

L'EFFET «ENSO» SUR LES PRÉCIPITATIONS ET LES ÉCOULEMENTS AU XXÈME SIÈCLE - EXEMPLE DE L'ÉQUATEUR

Pierre Pourrut *

Résumé

Sur le littoral équatorien, l'analyse statistique des données pluviométriques disponibles, qui s'étalent sur une cinquantaine d'années, a permis de mettre en évidence deux résultats principaux : 1 - les effets de ENSO ne sont pas tous aussi négatifs qu'on le pense habituellement; 2 - la fréquence de retour du ENSO 1982-1983 est supérieure à 1000 ans et son impact sur le milieu morpho-dynamique va au-delà des 100 000 km².

Mots-clés: Séries pluviométriques, distribution statistique, fréquence, tendance climatique, ruissellement, milieu morpho-dynamique.

IMPACTO DE ENSO EN LAS PRECIPITACIONES Y ESCURRIMIENTOS DURANTE EL SIGLO XX - EL CASO DEL ECUADOR

Resumen

En la región litoral del Ecuador, un análisis estadístico de las series pluviométricas disponibles, alrededor de cincuenta años, acarrea dos resultados principales: 1 - los efectos de ENSO no son todos tan negativos como se piensa habitualmente; 2 - el período de retorno del ENSO 1982-1983 es mayor de los mil años y su impacto sobre el medio geomorfo-dinámico abarca más de 100 000 km².

Palabras claves: Series pluviométricas, distribución estadística, frecuencia, tendencia climática, escurrimiento, entorno morfodinámico.

ENSO IMPACT ON RAINFALL AND RUNOFF IN XXth CENTURY - CASE OF ECUADOR -

Abstract

On the Pacific coastal region of Ecuador, a statistical analysis of the largest available pluviometric records, about fifty years, yields two main results: 1 - ENSO effects are not so negative as one usually comments; 2 - the return period of ENSO 1982-1983 occurrence is over one thousand years and the geomorphodynamical impact acts upon 100 000 km².

Key-words: Rain records, statistical distribution, frequency, climatic tendency, runoff, morphodynamical environment.

* ORSTOM - Universidad Católica del Norte. Facultad de Ciencias - Casilla 1280 - Antofagasta - CHILE.

Les nombreux paysages qui font l'un des charmes incontestés de l'Équateur sont en grande partie le reflet de l'extrême complexité de ses conditions climatiques. Plus qu'à un régime unique à plusieurs variantes, la véritable mosaïque des climats y est liée à des systèmes régionaux et microrégionaux d'une grande diversité.

Tout aussi spectaculaire est la très forte irrégularité des éléments climatiques et, notamment, celle des totaux pluviométriques observés en un lieu donné où, suivant les années, on peut observer indifféremment des pluies anormalement abondantes ou des sécheresses aiguës (Pourrut, 1983). Pour procéder à des comparaisons, ou même simplement pour porter un jugement sur le climat équatorien, il est clair que les valeurs moyennes annuelles ne constituent pas un critère suffisant d'appréciation et qu'elles n'ont une signification que si elles sont complétées par des références aux événements exceptionnels. Ceux-ci sont d'ailleurs déterminants et on connaît bien l'impact catastrophique que les fortes pluies associées aux phénomènes de «El Niño» peuvent avoir sur l'équilibre fragile des économies des pays affectés, en grande partie tributaires des ressources agricoles ou piscicoles.

Ceci explique que, depuis de nombreuses années, El Niño fasse l'objet d'études régionales très spécifiques et que le Chili, la Colombie, l'Équateur et le Pérou aient constitué le groupe ERFEN (Étude Régionale du Phénomène de El Niño) en vue de découvrir les mécanismes régissant le phénomène et pour prévoir son apparition, procédant à l'échange continu de données climatologiques et d'observations océanographiques. Les travaux d'ERFEN se font en coordination étroite avec les études menées à l'échelle internationale par un groupe mixte COI-OMM-CPPS (Commission Océanographique Internationale - Organisation Météorologique Mondiale - Commission Permanente du Pacifique Sud) qui opère une surveillance permanente des conditions physiques, météorologiques et biologiques de l'océan, en particulier grâce à l'utilisation des toutes dernières techniques satellitaires et au traitement informatique simultané des données enregistrées et transmises par des stations météorologiques fixes, des navires océanographiques ou marchands et des bouées dérivantes.

1. QUELQUES RAPPELS ET LIEUX COMMUNS À PROPOS DE «EL NIÑO»

Bien qu'il ne s'agisse pas ici de décrire ou d'analyser les causes du phénomène, qui font l'objet de nombreuses communications auxquelles on est prié de se reporter pour plus ample information, la cohérence du texte exige qu'une courte présentation en soit faite. Elle sera fondée sur les hypothèses bien connues de Klauss Wyrtki (*réponse dynamique de l'océan à l'augmentation de la force des alizés*) et de Jacob Bjerknes (*interaction thermodynamique entre l'océan et l'atmosphère*) (Bjerknes, 1961).

Ce sont les pêcheurs sud-américains qui ont baptisé du nom de «El Niño», terme désignant l'Enfant Jésus, en référence à l'époque où il se produit, le réchauffement de la surface de l'océan qui, le long des côtes péruviennes et équatoriennes, débute tous les ans aux alentours de Noël et se prolonge généralement jusqu'en mars ou avril (Wyrtki, 1979).

Il arrive cependant que cet événement prenne une ampleur inhabituelle et que l'augmentation de la température des eaux océaniques soit à la fois plus accentuée et plus prolongée. Au cours des dernières décennies, cela a été observé en 1925, 1931, 1939, 1941, 1953, 1957, 1958, 1965, 1972-1973, 1976-1977 et plus récemment en 1982-1983 et 1992.

Actuellement, le terme de «phénomène de El Niño» (ou encore «Niño», ENSO - El Niño Southern Oscillation - ou tout simplement EN) ne se réfère pas à la situation observée annuellement et il est habituellement réservé aux événements exceptionnellement marqués. Le SCOR (Scientific Committee for Ocean Research) définit EN de la manière suivante:

«un flux d'eaux chaudes qui, pendant une période d'au moins quatre mois, présente une anomalie positive de température égale ou supérieure à la valeur d'un écart-type (2 °C) et se déplace le long des côtes de l'Équateur et du Pérou»,

définition à présent élargie pour caractériser l'ensemble des flux d'eaux superficielles anormalement chaudes dans toute la zone de l'Océan Pacifique tropical.

Sur le littoral sud-américain, du Sud de la Colombie au Nord du Chili, cet apport se traduit par une hausse du niveau océanique et par un approfondissement de la thermocline. Mais, même si on l'a déjà rapidement mentionné, il faut insister sur les effets souvent catastrophiques du phénomène, conséquence de son incidence directe sur les conditions climatiques régnantes et sur la vie de l'océan.

Au plan climatique, outre l'augmentation des températures de l'air, EN est à l'origine de précipitations généralement exceptionnelles. Même si ces dernières ont plus d'un aspect positif (remplissage des retenues, apport d'eau à la végétation et alimentation des nappes souterraines d'un secteur au climat très sec), elles ont avant tout des conséquences néfastes car elles sont suivies d'inondations dévastatrices et d'une accélération des processus érosifs. Selon Joan Hock, du Service d'information et d'observation du milieu ambiant des États Unis, le EN 1982-1983 a causé les dommages suivants:

« (...) inondations dans les cinq provinces occidentales de l'Équateur et sur la plaine côtière du Pérou, se soldant par 260 victimes, 200 millions de dollars en destruction des propriétés, 100 millions en pertes agricoles. En Équateur, les inondations ont détruit une grande partie des plantations de riz et des infrastructures d'irrigation» (traduction libre, reprise d'un article du journal québécois «El Comercio»).

Au plan biologique, la température très élevée des eaux océaniques de surface (originaires du Pacifique Occidental et dont le transport par le Contre-courant Équatorial est accéléré par les ondes de Kelvin) contrarie les habituelles remontées d'eaux froides riches en éléments nutritifs (upwelling). Il en résulte une rupture de la chaîne alimentaire dont les conséquences sont catastrophiques pour la survie des poissons pélagiques et des oiseaux de mer. Toute la région en souffre mais le Pérou, où de nombreuses industries vivent de la pêche et de l'exploitation du *guano*, en est le plus gravement affecté. Citons quelques exemples: le Niño de 1957-1958 a réduit la faune avicole marine de 28 à 6 millions d'individus, celui de 1972 a fait chuter de manière spectaculaire les captures d'anchois de 12 MT (évaluation 1970) à 4 MT en 1972 et à 1,5 MT en 1973 (K. Wyrtki) et l'EN 1982-1983 a eu à cet égard un impact encore plus élevé puisqu'elles ont été inférieures à 0,5 MT. Le phénomène est également très ressenti aux îles Galapagos:

«tous les juvéniles des phoques des Galapagos nés en 1982 étaient morts en mars 1983; beaucoup de jeunes et d'adultes d'autres espèces étaient morts aussi; les femelles devaient rester 5 jours en mer au lieu des 1,5 jours habituels pour s'alimenter; à leur retour elles étaient incapables de fournir assez de lait à leurs petits» (A. Dessier, réun. ERFEN Guayaquil 1986).

De manière plus générale, le Niño peut être considéré comme la principale manifestation des interactions océan-atmosphère qui déterminent les fluctuations du climat à court terme (Philander, 1983). Il faut rappeler que la variabilité atmosphérique globale est exprimée par la «Southern Oscillation» (ou SO) qui représente la différence de pression atmosphérique entre l'anticyclone du Pacifique sud-est (mesuré à Tahiti) et le centre de basses pressions d'Indonésie (mesuré à Darwin). SO est caractérisée par un indice SOI, positif ou négatif, et on a pu établir une relation étroite entre le développement d'un Niño et la chute du SOI. La diminution des pressions de l'anticyclone provoque l'affaiblissement de l'alizé du sud-est et la cellule de Walker s'en trouve affectée: sa branche ascendante progresse vers l'Est alors que sa branche descendante se trouve déplacée vers le Sud. Cet affaiblissement des alizés, auquel viennent s'ajouter les positions méridionales anormales du FIT (Front Inter-Tropical qui migre vers les latitudes 5° à 10° S suite à une forte altération de la circulation atmosphérique d'Hadley) et du Front des Galapagos ou Front Équatorial FE (front thermique qui sépare les eaux chaudes peu salées du Nord et les eaux froides à salinité élevée du courant de Humboldt, lui aussi repoussé au Sud par l'afflux d'eaux chaudes), créent les conditions propices (en particulier par le renouvellement constant de masses d'air chaud saturé d'humidité) à la chute d'abondantes précipitations.

Cette situation exceptionnelle constitue l'élément de départ des événements dont l'analyse est présentée ci-après à l'aide d'exemples choisis en Équateur. Son propos est d'évaluer l'incidence d'El Niño sur les séries pluviométriques de longue durée, de donner un ordre de grandeur des fréquences d'apparition des pluies observées et enfin d'estimer l'influence de ces dernières sur les écoulements superficiels, l'environnement et les infrastructures. Le Niño de récurrence élevée observé en 1982-1983 servira de point de référence (Nouvelot & Pourrut, 1984).

2. IMPACT D'EN SUR LES PLUIES ET LES ÉCOULEMENTS

Afin de souligner le degré d'anormalité des événements pluviométriques consécutifs aux EN il faut bien sûr se rapporter à une chronique de données suffisante et donc analyser des séries d'observations continues et de longue durée. Dans cette intention, on a choisi les stations de Guayaquil (période 1915-1983), Milagro (1921-1983), Machala (1931-1983) et Portoviejo (retenue pour sa situation exceptionnelle, bien qu'elle présente d'importantes et fréquentes lacunes). Au-delà d'une étude classique dont le but principal est l'estimation des périodes de retour des pluviométries annuelles, mensuelles et journalières des EN, on a ici essayé :

- de mettre en évidence des caractères reproductifs pouvant contribuer à améliorer la prédiction des Niños, tels que l'existence d'une certaine pseudo-cyclicité ou de conditions pluviométriques préalables;
- d'établir les tendances climatiques de la région côtière et d'identifier le rôle des EN;
- de donner, avec d'ailleurs certaines réserves, une évaluation des fréquences des pluies observées à certaines stations de la façade littorale au cours de l'EN 1982-1983, choisi parce que c'est l'événement exceptionnel (Fig. 1 à 3) pour lequel on dispose de la meilleure information.

Le traitement statistique appliqué aux séries (Pourrut, 1986; 1992), en plus de la quête classique des lois de distribution les mieux adaptées, a donc consisté à rechercher une tendance générale en essayant d'éliminer l'influence des variations accidentelles et l'effet des fluctuations de courte durée (moyennes mobiles, droites de régression). Ce traitement et les graphiques correspondants (Fig. 1 a, b, c et d) permettent de tirer les enseignements suivants :

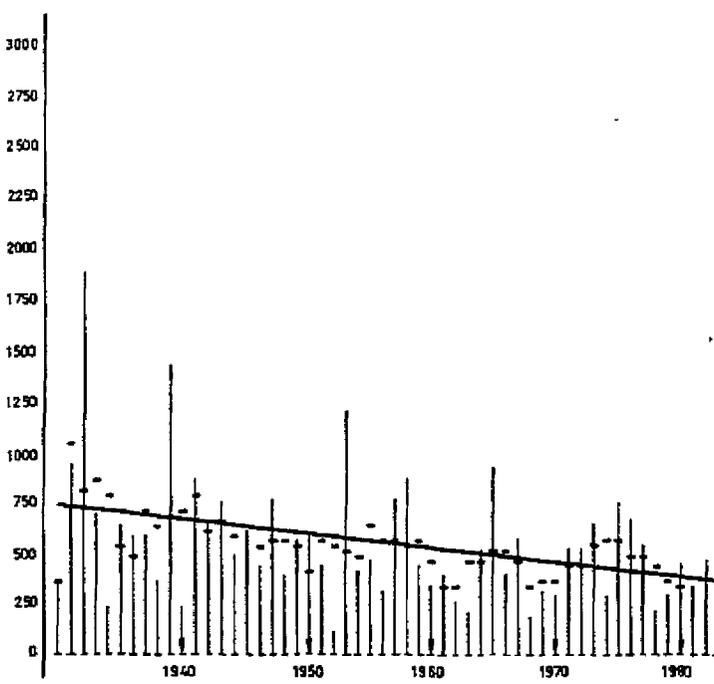


Fig. 1a - Machala.

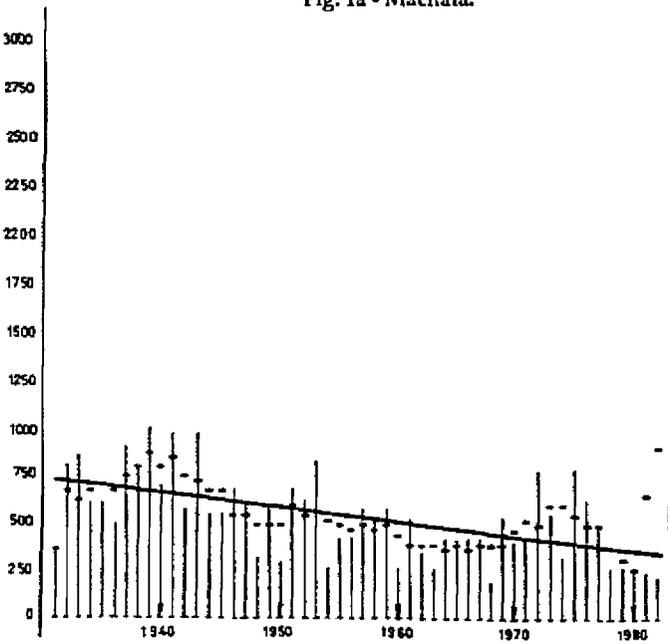


Fig. 1b - Portoviejo.

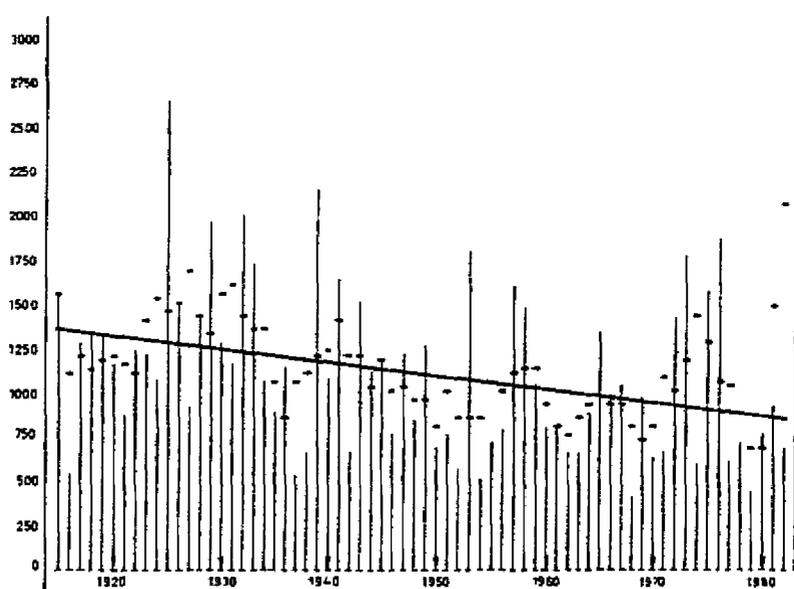


Fig. 1c - Guayaquil.

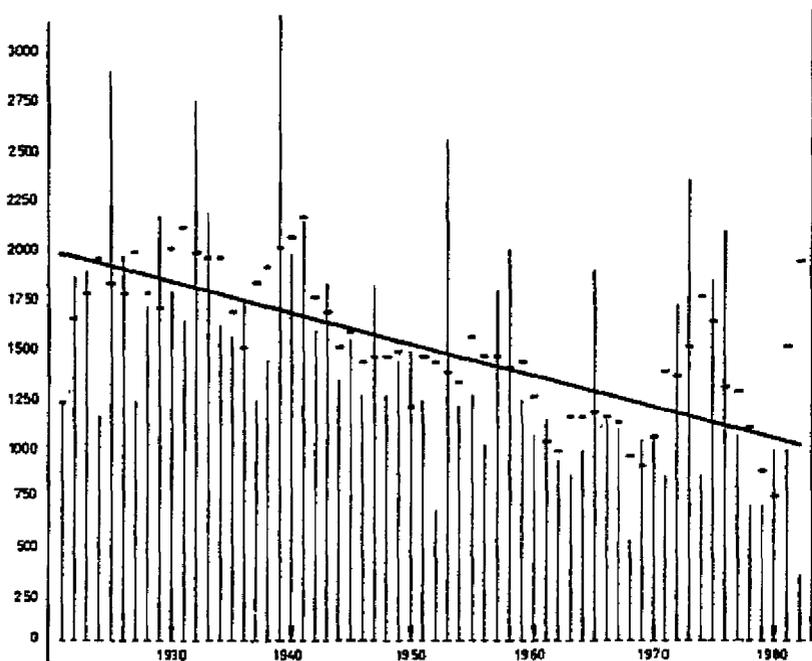


Fig. 1d - Milagro.

Fig. 1 - Tendence climatique : décroissance des pluviométries.

- 1 - Les années très pluvieuses ont une distribution pratiquement au hasard.
- 2 - Quoique le nombre d'événements et la durée des séries soient insuffisants pour tirer des conclusions définitives on peut observer que, dans la région littorale, les EN sont précédés par une année de faible pluviométrie et que celle-ci se situe sur une phase décroissante des moyennes mobiles.
- 3 - Jusqu'en 1982, les quatre séries observées dans la région côtière mettent en évidence une forte tendance (coefficients de corrélation significatifs dans l'intervalle de confiance à 95 %) à la décroissance des pluviométries, de l'ordre de 7 mm par an à Machala, Portoviejo et Guayaquil, atteignant même près de 16 mm par an à Milagro :

Machala :	P mm	=	724	-	7,0 t
Portoviejo :	P mm	=	710	-	7,7 t
Guayaquil :	P mm	=	1 350	-	7,6 t
Milagro :	P mm	=	1 948	-	15,8 t

Pour essayer d'estimer la véritable influence des divers Niños sur le processus mentionné ci-dessus, les séries observées ont été modifiées en remplaçant les valeurs des années à EN par celle de la moyenne arithmétique générale avant de procéder à un nouveau calcul des droites de régression correspondantes :

Machala :	P mm	=	533	-	3,3 t
Portoviejo :	P mm	=	609	-	5,5 t
Guayaquil :	P mm	=	1194	-	6,7 t
Milagro :	P mm	=	1673	-	12,3 t

L'analyse statistique à laquelle les séries pluviométriques observées ont été soumises, bien qu'elle ne permette pas une véritable prédiction des événements exceptionnels et des totaux pluviométriques futurs, donne cependant quelques précieuses indications. C'est ainsi que dans la région littorale, elle pourrait avoir permis d'isoler un nouvel indice puisque l'antériorité d'une année particulièrement sèche lors d'une période à pluviométrie décroissante semble être une condition préalable à la naissance d'un Niño (scul le EN de 1931 ne répond pas strictement à cette condition même si l'année 1930 est un peu faible). S'ajoutant aux autres indicateurs classiques (variation positive du niveau de l'océan, augmentation significative de la température superficielle des eaux, renforcement prolongé de la force des alizés et anomalies de l'Oscillation Sud), il constitue un élément mathématique de prévision qu'il ne faut sans doute pas négliger.

On a aussi pu mettre en évidence la tendance décroissante des pluviométries, ce qui implique deux aspects complémentaires. Le premier est que les valeurs données pour les années sèches de fréquence rare sont légèrement surestimées puisqu'elles ont été calculées avec l'ensemble de la série. Le second est que, si on élimine les Niños, les pentes des droites de régression sont plus faibles mais la tendance à la baisse persiste et un simple calcul montre que les totaux annuels seraient, du moins pour l'instant, encore plus déficitaires: *rendons aux Niños ce qui leur appartient... ils ont au moins cet aspect bénéfique.*

2.1. Cas de El Niño 1982-1983

Il ne fait guère de doute que le EN 1982-1983 a répondu à un modèle de formation différent du modèle-type. Wyrski avait d'ailleurs pronostiqué que le phénomène n'aurait pas lieu en 1982, 1983 et probablement 1984 parce qu'il n'y avait pas de changements significatifs des variations du niveau de l'océan et de la thermocline. Seule une analyse postérieure a permis de détecter quelques signes précurseurs, en particulier un inhabituel réchauffement des températures océaniques superficielles à la longitude 180° dès janvier 1982 ainsi qu'une anomalie de différence de pression atmosphérique entre Darwin et Tahiti, également au début de cette même année. C'est au précoce déplacement vers l'Est de la branche ascendante de la circulation de Walker que l'on doit attribuer les forts déficits pluviométriques observés vers la mi-82 en Indonésie, Nouvelle Zélande et aux Philippines, de même que la sécheresse historique qui a affecté l'Australie à la même époque. On note également la tendance du FIT à se déplacer prématurément vers le Sud ainsi que l'établissement anormal d'un système de vents d'Ouest à basse altitude, circonstance qui favorise la propagation de l'onde Kelvin à travers l'Océan Pacifique.

Sur le littoral équatorien, les événements décrits ci-dessus ont été perçus dès octobre 1982. Le réchauffement inhabituel des eaux de l'océan, suivi d'une forte augmentation des températures de l'air (de l'ordre de 30 C), a contribué à augmenter l'instabilité de la basse atmosphère et on observe des pluies précoces dès la seconde quinzaine du mois.

Bien que son intensité ait été inégale, l'influence du Niño s'étale sur une année entière, d'octobre 1982 à septembre 1983. On remarquera que son impact est particulièrement important sur la frange littorale, jusqu'à la latitude de 0°30'N, et sur les contreforts de la Cordillère Occidentale. La comparaison entre les précipitations interannuelles et celles qu'il a provoquées (Fig. 2 et 3) est une démonstration parfaite de la forte variabilité des pluies de la région côtière ; les pluviométries annuelles, mensuelles et journalières observées peuvent aussi être considérées comme véritablement exceptionnelles même si, comme le souligne F. Moniod (commun. person.),

«... attention sur les considérations statistiques des phénomènes hydropluviométriques consécutifs à El Niño: la réalité des fréquences ou temps de retour annoncés est très discutable, car le fait observé n'est peut-être pas le paroxysme d'une situation latente dont le «germe» serait contenu dans l'échantillon de référence, mais la manifestation accidentelle, quoiqu'assez courante, d'une autre situation ignorée dans l'échantillon de référence: auquel cas les extrapolations par Galton, Pearson ou autre de la distribution de l'échantillon n'ont aucune raison de refléter la fréquence de l'accident.»

On retrouve là le problème que soulèvent les distributions plurimodales: en réalité, l'ajustement devrait être une combinaison de deux composantes pour prendre en compte l'existence de deux processus (Nouvelot, 1982). L'estimation des fréquences ci-après n'est donc fournie qu'à titre indicatif.

GUAYAQUIL (67 ans), moyenne interannuelle : 1 100,9 mm - médiane : 1 015 mm ;
 - Niño 1982-1983 : 4 600, 4 mm (deuxième valeur observée : 2619,3 mm en 1925), ce qui correspondrait à une période de retour supérieure à plusieurs milliers d'années si on admet une distribution unimodale ;

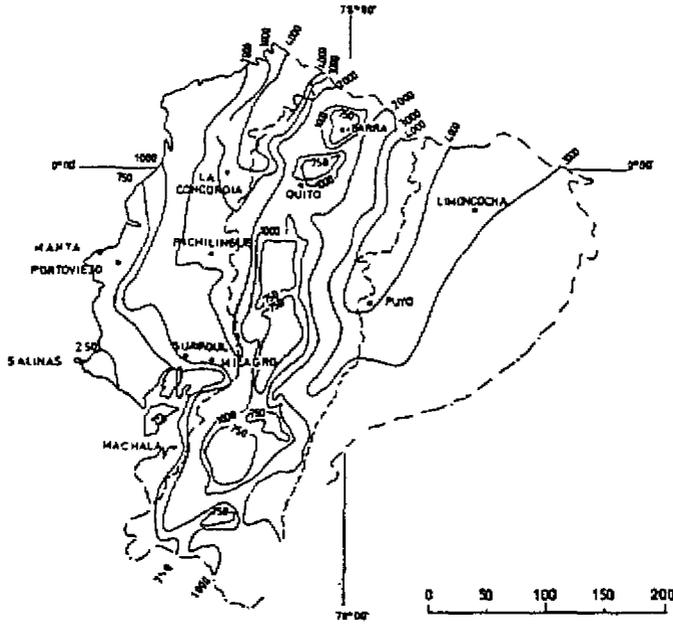


Fig. 2 - Hauteurs pluviométriques interannuelles (1963-1978).

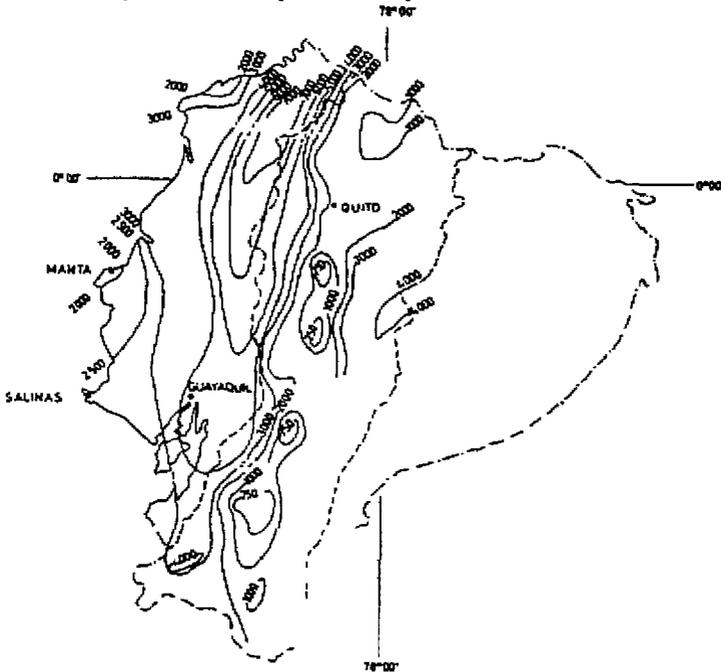


Fig. 3 - Hauteurs pluviométriques, octobre 1982 - septembre 1983.

- . 6 mois ont une période de retour supérieure à 100 ans ;
- . 12 pluies journalières ont une fréquence annuelle, 4 une fréquence décennale et 1 une fréquence centennale ;
- . on a enregistré 33,9 mm en 10 minutes, soit une intensité de 203 mm/heure.

SALINAS (27 ans), moyenne interannuelle : 125,5 mm - médiane : 100 mm ;

- Niño 1982-1983 : 2 833,0 mm (deuxième valeur observée : 340,4 mm en 1976), ce qui correspondrait à une période de retour supérieure à plusieurs milliers d'années si on admet une distribution unimodale ;
- . 5 mois ont une fréquence plus rare que la fréquence centennale ;
- . 33 pluies journalières ont une fréquence annuelle, 8 une fréquence décennale et 2 une fréquence centennale (signalons en particulier une pluie de 223 mm).

MANTA (32 ans), moyenne interannuelle : 225,8 mm - médiane : 170 mm ;

NNN- Niño 1982-1983 : 1.835,1 mm (deuxième valeur observée : 754,2 mm en 1953), ce qui correspondrait à une période de retour supérieure à plusieurs milliers d'années si on admet une distribution unimodale ;

NNN. 7 mois ont une période de retour supérieure à 100 ans ;

NNN. 14 pluies journalières ont une fréquence annuelle et 1 une fréquence centennale (180 mm).

Dans la zone interandine, où la Cordillère Occidentale contribue à réduire sensiblement le rôle des masses d'air océanique, à les distribuer de façon hétérogène et peut même en annuler l'influence, il est très difficile d'établir partout une relation directe entre le Niño et les pluviométries enregistrées en 1982-1983. Dans leur ensemble, elles sont supérieures aux valeurs normales mais l'augmentation est très variable : elle est généralement de l'ordre de 20 à 30% mais elle peut aussi bien être nulle qu'atteindre 400%, la hausse des pluviosités pouvant être très différente entre stations voisines. Par conséquent, il semble que l'influence de EN ne se traduise pas principalement par l'invasion de masses d'air humide mais plutôt par l'accroissement d'une activité convective qui répond à des conditions strictement locales et assez aléatoires. À Quito on a observé 219 jours de pluie (soit 33 jours de plus que le nombre annuel moyen) totalisant 1 780 mm (au lieu de 1 204 mm) dont 1 678 mm ont été enregistrés d'octobre à mai ; la fréquence de l'événement est d'ordre centennal. En revanche, on doit remarquer que le phénomène n'a eu aucune influence sur les hauteurs pluviométriques journalières (quoique la quantité des fortes pluies soit plus importante que de coutume, ce qui est illustré par le fait que le total annuel augmente de 48 % alors que le nombre annuel de jours pluvieux ne croît que de 17 %) et sur les intensités qui sont proches des valeurs médianes.

Quant à l'impact exact des EN sur la pluviométrie des Iles Galapagos, on peut affirmer qu'ils biaisent sensiblement l'estimation des pluviométries mensuelles et annuelles. Celles-ci ne peuvent être caractérisées par les simples moyennes et on a donc essayé d'ajuster les principales lois de distribution statistique aux séries pluviométriques (1965-1984) de la station scientifique Charles Darwin (niveau de la mer, île Santa Cruz) et de El Progreso (270 m d'altitude,

île San Cristobal). On s'aperçoit que la médiane calculée par la loi de Galton est nettement inférieure à la valeur de la moyenne annuelle et qu'en excluant les années à Niño (opération sans conteste discutable) on améliore considérablement l'ajustement et on abaisse les valeurs des pluviométriques de fréquence rare, annuelles ou mensuelles, cette diminution étant nettement plus sensible dans la zone côtière sèche. Pour la période exceptionnelle novembre 1982-octobre 1983, à la station Charles Darwin, la pluie annuelle (3312,7 mm) ainsi que les pluies de décembre 82 (510,0 mm), avril (434,2 mm), mai (659,9 mm) et juin 83 (642,5 mm) ont des périodes de retour supérieures à 1000 ans; par contre, à El Progreso, la pluie annuelle (5825,1 mm) et celles de juin (1058,8 mm) et juillet 83 (751,9 mm) sont à peine d'ordre centennal. Lors de chaque E.N., on observe aussi des averses journalières très élevée: on peut citer 137,6 mm le 17 décembre 82, 122,9 mm le 9 janvier et 105,1 mm le 29 juin 83, à la station Charles Darwin.

Iles Galapagos - Pluies annuelles en mm
Période 1965-1984

STATIONS	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
C. Darwin	65,0	56,5	98,8	79,3	62,9	44,4	23,8	8,9	10,9	12,1	8,6	45,7	516,9
Progreso	206,7	139,4	164,3	168,3	109,9	136,8	139,5	90,0	92,7	74,5	66,7	114,0	1502,8

Iles Galapagos - Impact des E.N. sur la pluviométrie en mm

STATION	Période	Moyenne	Ajustement par loi de Galton				
			T= 50 ans hum	T= 10 ans hum	médiane	T= 10 ans secs	T= 50 ans secs
Charles DARWIN	1965-1984	517	2170	1090	347	110	55
	Niños exclus	309	610	460	283	175	130
El PROGRESO	1965-1984	1502	4500	2765	1230	550	335
	Niños exclus	980	2640	1860	1040	580	410

Quant aux écoulements, on prendra l'exemple de ce qui a été observé dans la zone comprenant la péninsule de Santa Elena, l'île Puna et la frange côtière de la province de El Oro, caractérisée par un régime climatique pluvial tropical aride. La pluviosité y est toujours inférieure à 500 mm, à peine supérieure à 100 mm à la pointe de Salinas, ce qui détermine un système fluvial dont l'écoulement est temporaire, la plupart des rivières pouvant rester à sec plusieurs années de suite. Seules les très fortes précipitations qui accompagnent les EN provoquent des écoulements. C'est pour les quantifier qu'un bassin versant représentatif de 69,3 km² a été installé en 1981 sur le rio Tinto. Alors que la dernière crue avait été observée 7 ans auparavant (décembre 1975), les pluies d'octobre 1982 à septembre 1983 ont donné lieu à une séquence ruissellée hors du commun. La fréquence de cet événement doit être rapprochée des résultats de l'analyse de la série des observations enregistrées à la station pluviométrique de référence, celle de Salinas, dont les valeurs sont présentées ci-après :

1982			1983								ANNÉE	
O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A		S
11.8	1.4	6.0	402.2	198.2	304.8	606.8	734.4	501.2	66.2	0	0	2833.0

Rappelons brièvement que le calcul des périodes de retour donne des valeurs supérieures à plusieurs milliers d'années pour la totalité de la période (une année entière), comprises entre 500 et 1000 ans pour les mois de mai et juin, comprises entre 100 et 250 ans pour les mois de janvier, avril et juillet et que 33 averses journalières furent supérieures ou égales à la hauteur de la pluie annuelle antérieurement calculée.

Ces pluies étant exceptionnelles, il en est de même des écoulements:

- ils ont été *continus* du 2 janvier au 20 octobre 1983 ;
- pour 69 crues (la dernière ayant été observée le 12 juillet), la lame écoulée a atteint 945 mmm ; le coefficient d'écoulement moyen est de 37% mais il a été supérieur à 50% en mars et avril ;
- trois crues ont eu un débit de pointe supérieur à 100 m³/s ; le plus fort a été enregistré le 22 février : 116 m³/s soit 1670 l/s/km², valeur qui, même dans l'absolu, est remarquablement élevée pour un bassin de cette taille.

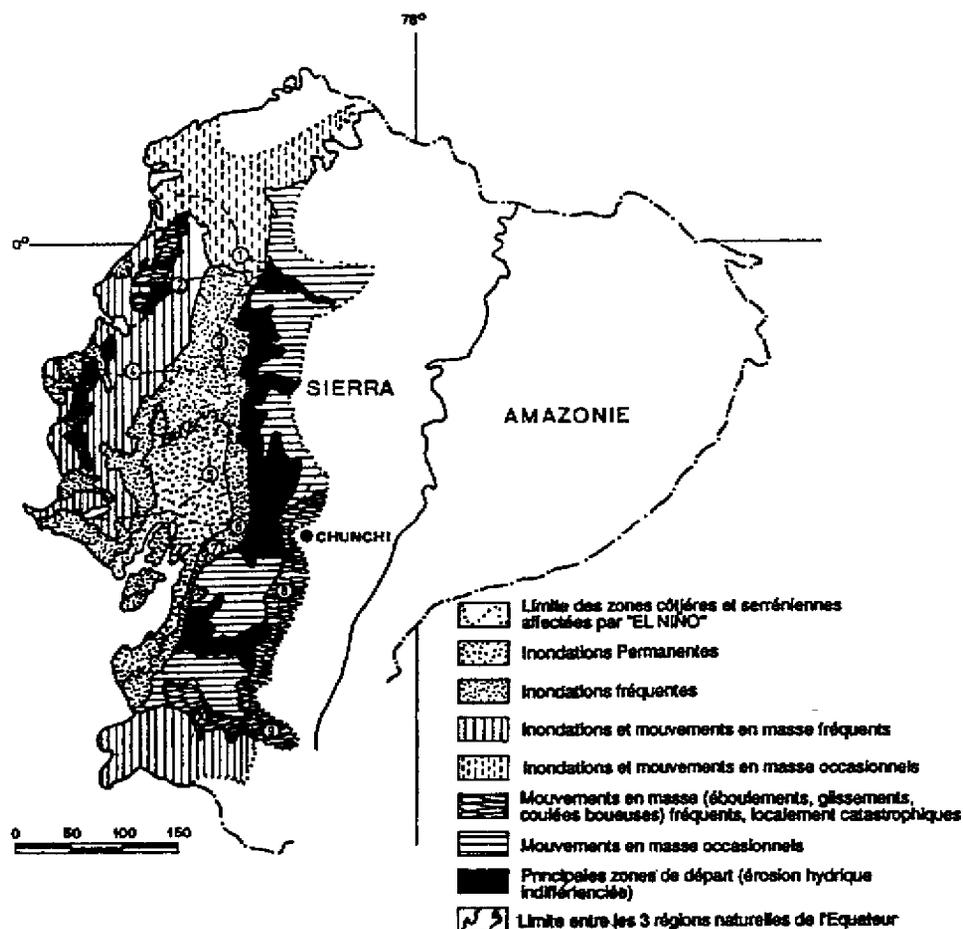
3. IMPACT SUR LES INFRASTRUCTURES ET LE MILIEU MORPHODYNAMIQUE

La figure 4 illustre l'importance des dégâts et l'ampleur de l'accélération des différents processus géomorphologiques, érosion et mouvements en masse, lors du Niño 1982-1983 (De Noni *et al.*, 1986).

Dans la plaine côtière, la route Quevedo-Guayaquil est coupée dès le 9 décembre. À partir du 15, une inondation généralisée portant sur environ 8000 km² s'installe et la décrue ne commencera qu'à la mi-juin 83 (bien que les pluies n'aient pas encore cessé). Les pertes agricoles sont totales et le réseau d'irrigation est fortement endommagé. Le réseau routier est longuement interrompu et toutes les routes, mêmes celles qui sont restées praticables, devront être entièrement refaites.

À l'Est de la zone précédente, sur le piémont et sur la partie montagneuse basse de la Cordillère Occidentale, des inondations catastrophiques ont localement détruit la plupart des ponts. Ailleurs, des phénomènes d'érosion généralisée (ravines d'ordre métrique, éboulements, glissements et coulées de boue) ont entraîné des coupures fréquentes et fortement endommagé le réseau routier.

Dans la région andine, comme il a déjà été signalé, l'impact du Niño est plus sporadique et la distribution des dégâts plus aléatoire que dans la région côtière mais les fortes pentes et la haute densité de la population ont eu des conséquences parfois dramatiques. Le seul glissement de terrain de Chunchi a fait plus de 100 victimes et Quito a été affecté par un grand nombre d'événements parfois catastrophiques, causant plus d'une dizaine de morts. L'érosion, déjà intense en temps normal, a très fortement augmenté et s'est manifestée sous toutes ses formes, la dégradation des sols étant particulièrement importante dans les zones nouvellement défrichées.



PRINCIPAUX AXES ROUTIERS COUPÉS AU TRAFIC: 1. Aloag-Santo Domingo- La Concordia; 2. Santo Domingo-Bahía; 3. Santo Domingo-Quevedo; 4. Portoviejo-Quevedo; 5. Quevedo-Guayaquil; 6. Guayaquil- Pallatanga; 7. La Troncal-Machala; 8. Tiran-Cuenca-Loja; 9. Loja-Zamora; 10. Loja-La Toma-Saracay-Piñas.

Fig. 4 - Impact du ENSO 1982-1983 sur le milieu.

Aux Iles Galapagos, l'impact des EN est toujours fortement ressenti et les averses provoquent des dommages considérables: la très forte pluie du 17 décembre 82, généralisée sur l'ensemble des sites habités, a transformé en torrent la principale avenue de Bellavista (Santa Cruz), inondé 30 % des maisons de Puerto Villamil (Santa Isabela) et dénudé jusqu'au socle volcanique les rues de Puerto Baquerizo Moreno (San Cristobal).

4. CONCLUSION

Un événement tel qu'EN est un phénomène rare contre lequel il est difficile de se prémunir. Devant son impact économique considérable, tout signe précurseur doit être pris au sérieux, même le modeste indicateur de type statistique que la présente note a signalé. Comme le préconise le sage adage, «mieux vaut prévenir que guérir».

Références citées

- BJERKNES, J., 1961 - El Niño study based on analysis of ocean surface temperatures, 1935-1957. *Inter-American Tropical Tuna Commission. Bulletin*, Vol. 5(3): 217-234.
- DE NONI, G., POURRUT, P., VIENNOT, M., 1986 - *Analyse de l'impact du Niño 1982-83 sur le milieu morphodynamique instable de l'Équateur*, Colloque Climat et risques naturels, Paris, 5 et 6 juin 1986.
- NOUVELOT, J-F., 1982 - *Normas pluviométricas propuestas para el Ecuador*, Quito: PRONAREG-ORSTOM.
- NOUVELOT, J-F, & POURRUT, P., 1984-1985 - El Niño - Phénomène océanique et atmosphérique - Importance en 1982-1983. *Cahiers ORSTOM, Hydrologie*, XXI, (1): 39-67.
- PHILANDER, S. G. H., 1983 - El Niño southern oscillation phenomena. *Nature*, vol. 302: 295-301.
- POURRUT, P., 1983 - Los climas del Ecuador. Fundamentos explicativos. *Documentos de Investigación*, N° 4: 8-43, Quito: CEDIG-IPGH-ORSTOM.
- POURRUT, P., 1986 - Algunas consideraciones acerca de los fenómenos climáticos extremos observados en el Ecuador. *Revista Cultura*, Vol. VIII(24a): 257-272. Actas del Coloquio Ecuador. Quito: Banco Central del Ecuador.
- POURRUT, P., 1992 - ENSO en Équateur : incidence sur les pluies, les écoulements et le milieu. in: *Paleo ENSO Records, international symposium, Extended abstracts* (L. Ortlieb, & J. Macharé Eds.): 253-262. Lima: ORSTOM/CONCYTEC.
- WYRTKI, K., 1979 - El Niño. *La Recherche*, N° 106: 1212-1220.