenus à Quito de 1900 à 1986 ; dépouillement des journaux : J. SARRADE. *Recherche en cours* : CEDIG-ORSTOM.
- (6) Les noms des quebradas variant considérablement selon les cartes et plans considérés, nous avons utilisés les noms d'usage le plus courant selon les journaux, correspondant souvent au nom de la carte à 1/20 000^e du Servicio Geográfico Militar (« Planchetas ») de 1935. Les numéros de quebradas sont ceux utilisés dans les tableaux de CMD 1977 et CMD 1985.
- (7) Empresa Municipal de Alcantarillas y Agua Potable.
- (8) Les données pluviométriques et hydrométriques ont été très aimablement fournies par l'EMAP-Quito, que nous remercions ici de son aide. G. de NONI a réalisé le dépouillement et l'interprétation des pluviogrammes et limnigrammes.
- (9) La station de Quito-Observatoire est prise pour référence pour la bonne qualité des informations et pour la longue série d'informations (depuis 1891). Les données utilisées sont tirées de l'étude « Acuifero de Quito » INERHI-EMAP-ORSTOM-PRONAREG.
- (10) G. DE NONI, J. F. NOUVELOT, G. TRUJILLO 1986.
- (11) Calcul effectué par P. POURRUT, hydrologue de la mission ORSTOM de Quito, sur la base de l'étude « Acuifero de Quito ».