

El Niño

Phénomène océanique et atmosphérique Importance en 1982-1983 et impact sur le littoral équatorien

J.F. NOUVELOT (1), P. POURRUT (2)

RÉSUMÉ

D'octobre 1982 à septembre 1983 des pluies très importantes ont été observées sur la façade maritime de l'Équateur. Elles étaient provoquées par un « El Niño », courant maritime anormalement chaud se déplaçant du Nord au Sud le long du littoral équatorien et péruvien, dont l'apparition apériodique se traduit par de notables modifications des conditions climatiques et biologiques de la région, avec des conséquences économiques parfois catastrophiques.

Après avoir examiné les principales hypothèses relatives à l'origine du phénomène : interaction thermodynamique entre océan et atmosphère liée à « l'oscillation australe » (Bjerknes) et réponse dynamique de l'océan à l'augmentation de la force des alizés (Wyrki), il est procédé à une analyse comparative des pluviométries moyennes annuelles, mensuelles et journalières, et des valeurs observées au cours de l'année hydrologique 1982-1983 afin d'essayer d'estimer la fréquence d'apparition de ces dernières.

Bien que la taille des échantillons de pluie disponibles ne soit pas suffisante pour en tirer des conclusions définitives, il est vraisemblable que les hauteurs de pluies observées ainsi que la durée du phénomène 1982-1983 sont de fréquence très rare.

MOTS-CLÉS : Oscillation Sud (O.S.) – Zone de convergence intertropicale (ZCIT) – Front intertropical (FIT) – Front équatorial (FE) – Thermocline (3).

ABSTRACT

EL NIÑO. OCEANIC AND ATMOSPHERIC PHENOMENON. Importance 1982-1983 and its impact on the coastal region of Ecuador

From october 1982 to september 1983 very heavy rainfalls were observed on the Ecuador coast. This phenomenon was due to an abnormally warm sea-current called « El Niño » flowing southward along the ecuadorian and peruvian coasts. Important modifications in the climatological and biological conditions of the region are caused by « El Niño », with sometimes disastrous economic consequences.

After having gone through the principal hypothesis about the origin of the phenomenon : air-sea thermodynamic interactions linked to the southern oscillation (Bjerknes) and ocean reactions to an increase of the tradewinds (Wyrki), a comparative analysis between the mean annual, monthly and daily rainfalls and the corresponding values observed during the hydrological year 1982-1983 is carried out in order to estimate their return periods.

Although most of the available samples about rainfalls are too small to draw definite conclusions, it is likely that the rainfalls and the duration of the phenomenon 1982-1983 have both very long return periods.

KEY WORDS : Southern oscillation – Intertropical convergence zone (ITCZ) – Intertropical front – Equatorial front – Thermocline.

(1) Maître de Recherches Principal à l'ORSTOM

(2) Ingénieur-Hydrologue à l'ORSTOM

(3) Voir définitions p. 65.

1. EL NIÑO : DÉFINITION, INFLUENCE CLIMATIQUE ET BIOLOGIQUE

Le phénomène d'El Niño, ou plus simplement « El Niño » (nom qui lui a été donné parce que son apparition coïncide approximativement avec la fête de Noël et que el niño, c'est-à-dire l'enfant en langue espagnole, désigne plus particulièrement l'Enfant Jésus), est un événement apériodique dont les dernières manifestations ont eu lieu en 1957-1958, 1965, 1972, 1976 et 1982-1983.

Le SCOR (1) a défini « El Niño » comme un flux d'eaux chaudes qui présente, pendant une période d'au moins quatre mois, une anomalie positive de température égale ou supérieure à un écart-type et qui se déplace vers les côtes de l'Équateur et du Pérou.

Par extension, le mot « El Niño » sert à définir des événements exceptionnels interannuels caractérisés par des eaux de surface anormalement chaudes, non seulement le long des côtes sud-américaines, mais également sur la majeure partie de l'océan Pacifique tropical. Cette invasion peut s'étendre au-delà du 12^e degré de latitude sud le long des côtes du Pérou où habituellement s'observent de fortes remontées d'eaux profondes froides favorisées par des alizés du sud-est intenses. Ce sont ces eaux riches en éléments nutritifs qui ont permis au Pérou de développer de très importantes industries liées à la pêche et à l'exploitation du « guano ». L'apparition de ce phénomène va avoir des conséquences très importantes tant au plan biologique que climatique. D'une part, la biomasse de phytoplancton océanique subit une baisse considérable en diatomées et une augmentation en dinoflagellés d'eaux chaudes, accompagnées d'une forte diminution en œufs et alevins de poissons pélagiques (maquereaux, sardines et anchois en particulier), ce qui a des répercussions catastrophiques sur la vie maritime et la population d'oiseaux de mer. A titre d'exemple, au Pérou « El Niño » de 1957-1958 a fait passer, faute de nourriture, la faune avicole marine de 28 millions à 6 millions d'individus, et « El Niño » de 1972 a réduit de façon spectaculaire les captures d'anchois puisque celles-ci, évaluées à plus de 12 millions de tonnes en 1970, chutèrent à 4 millions en 1972 et 1,5 million en 1973 (2).

D'autre part, les eaux de surface particulièrement chaudes et les alizés relativement faibles régnant sur l'océan Pacifique, de même que la position très méridionale de la zone de convergence intertropicale, créent les conditions propices à la chute d'abondantes précipitations ayant quelquefois des conséquences catastrophiques. A ce point de vue « El Niño » 1982-1983 a été particulièrement exceptionnel puisque, en juillet 1983, Joan Hock (3) a établi la liste suivante des dégâts directement provoqués par ce phénomène : « *Inondations dans les cinq provinces occidentales de l'Équateur et dans la plaine côtière péruvienne, se soldant par 260 morts, 200 millions de dollars en pertes à la propriété, 100 millions de dollars en pertes agricoles. En Équateur, les inondations ont dévasté les plantations de riz et les systèmes d'irrigation* ».

Étant donné ses conséquences parfois catastrophiques, il était normal qu'en plus des études météorologiques générales au niveau de la planète, « El Niño » donne lieu à des études plus spécifiques. C'est ainsi que le Chili, la Colombie, l'Équateur et le Pérou ont formé le groupe ERFEN (4) qui, principalement sur la base d'échanges d'information météorologique et de croisières océanographiques, essaie de comprendre et de prévoir l'apparition du phénomène. Par ailleurs, à l'échelle internationale, il existe un groupe de travail mixte COI-OMM-CPPS (5) qui réalise des études détaillées sur les conditions physiques, météorologiques et biologiques de l'océan, en utilisant les données recueillies et transmises par des stations météorologiques fixes, des bateaux océanographiques ou marchands, des bouées dérivantes, des satellites, etc. C'est ainsi que peu à peu, on est arrivé à cerner le problème de la formation et du développement de « El Niño », bien que les hypothèses émises ne soient pas toujours concordantes et que la raison profonde de certains phénomènes fasse toujours l'objet d'études.

2. CONTEXTE GÉNÉRAL – CIRCULATIONS OCÉANIQUES ET ATMOSPHÉRIQUES

2.1. L'OCÉAN PACIFIQUE ET LES COURANTS MARINS

L'océan Pacifique représente à lui seul près de la moitié de la surface totale des mers puisqu'il s'étend sur 14 000 km dans le sens nord-sud et près de 18 000 km dans le sens est-ouest. Si l'on admet une profondeur moyenne

(1) SCOR : Scientific Committee for Ocean Research.

(2) C.P. Idyll « The anchovy crisis » – Scientific American – 1973.

(3) Service d'Information et d'Observation du Milieu ambiant – États-Unis.

(4) ERFEN : Estudio Region del Fenomeno de El Niño.

(5) – COI : Commission Océanographique Internationale. – OMM : Organisation Météorologique Mondiale. – CPPS : Commission Permanente du Pacifique Sud.

peu inférieure à 4 000 m, son volume serait voisin de 700 millions de km^3 , soit la moitié des eaux océaniques totales. Cependant, il est intéressant d'observer que seulement 40 % des pluies qui tombent sur le globe arrivent à l'océan Pacifique, compte tenu du fait que les fleuves et rivières qui s'y jettent ne drainent que le quart des terres émergées. Intervenant malgré tout pour la moitié dans l'évaporation du globe, son bilan serait déséquilibré sans les apports d'autres océans qui proviennent essentiellement du sud et de l'ouest (océans Antarctique et Indien). Ces apports en eaux profondes ainsi que ceux provenant des grands fleuves sont riches en sels nutritifs, ce qui permet le développement d'une vie végétale intense jusqu'à des profondeurs – surtout aux basses latitudes – d'une centaine de mètres, c'est-à-dire jusqu'où l'ensoleillement permet la photosynthèse.

Ces eaux, particulièrement riches et naturellement froides, vu leur provenance, remontent à la surface non seulement dans les zones de moyennes ou hautes latitudes, mais parfois dans les zones intertropicales, à la faveur de vents qui déplacent les eaux chaudes de surface. Ce phénomène d'« upwelling » se rencontre le long des côtes péruviennes et du Sud équatorien lorsque les forts alizés de sud-est repoussent les eaux de surface vers le nord-ouest et l'ouest.

Les eaux océaniques situées juste sous l'équateur géographique sont un peu plus denses que les eaux voisines situées vers 5° ou 10° de latitude. Il se forme donc une ride qui fait que les eaux plus légères tendent à se déplacer vers l'équateur mais que, déviées par la force de Coriolis due à la rotation de la terre, elles forment un véritable courant appelé courant équatorial-sud qui se déplace vers l'ouest renforcé par les vents de la convergence intertropicale (fig. 1). Il s'ensuit, d'après Wyrтки, que la différence de niveau entre le Pacifique occidental et le Pacifique oriental serait d'environ 40 cm. De plus, les eaux réchauffées en provenance de l'Ouest provoqueraient un approfondissement de la thermocline qui se situerait à — 200 m à proximité de la Mélanésie et seulement à — 50 m à hauteur des côtes sud-américaines (fig. 2 et fig. 3).

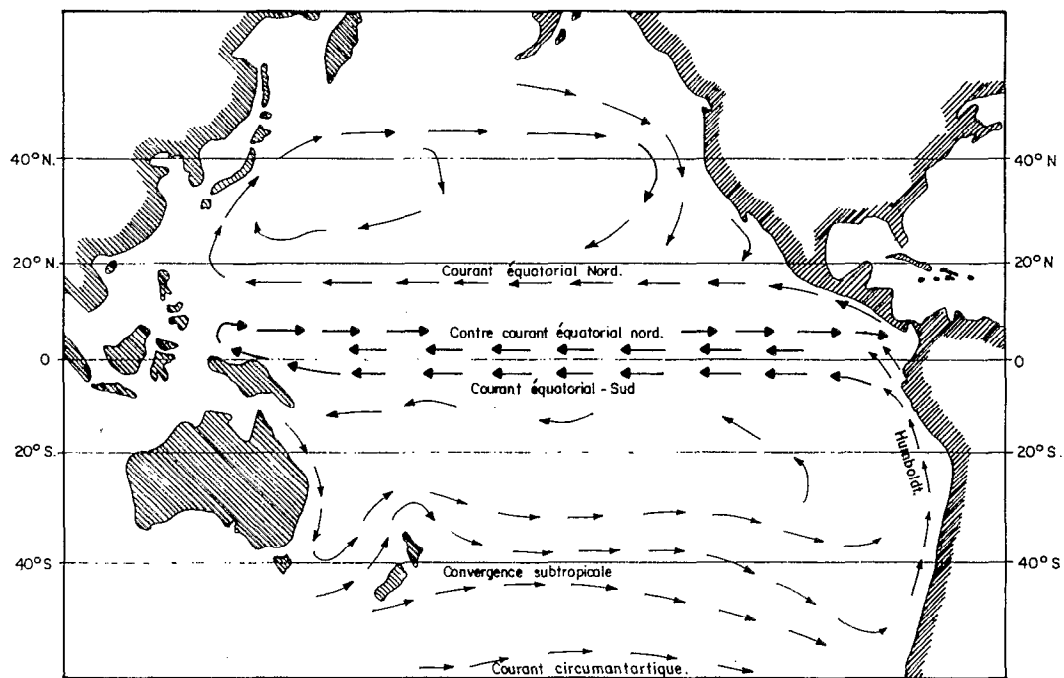


FIG. 1. — Schéma des principaux courants marins de l'océan Pacifique

Après avoir buté contre les îles mélanésiennes, ce courant équatorial-sud donne naissance à deux contre-courants équatoriaux vers l'est qui viennent équilibrer le déficit en eau laissé dans le Pacifique oriental. Le contre-courant équatorial nord est relativement bien marqué, alors que le contre-courant sud ne se manifeste que sporadiquement. Il semble que la disposition des îles mélanésiennes oblige ce dernier à passer sous le courant sud-équatorial. Il n'est pas impossible qu'il marque le début du courant de Cromwell qui apparaît généralement à l'ouest des îles Galapagos à une profondeur d'une centaine de mètres, mais qui lors de certains « Niños » importants a pu être observé à 120 km des côtes sud-américaines. Certains auteurs pensent que le phénomène

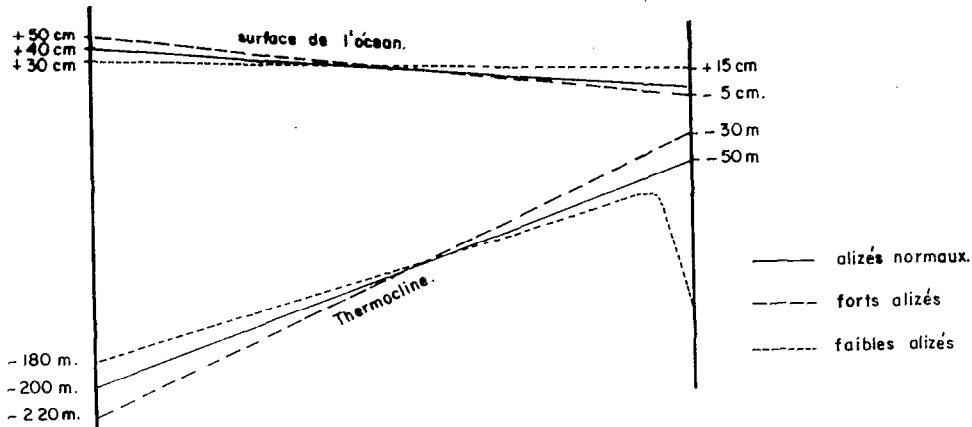


FIG. 2. - Réponse de l'océan Pacifique aux vents alizés
D'après K. WYRTKI

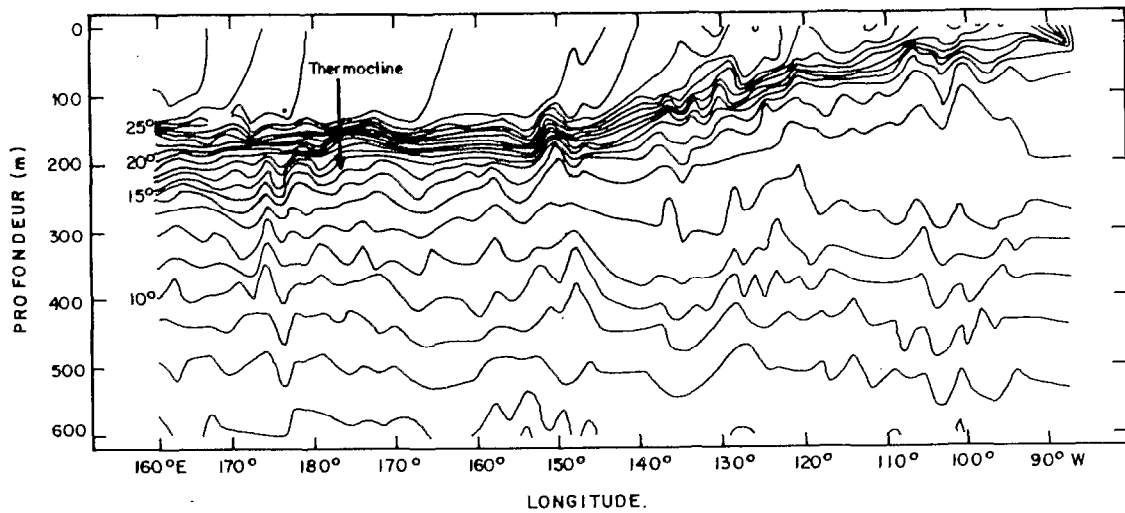


FIG. 3. - Variation de la température en fonction de la profondeur et de la longitude le long du Pacifique équatorial
D'après COLLIN, HENIN, HISARD et OUDOT

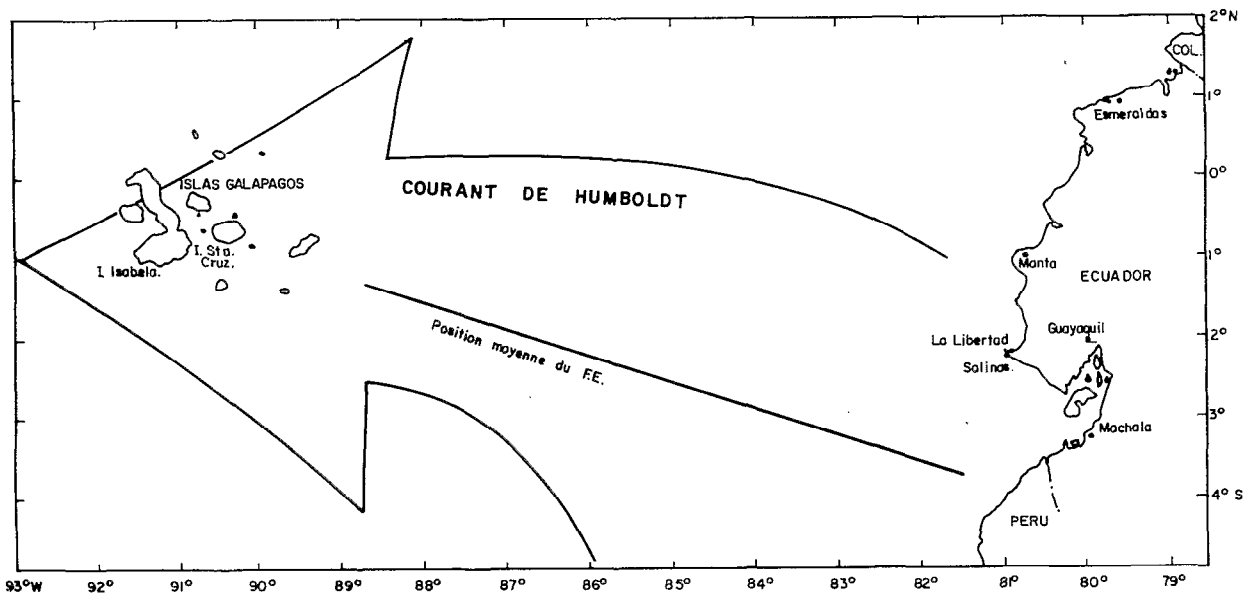


FIG. 4. - Les courants marins au large de l'Équateur

« d'El Niño » correspond à un renforcement, certaines années, du contre-courant équatorial nord. Au-delà des contre-courants équatoriaux, la circulation s'organise de part et d'autre de chacun des tropiques en tourbillons de très grande extension. Dans le Pacifique Nord, le tourbillon tropical boréal est dextrogyre : entre les 12° et 20° nord s'observe ainsi un courant de direction Ouest, appelé courant équatorial nord, favorisé par les alizés. Il va buter contre les Philippines pour se dévier ensuite en direction du Japon. Dans le Pacifique Sud, le tourbillon subtropical est sénestrogyre. Sa branche méridionale est parallèle au grand courant d'ouest circumantarctique. Il s'observe ainsi des échanges d'eau qui font qu'à proximité des côtes sud-américaines ce courant, dit de Humbolt, apparaît comme franchement froid. A hauteur du Golfe de Guayaquil, il prend une direction nord-ouest avant de venir progressivement se confondre, une fois réchauffé, avec le courant équatorial sud (fig. 1).

Si par un effet de zoom nous observons plus en détail ce qui se passe au large des côtes du Pérou et de l'Équateur, nous voyons que le courant froid venant du sud, qui prend ici le nom de courant du Pérou, dont la température varie entre 15° et 19° et dont la salinité est voisine de 35 ‰, rencontre des eaux tropicales superficielles plus chaudes et moins salées (température supérieure à 25° et salinité inférieure à 35 ‰).

La zone de transition, appelée Front équatorial, est l'une des caractéristiques importantes des conditions océanographiques de la région côtière de l'Équateur. En général, ce front va des îles Galapagos à la côte nord du Pérou (fig. 4). Durant l'hiver boréal, il descend vers le sud, alors qu'en été, il remonte vers le nord. L'apparition « d'El Niño » correspond à un fort déplacement méridional. Ce mélange d'eaux chaudes peu salées, riches en oxygène, avec des eaux froides chargées en éléments nutritifs (phosphates, nitrates) joue un rôle très important dans la fertilité des eaux côtières péruviennes et équatoriennes.

2.2. LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE

D'une manière générale très schématique, l'on peut dire que l'atmosphère autour du globe est soumise à deux types de circulation : une circulation méridienne et une circulation zonale. Ce que l'on observe est bien évidemment la résultante de ces deux tendances perpendiculaires.

2.2.1. La circulation méridienne

Comme son nom l'indique, peut – d'une manière simplifiée – être décrite le long d'une demi-coupe méridienne située dans l'hémisphère nord (fig. 5) : au Nord, une petite cellule polaire séparée par le front polaire d'une cellule occupant les latitudes moyennes ; entre l'équateur et le tropique, la cellule de Hadley, beaucoup mieux définie que les deux cellules précédentes, présente dans sa partie nord une zone anticyclonique (sens de rotation vers le bas des deux cellules adjacentes) et dans sa partie sud, proche de l'Équateur, une zone dépressionnaire au contact de la cellule jumelle située dans l'hémisphère sud, laquelle franchit généralement l'Équateur ; ce qui explique que la zone de convergence intertropicale et le front intertropical soient légèrement décalés vers le nord.

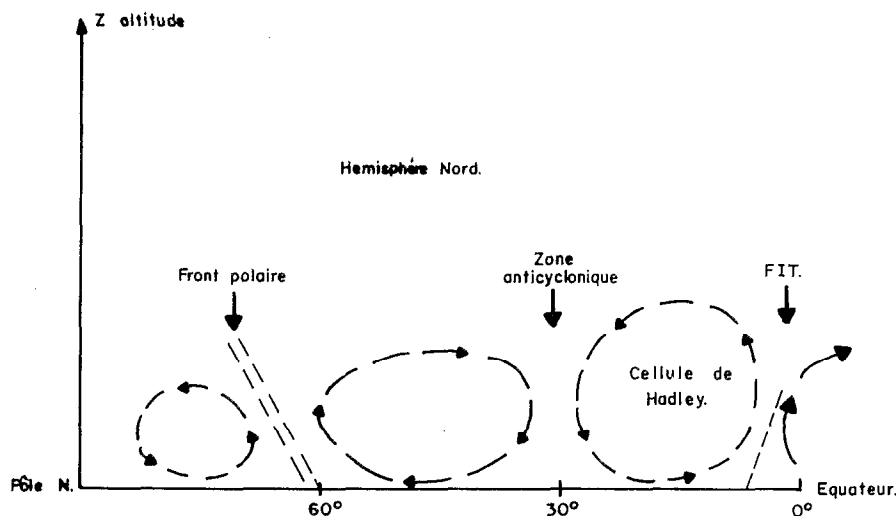


FIG. 5. – Circulation méridienne moyenne

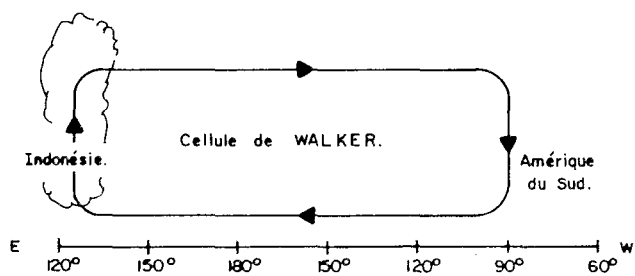


FIG. 6. - Circulation zonale sur l'océan Pacifique

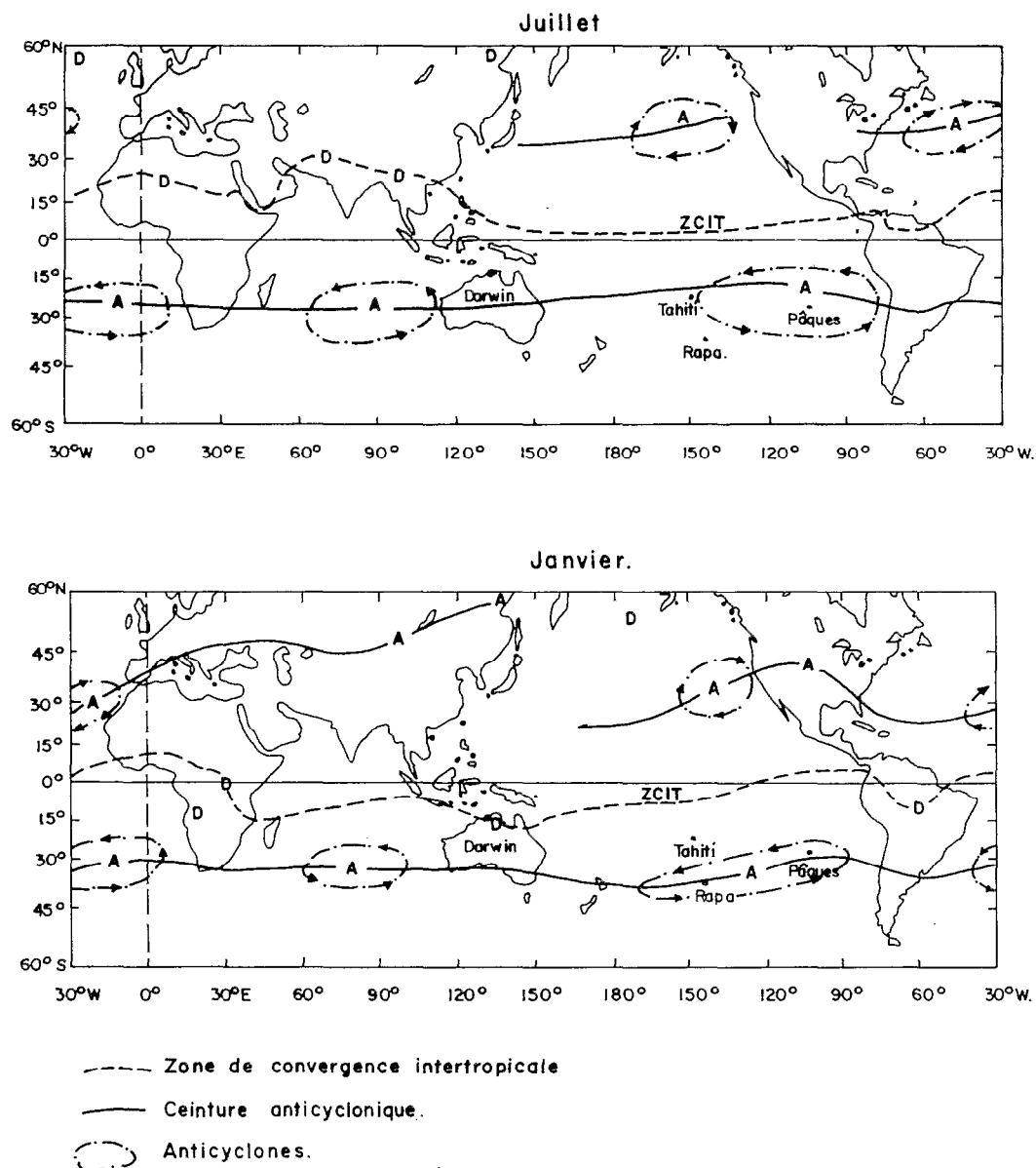


FIG. 7

2.2.2. La circulation zonale

Il n'y a guère plus d'un demi-siècle, G. Walker proposa un schéma de circulation zonale pour l'ensemble des régions équatoriales. Au-dessus des continents qui s'échauffent beaucoup plus vite que les masses océaniques, les masses d'air s'élèvent pour redescendre ensuite sur les océans plus froids. On peut différencier quatre cellules différentes, mais la plus importante, qui couvre l'océan Pacifique, concerne par conséquent la moitié du globe (fig. 6). Ainsi, les alizés qui soufflent en direction de l'ouest sur la majeure partie de l'océan Pacifique intertropicale se chargent de vapeur d'eau et convergent vers la zone de basse pression centrée sur le nord de l'Australie et l'Indonésie mais qui peut s'étendre jusque sur l'océan Indien. Il se forme une vaste zone dépressionnaire instable où la couche nuageuse et les pluies sont très importantes. L'air retourne ensuite vers l'Est à plus haute altitude et redescend vers la zone froide et sèche de hautes pressions du sud-est du Pacifique centrée sur l'île de Pâques.

Sur le Pacifique Nord existe un autre centre de hautes pressions situé à environ 35° N et 140° W.

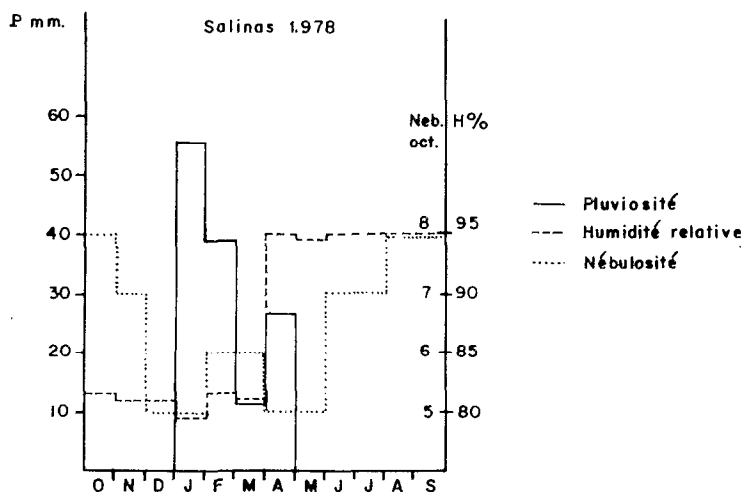


FIG. 8

3. RETOUR SUR EL NIÑO

Pendant très longtemps, on a pensé qu'il s'agissait d'un phénomène bien localisé qui correspondait à un arrêt des remontées d'eaux froides et, parallèlement, à l'arrivée en provenance du nord d'eaux superficielles tropicales plus chaudes. Il était admis que la cause de ces changements résidait essentiellement en un affaiblissement des vents de basse altitude le long des côtes du Pérou. Toutefois, après une étude détaillée de la direction et de la force des alizés observés au-dessus du Pacifique, K.G. Wyrtki et un de ses élèves ont pu montrer que les vents soufflant à proximité des côtes péruviennes ne faiblissaient pas sensiblement durant les « Niños ». De plus, d'autres chercheurs, tels J. Bjerknes, s'étaient rendu compte que très fréquemment les « Niños » s'accompagnaient de manifestations météorologiques inhabituelles. Il était donc nécessaire d'étudier le phénomène dans un domaine spatial beaucoup plus ample et d'essayer de vérifier si les anomalies observées ne s'étendaient pas sur plusieurs années, l'inertie thermique de l'océan Pacifique étant évidemment considérable. S.G.H. Philander divise « El Niño » en trois phases d'une durée totale de près de deux ans (Philander, voir bibliographie).

3.1. LES SIGNES PRÉCURSEURS

Wyrtki (voir bibliographie) a pu montrer que l'année précédant l'arrivée d'« El Niño », le niveau des eaux

dans le Pacifique Occidental à hauteur de la Nouvelle Calédonie et des Samoa était anormalement élevé. Cette élévation serait d'environ 10 cm et serait provoquée par des alizés anormalement forts soufflant durant une période assez longue (pour Wyrтки cette période serait de 18 mois). De plus, ces vents transportant, grâce au courant équatorial sud, d'importants volumes d'eaux réchauffées, il s'ensuit dans ces régions un approfondissement de la thermocline qui passerait de — 200 m à — 220 m. Parallèlement, par un effet de « bascule » on observe à hauteur du continent sud-américain une baisse de 5 cm du niveau de l'océan et une remontée de 20 m de la thermocline (fig. 2).

Des changements dans la circulation de Walker sont également annonciateurs d'« El Niño ». On observe dès le mois d'octobre un déplacement de sa branche ascendante vers le méridien 180°, donc vers l'est. Les principales manifestations de ce phénomène sont une baisse de la pression atmosphérique de surface et de la force des alizés, et une augmentation des précipitations entre la Nouvelle Guinée et le méridien de changement de date. Parallèlement, la pression atmosphérique croît sur l'Indonésie et le nord de l'Australie, ce qui entraîne une baisse de précipitations sur ces régions. Ces changements sont précédés, dans le sud-est du Pacifique, par une chute dès le mois d'août de la pression atmosphérique à hauteur de la zone anticyclonique centrée sur l'île de Pâques.

La circulation méridienne, et plus précisément la zone de convergence intertropicale, présente également des caractères anormaux qui se manifestent dès le mois de janvier par un fort déplacement vers le sud. La ZCIT peut arriver à proximité de l'équateur, ou parfois même le franchir, alors que sa position méridionale normale se situe à 3° nord. Quand la ZCIT arrive près de l'équateur le phénomène s'accélère : les alizés faiblissent anormalement le long de la ligne équatoriale alors que les températures de surface de l'océan se maintiennent au-dessus de la normale ; parallèlement, la thermocline tend à s'approfondir dans la Pacifique du sud-est, pouvant atteindre, très près des côtes sud-américaines, une profondeur de — 100 m. Cet approfondissement correspond, d'après Wyrтки, à un retour vers l'est des eaux chaudes accumulées antérieurement par les alizés d'est anormalement forts. Cette théorie semble confirmée par le fait que lorsque faiblissent les alizés, le niveau de l'eau dans le Pacifique ouest s'abaisse d'une vingtaine de centimètres, alors que le niveau tend à monter dans la Pacifique est, la différence pouvant atteindre une quinzaine de centimètres près du continent sud-américain (fig. 2). Ce déplacement s'effectue dans la bande équatoriale sous la forme d'ondes de basse fréquence appelées ondes de Kelvin. Ces ondes se forment dans le Pacifique Ouest vers le mois de juin et mettront à peu près 4 mois pour traverser l'océan. Philander fait remarquer qu'à ce stade El Niño ne représente qu'une amplification d'un cycle saisonnier normal (Philander, *op. cit.*).

3.2. LA CROISSANCE DES ANOMALIES

Il est bien évident qu'il n'y a pas un passage brusque des signes précurseurs d'« El Niño » proprement dit. On observe une lente évolution des différents phénomènes qui vont en s'amplifiant.

Il est tout d'abord à noter, comme l'a observé Wyrтки, que les vents, dans une bande de 100 km le long de la côte péruvienne, ne faiblissent pas. Par contre, on note une forte décroissance plus à l'ouest.

Pour Philander, le trait dominant de cette seconde phase est la propagation vers l'ouest des conditions anormales observées tout d'abord le long des côtes de l'Équateur, puis du Pérou. Il serait ainsi possible de prévoir, plusieurs mois à l'avance, des perturbations sur les îles Christmas uniquement à partir de la température de l'eau de surface le long des côtes du Pérou. Dès le mois d'octobre précédant « El Niño », les conditions anormales couvrent l'ensemble du Pacifique tropical (fig. 9). À l'Est, la thermocline continue à s'enfoncer pour atteindre — 200 m, alors que les ondes de Kelvin, qui dès octobre ont atteint les côtes sud-américaines à hauteur du Golfe de Panama en provoquant une élévation du niveau de la mer, se séparent en deux trajectoires opposées de directions nord et sud.

« El Niño » atteint son apogée aux environs de décembre-janvier (fig. 9) : sur tout l'océan Pacifique intertropical, les alizés sont alors très faibles, des vents d'ouest pouvant même apparaître à l'ouest du méridien 180°, et les eaux de surface sont anormalement chaudes ; la ZCIT se trouve plus au sud que la normale, alors que la circulation méridienne s'intensifie augmentant ainsi l'instabilité atmosphérique.

On peut opposer cette intensification de circulation à la baisse d'activité au niveau de la circulation Walker dont la branche ascendante, par manque d'énergie, s'est déplacée de plusieurs milliers de kilomètres vers l'est.

Toutes ces anomalies favorisent les interactions océan-atmosphère à tel point que de fortes précipitations sont observées non seulement sur le Pacifique intertropical est, mais également sur le centre Pacifique.

L'on peut se demander si l'apparition d'anomalies positives de température de surface dans le Pacifique équatorial correspond à un affaiblissement des alizés ou si, au contraire, cet affaiblissement correspond à une réponse de l'atmosphère aux températures de surface anormalement élevées. Pour Philander, le point de départ du phénomène est l'apparition d'eaux « chaudes » le long des côtes péruviennes et équatoriennes. Cette anomalie provoquant

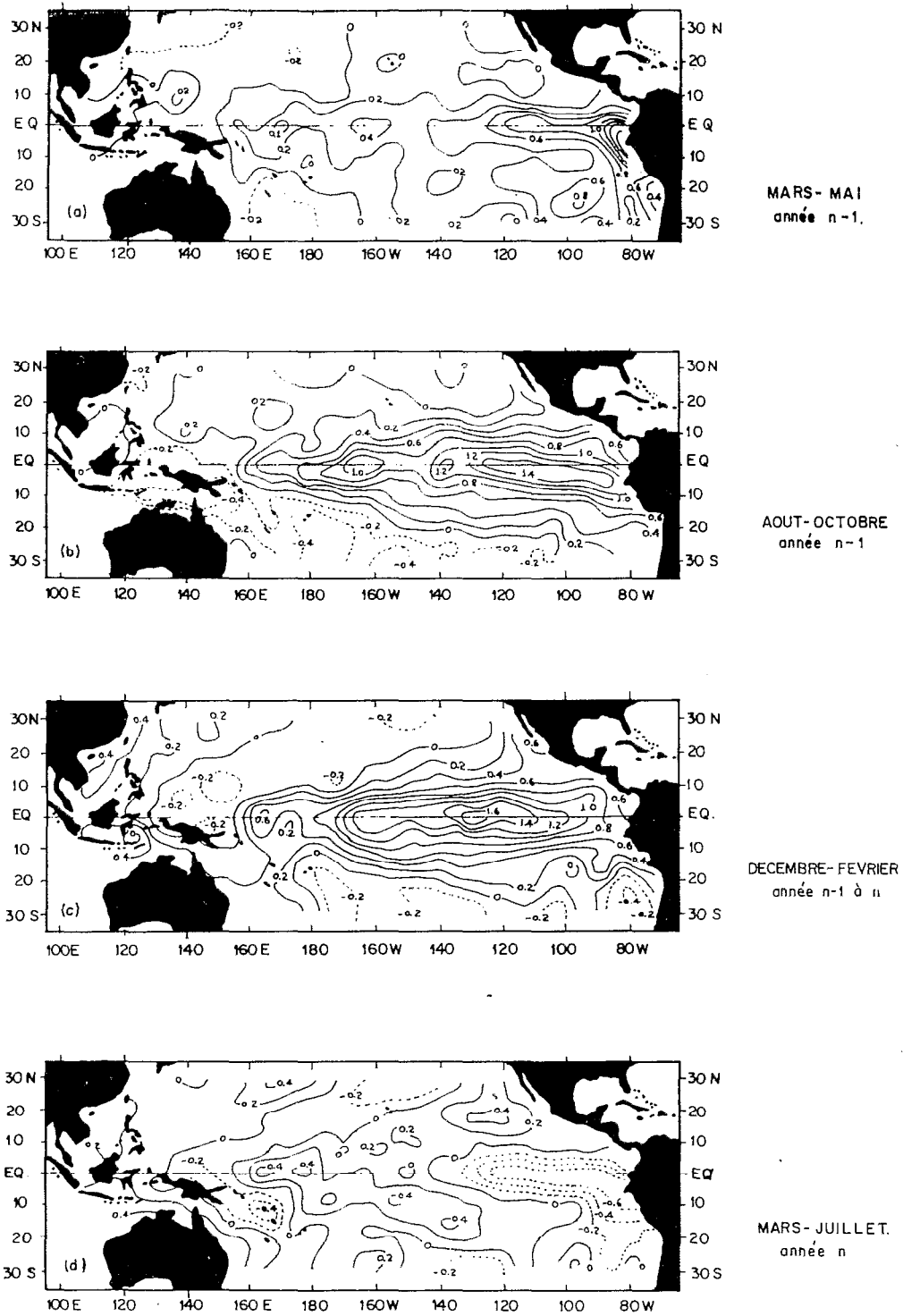


FIG. 9. — Anomalies des températures de surface de l'océan en °C durant un Niño type.
Le paroxysme du phénomène s'observe de janvier à mars de l'année n. D'après RASMUSSEN, E.M. et TH. CARPENTER

un réchauffement local de l'atmosphère, les alizés faiblissent sur la zone ainsi réchauffée, d'où une nouvelle croissance des températures. On assiste ainsi à un phénomène de boule de neige, les anomalies de l'océan et de l'atmosphère tendant par interactions à s'amplifier, ce qui explique le lent déplacement vers l'ouest des eaux réchauffées de surface (fig. 9).

3.3. LE RETOUR AUX CONDITIONS NORMALES

Généralement, la température de surface au large des côtes du Pérou et d'Équateur commence à baisser dès le mois de mars, gardant toutefois des anomalies positives. Il faut attendre le début de l'été boréal pour voir apparaître de nouveau des eaux relativement froides (fig. 9). Certains auteurs (Philander, Wyrski) signalent un second maximum dans la distribution des températures et du niveau de la mer le long des côtes sud-américaines durant le mois de janvier de l'année suivant l'arrivée d'« El Niño ». Ce phénomène essentiellement côtier, qui se répercute sur la distribution mensuelle des pluies dans la région côtière de l'Équateur, ne semble pas se produire après chaque « El Niño ».

A l'ouest des îles Galapagos (0° - 90° W) le retour aux conditions normales, qui s'effectue d'est en ouest, ne commence que près d'une année après l'arrivée d'« El Niño » dans le Pacifique Est : les températures de surface de l'océan diminuent alors que les alizés recommencent à souffler plus vigoureusement.

A l'ouest du méridien 180° , la branche ascendante de la circulation de Walker se déplace vers les îles indonésiennes en même temps qu'on observe un changement dans la direction des vents qui se mettent à souffler de nouveau vers l'ouest. On note alors dès janvier un approfondissement de la thermocline qui est l'indice que le volume d'eau chaude accumulée dans la Pacifique occidental augmente de nouveau.

4. INFLUENCE D'EL NIÑO SUR LE CLIMAT DE L'ÉQUATEUR

L'analyse des températures et des précipitations des stations météorologiques installées dans la zone côtière équatorienne montre le rôle fondamental joué à la fois par l'océan Pacifique et la zone de convergence intertropicale

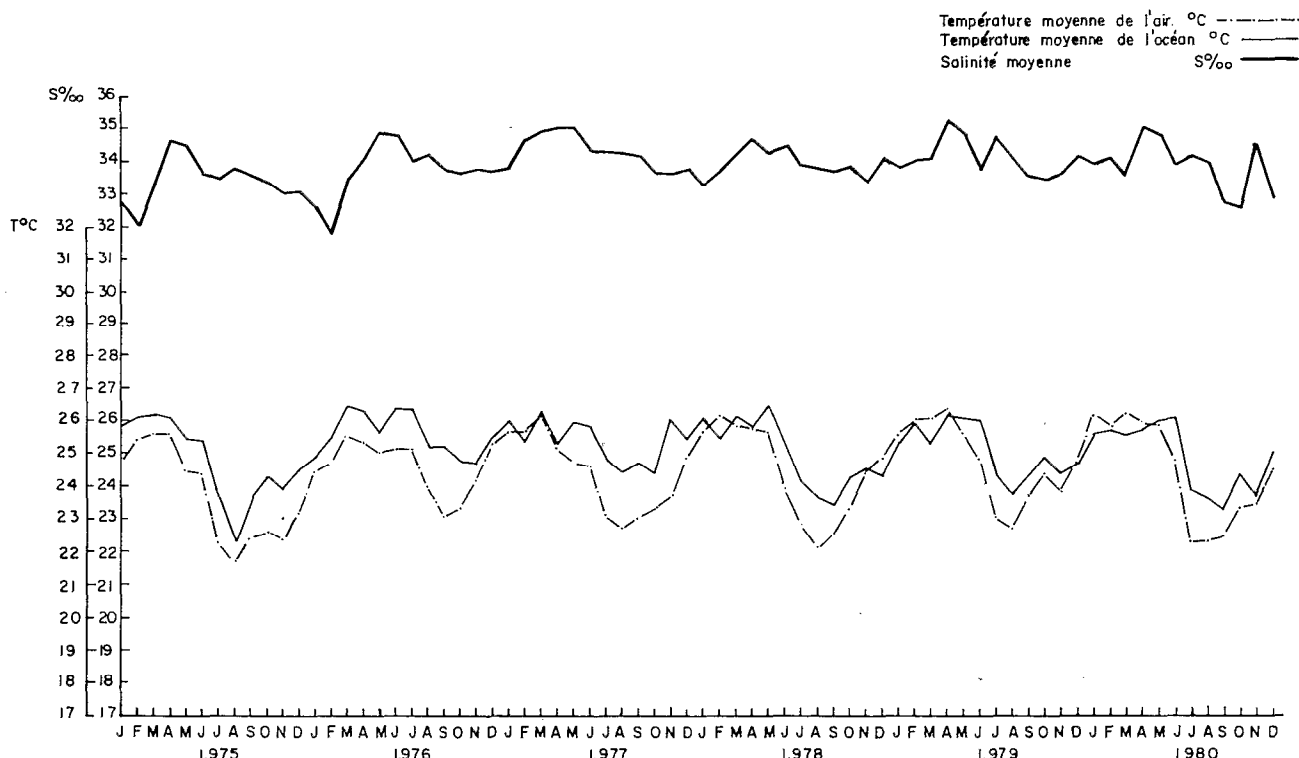


FIG. 10. — Variations mensuelles de la température moyenne de l'air, de la température et de la salinité superficielles de l'océan. D'après INOCAR

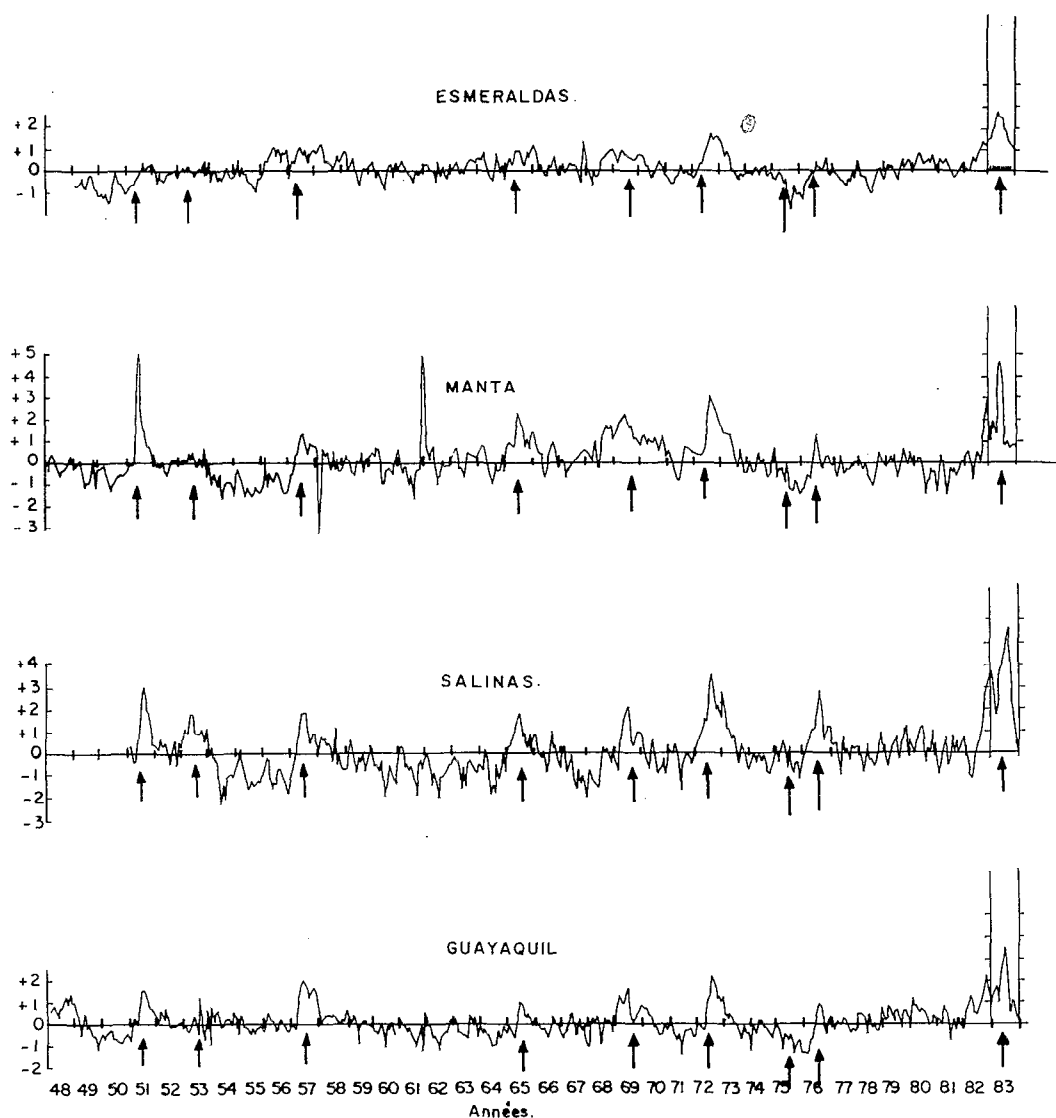


FIG. 11. – Anomalies mensuelles de la température moyenne de l'air. D'après H.R. MOREANO (Valeurs complétées)

dans la distribution des zones climatiques sur cette région de l'Équateur. « El Niño » induisant de fortes anomalies au niveau de ces deux facteurs conditionnants, il représente la cause principale des fortes irrégularités interannuelles qui caractérisent le climat de la frange côtière jusqu'au nord de la latitude 1° sud. Cette limite septentrionale marque la position extrême que puisse atteindre le courant froid de Humbolt le long du continent sud-américain (fig. 4). A la hauteur des îles Galapagos, il franchit la ligne équatoriale.

La température moyenne T_a de l'air est étroitement liée à la température superficielle T_{sm} de l'eau de mer. Plus de 80 % de la variance de T_a sont expliqués par T_{sm} , de plus les « El Niños » correspondent toujours à des maximums dans les courbes de distribution des températures de l'air en fonction du temps (fig. 10 et 11) (INOCAR, voir bibliographie).

Les vents sont étroitement liés à la position de la ZCIT. Durant la saison des pluies de janvier à avril ces vents sont faibles, sauf sur de courts instants au moment de l'arrivée des tornades. De juin à octobre, durant la saison estivale, les vents d'ouest ou de sud-ouest soufflent avec force sur toute la région côtière.

La distribution des précipitations annuelles en fonction du temps montre – comme celles des températures

moyennes – une excellente corrélation avec celle des « El Niños » (fig. 12). Pour caractériser l'irrégularité interannuelle des précipitations, nous avons utilisé le coefficient de forme γ de la loi de Pearson III (ce coefficient varie en sens contraire de la dissymétrie de la fonction de densité) ajustée aux échantillons des hauteurs pluviométriques annuelles. La distribution spatiale des γ montre parfaitement le rôle de l'influence « d'El Niño » (fig. 13). Interviennent à la fois la latitude (les précipitations dépendant de la position de la ZCIT et du FE) et la distance à l'océan (rôle de l'orographie et principalement de la chaîne andine). Les faibles valeurs de δ dans le sud du pays reflètent les grandes différences de pluviosité entre les années où s'observe « El Niño » et les années sans « El Niño ». Cette zonification pourrait être prolongée au Pérou où, par exemple à Lima, des précipitations vraiment significatives ne sont observées que durant des « El Niños » exceptionnels (Nouvelot, 1982).

En prenant la latitude 5° sud comme latitude de référence, nous avons calculé que plus des 2/3 de la variance de δ est expliquée par la latitude L et la distance D à la mer ; l'essentiel du tiers restant est probablement expliqué par la morphologie de la côte (péninsule de Santa Elena et rôle régulateur du golfe de Guayaquil).

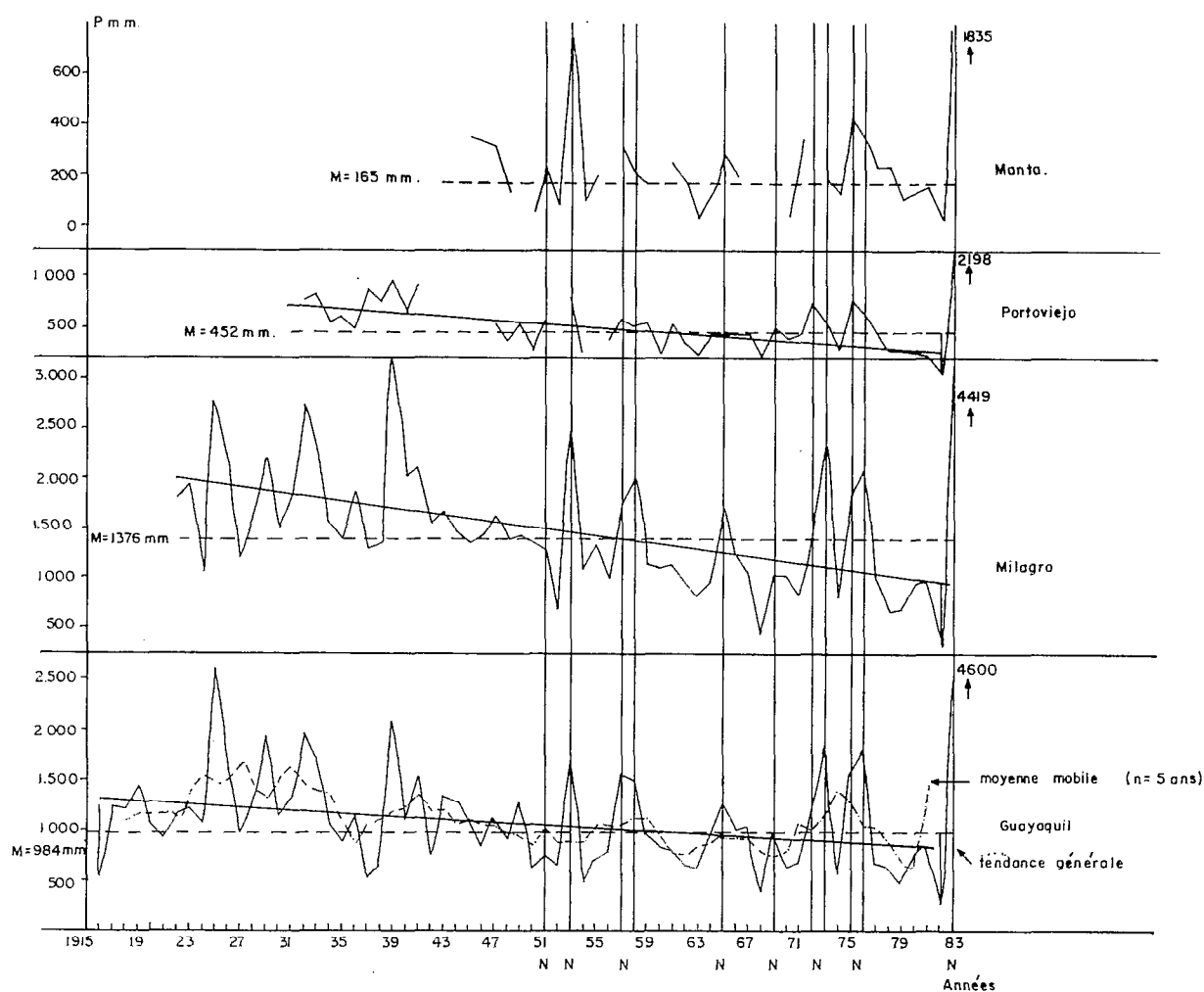


FIG. 12

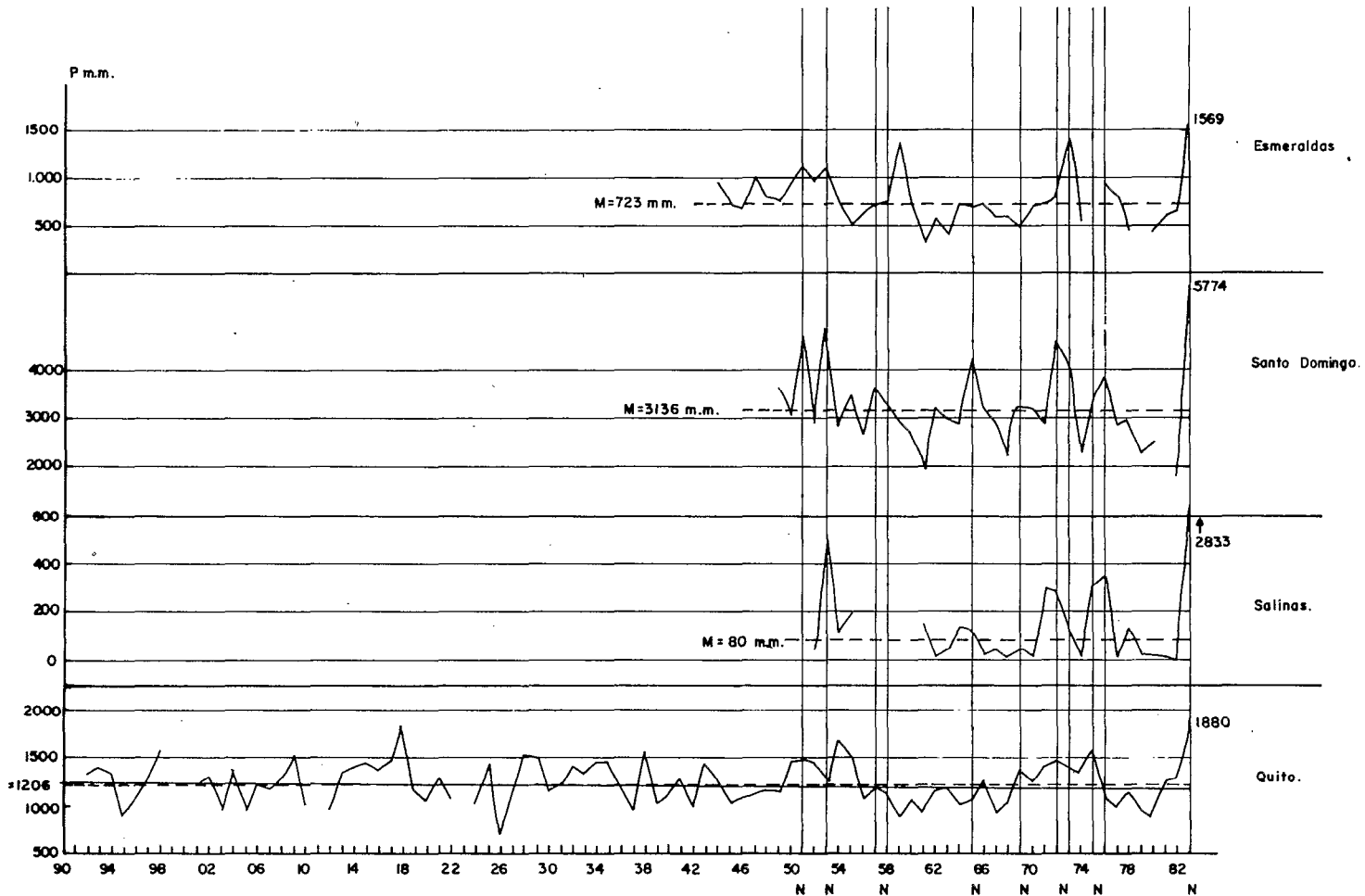


FIG. 12 bis

5. PEUT-ON PRÉVOIR « EL NIÑO » ?

Étant donné les corrélations étroites existant entre « El Niño » et les anomalies climatiques observées non seulement en Équateur ou sur la quasi-totalité de l'océan Pacifique, mais parfois même en dehors (on a pu montrer l'existence d'une corrélation entre l'Oscillation sud, donc « El Niño », et les températures moyennes de l'air en hiver relevées dans l'ouest du Canada), il serait d'un grand intérêt d'avoir la possibilité de prévoir dans des délais suffisants l'arrivée de ce phénomène.

La présence d'« El Niño » et les anomalies qui l'accompagnent induisent un réchauffement de la troposphère qui provoque dans l'atmosphère des perturbations sur une grande échelle. Il est donc évident que l'utilisation de satellites terrestres et de méthodes de modélisation devrait permettre de mieux analyser les différents phénomènes et peut-être d'en déduire les causes. Par exemple, le temps séparant deux « El Niños » ne correspond-il pas au temps nécessaire à l'océan Pacifique pour récupérer la chaleur cédée à l'atmosphère durant le phénomène ?

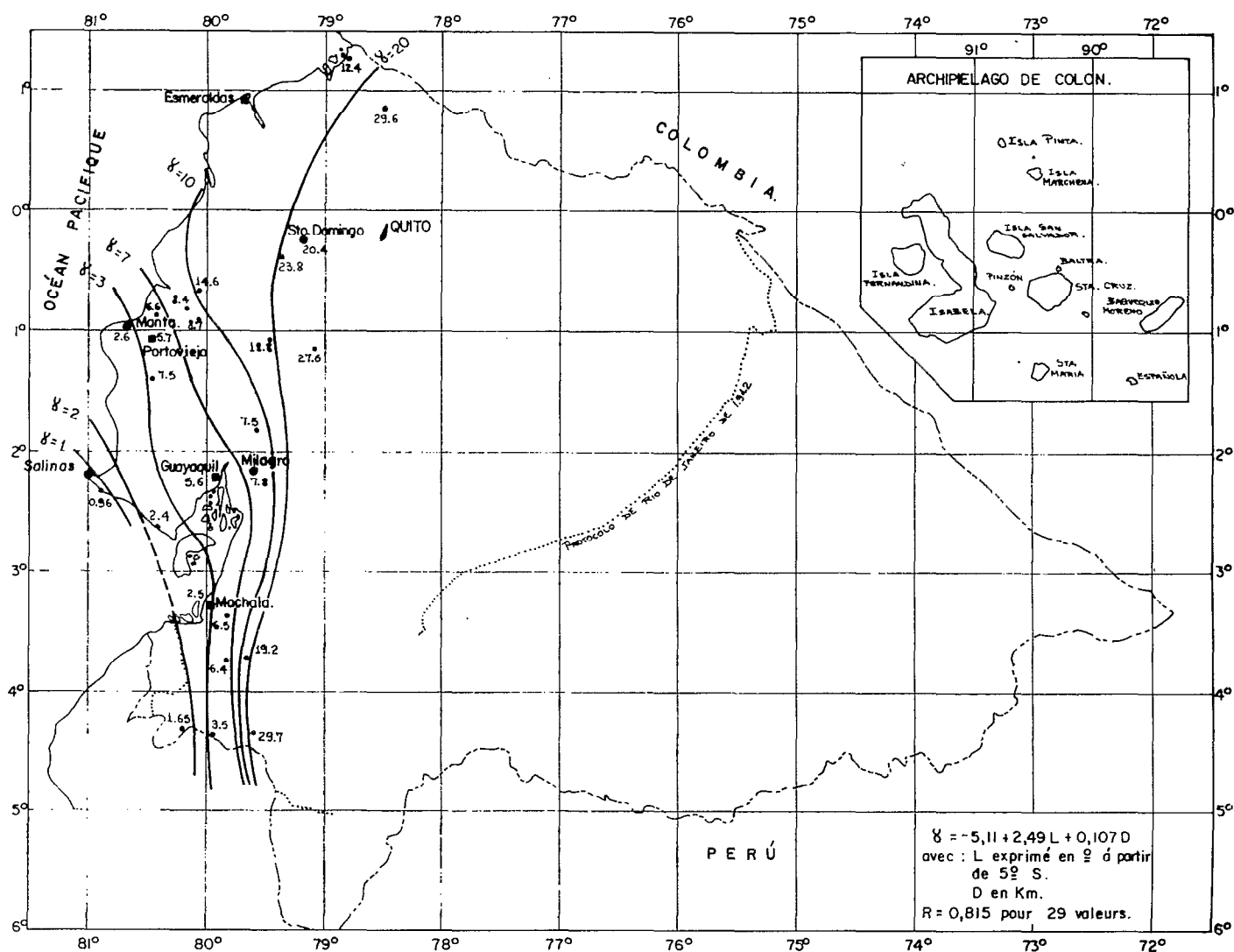


FIG. 13. - Variations spatiales de coefficient de forme γ de la loi de Pearson III appliquée aux hauteurs pluviométriques annuelles

De telles études sont actuellement en cours, mais en attendant de disposer des résultats qui demanderont probablement plusieurs années de travail, il n'est pas sans intérêt d'analyser les différentes conclusions auxquelles sont arrivés certains chercheurs et d'utiliser les observations quantitatives dont nous disposons.

Pour Philander, la plupart des signes précurseurs décrits au paragraphe 3 sont généralement des conditions nécessaires mais non suffisantes.

Pour Wyrtki, quatre conditions sont nécessaires pour la formation d'un « El Niño » : les alizés doivent souffler sur l'océan Pacifique pendant 18 mois consécutifs avec une force supérieure à la normale ; de fortes remontées d'eau froide doivent être observées dans la zone équatoriale ; une élévation anormale du niveau de la mer doit s'accompagner d'un approfondissement de la thermocline dans le Pacifique occidental. Nous pouvons toutefois observer que toutes ces conditions sont liées en réalité à la force et à la durée des alizés qui dépendent des écarts

de la pression atmosphérique enregistrés entre les zones anticycloniques tropicales et les zones dépressionnaires équatoriales. Dès 1974, Quinn montra que « El Niño » pourrait être prévu à partir des différences de pression atmosphérique entre l'île de Pâques et Darwin dans le nord de l'Australie, c'est-à-dire à partir de l'Oscillation Sud. Si cette différence dépasse pendant plus d'une année la valeur de 14 millibars, la prochaine dépression devrait être suivie d'un « El Niño ». Cette limite, bien précise, est connue sous l'appellation d'indice de Quinn.

En ce qui concerne plus particulièrement l'Équateur, H.R. Moreano (INOCAR, *op. cit.*), s'appuyant sur les travaux de Wyrтки, a montré qu'il existait une bonne corrélation entre la température superficielle de l'eau dans le golfe de Panama et dans le contre-courant équatorial nord et la température de l'air le long de la côte équatorienne. Il en déduit que la température de l'eau au large de Panama pourrait être un indice qui permette de prévoir les caractéristiques de la saison des pluies sur la zone côtière de l'Équateur. Partant de la constatation que la hauteur pluviométrique annuelle est la variable climatique qui présente la plus grande irrégularité et que les plus forts maximums observés correspondent à des « El Niños », nous avons étudié la distribution dans le temps de ces maximums mesurés à la station de Guayaquil, qui présente la plus longue série d'observations effectuées dans cette région. La première conclusion à laquelle nous sommes arrivés est que la distribution des différents « pics » correspond pratiquement à une distribution au hasard. Une étude des phénomènes de persistance nous a montré que seulement 2,5 % de la variance de la hauteur pluviométrique de l'année n était expliquée par la hauteur pluviométrique de l'année $n-1$. Aucun gain supplémentaire n'est obtenu en prenant l'année $n-2$. Par contre, nous avons pu observer qu'avant l'année exceptionnelle 1982-1983, il existait une tendance à la baisse de la pluviosité, pas seulement sur la zone littorale de l'Équateur mais également dans le couloir interandin (fig. 12). Cette tendance a été vérifiée sur plusieurs stations en utilisant à la fois la méthode de la moyenne mobile et la méthode de la tendance générale. Pour Guayaquil, il a été trouvé un coefficient de corrélation hauteur-temps de $-0,34$ à partir de 67 années d'observations. À Quito dans les Andes, donc en dehors de la plaine côtière, le coefficient de corrélation n'est que de $-0,27$ avec 87 années d'observations. Il serait tout de même ridicule de prédire, comme certains « spécialistes » n'ont pas hésité à le faire, que d'ici quelques décennies la Province de Manabí, où se trouvent les villes de Protoviejo et Manta, ne bénéficierait plus d'aucune goutte de pluie.

Afin de mieux appréhender la relation « El Niño » – pluviosité, nous avons étudié, non seulement l'année correspondant au phénomène exceptionnel, mais également l'année antérieure et l'année suivante. Nous sommes arrivés à la conclusion, très fragile et provisoire, puisque nous ne disposons que de huit « El Niños » bien définis, que ces phénomènes pourraient se diviser en deux groupes : certains « El Niños » ne concernent qu'une seule saison des pluies – certes plus ou moins longue – alors que d'autres montrent une recrudescence des fortes précipitations pour le moins au début de la saison des pluies de l'année suivante (cas des années 1957-1958, 1965-1966, 1969-1970, 1972-1973 et 1975-1976) (fig. 14). Cette division en deux groupes d'un échantillon total de huit observations rend difficile la recherche de relations avec les hauteurs pluviométriques de l'année antérieure. Philander et Wyrтки étaient arrivés à peu près à la même conclusion en étudiant les variations du niveau de la mer et les anomalies de températures dans le Pacifique est. Pour ces deux auteurs l'« El Niño » que nous pourrions qualifier de caractéristique doit présenter ces deux maximums. Afin d'essayer de quantifier le rôle des différents paramètres du complexe océan – atmosphère l'année précédant un « El Niño », nous avons corrélé la hauteur pluviométrique de l'année hydrologique $n-1$ (octobre à septembre), avec la hauteur pluviométrique correspondant à la période : octobre ($n-1$) à mars ($n+1$). Si l'on écarte les années 51 et 69, qui représentent des « El Niños » de forme peu orthodoxe, le total pluviométrique de l'année ($n-1$) expliquerait près de 60 % de la variance de la pluviométrie observée durant l'« El Niño » correspondant, le coefficient de corrélation étant évidemment négatif. Cette conclusion confirmerait parfaitement l'hypothèse de Wyrтки selon laquelle un « El Niño » doit être précédé de forts alizés soufflant sur la zone équatoriale du Pacifique durant plus d'un an. Ces alizés provoquant des remontées d'eau froide et un déplacement des eaux plus chaudes vers l'ouest, il s'ensuit une grande stabilité atmosphérique sur le Pacifique est, donc des hauteurs pluviométriques très déficitaires par rapport à la normale sur la côte équatorienne. Nous tenons toutefois à insister sur la fragilité de ces conclusions, la seule prise en compte de l'année 1969 faisant passer le coefficient de corrélation de $-0,77$ à $-0,30$. Ainsi, la pluviométrie de l'année précédant un « El Niño » est généralement sensiblement inférieure à la normale et l'on pourrait même ajouter, plus elle est faible plus l'« El Niño » sera fort ; (la hauteur pluviométrique de l'année 1982-1983 absolument exceptionnelle n'a-t-elle pas été précédée de l'année la plus déficitaire de la série d'observations faite en de nombreuses stations de la côte équatorienne ?). Toutefois, nous répétons que l'échantillon disponible ne permet pas d'arriver à des conclusions définitives. Quoi qu'il en soit, nous devons insister sur le fait que si, effectivement, « El Niño » est toujours précédé d'une année peu humide, il s'agit-là d'une condition nécessaire mais absolument pas suffisante, de nombreuses années déficitaires n'étant pas suivies d'« El Niño ».

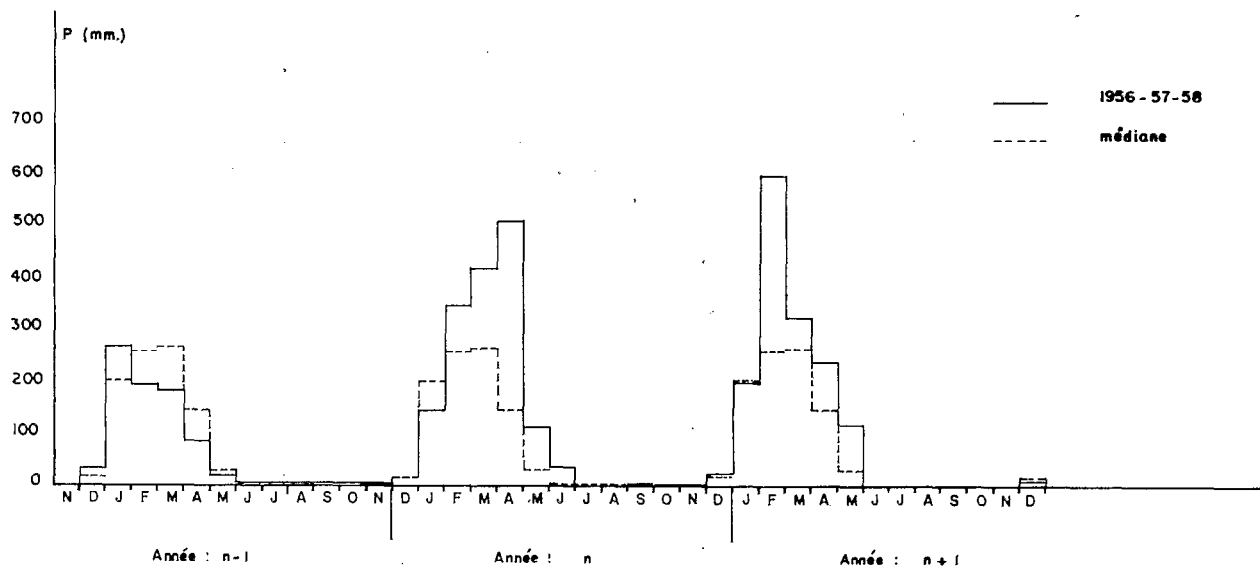


FIG. 14. - Variations des hauteurs pluviométriques mensuelles observées à la station de Guayaquil : Niño 57-58, hauteurs médianes

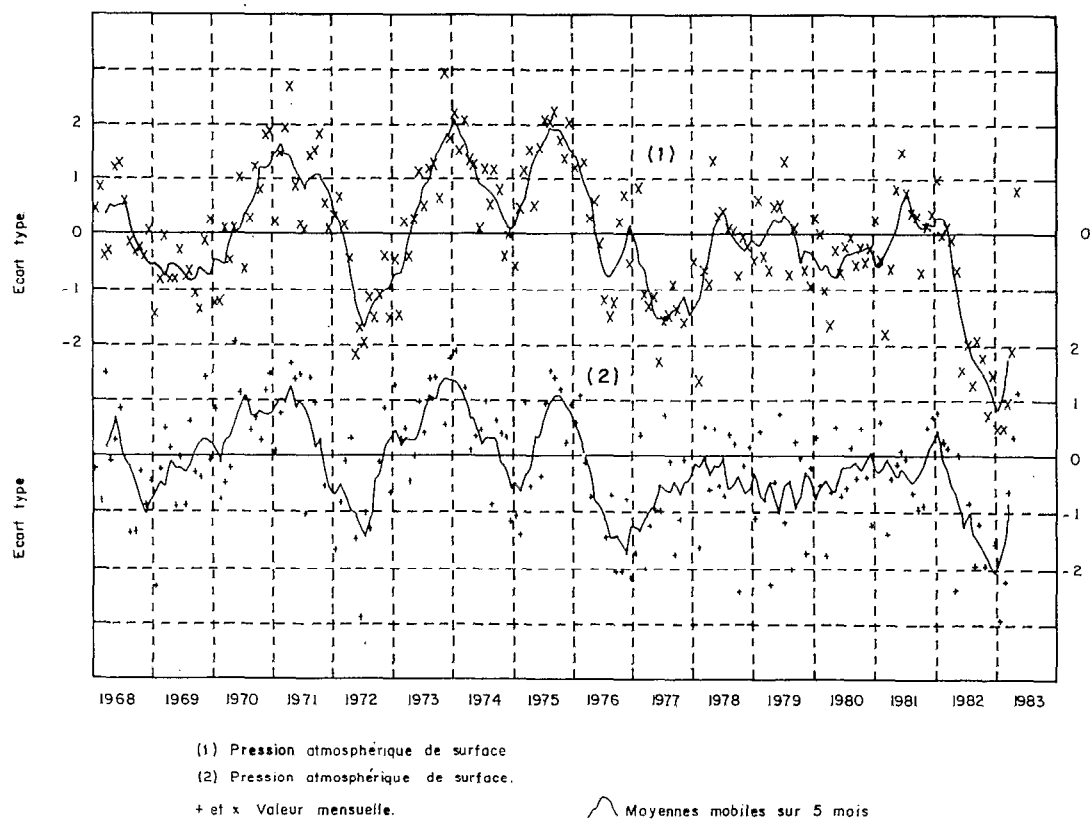


FIG. 15. - Indices de l'oscillation Sud. D'après Climate Analysis Center (U.S.A.)

6. « EL NIÑO » 1982-1983 – SON ORIGINALITÉ

De tout ce qui précède, il ressort que nous n'avons pas encore une connaissance exhaustive des mécanismes qui régissent le phénomène. Comme le dit K. Wyrtki, un examen comparatif des « El Niños » observés dans le passé montre qu'ils ont en commun certaines caractéristiques mais qu'ils ne se ressemblent jamais complètement entre eux, si bien que l'on ne doit pas, dans l'avenir, s'attendre à de réelles similitudes. Cette opinion est pleinement confirmée par « El Niño » 1982-1983 puisque K. Wyrtki lui-même, dans sa note « El Niño outlook for 1983 », pronostiquait que ce phénomène n'aurait pas lieu en 1983 et probablement pas en 1984, étant donné que les variations de niveau de la mer et le comportement de la thermocline ne présentaient pas de changements significatifs.

Suivant un rapport de l'INOCAR (Moreano *et al.*, voir bibliogr.), « El Niño » 1982-1983 a répondu à un modèle de formation différent de celui observé pour les phénomènes antérieurs et survint de façon inattendue à partir d'octobre 1983 sur les côtes équatoriennes, bien qu'une analyse postérieure permette de détecter quelques signes précurseurs :

- tendance anticipée de la ZCIT à se déplacer vers le sud, puisqu'elle se place sur l'équateur dès janvier 1983, position qu'elle va d'ailleurs maintenir plusieurs mois ;
- en octobre 1982, F. Miller (Southern Fisheries Center – La Jolla, California) suggérait la possibilité d'un « El Niño » en se basant sur l'observation de températures superficielles océaniques anormales ;
- en novembre 1982, une croisière de l'INOCAR sur le Bae « Orion » mettait en évidence un approfondissement de la thermocline (profondeur de 50 m pour l'isotherme 25° C et 220 m pour celle de 15° C) et une anomalie positive des températures superficielles atteignant jusqu'à 4° C dans le golfe de Guayaquil. En janvier, l'isotherme 25° C dépassait 70 m et on mesurait des températures superficielles de 29,5° C.

Par ailleurs, la revue *La Recherche* n° 150 de décembre 1983 (Desbois, 1983), fait part des indicateurs suivants :

- Le réchauffement maritime dans la zone équatoriale a commencé à une longitude inhabituelle (180°) à l'Est de l'Australie, dès janvier 1982, et s'est manifesté sur la côte sud-américaine vers septembre-octobre, alors qu'il débute ordinairement dans ces régions en janvier-février.
- L'anomalie de différence de pression Darwin-Tahiti a commencé à se manifester au début 1982, pour atteindre un maximum de 6 mb au début 1983, valeur jamais enregistrée auparavant.

La situation atmosphérique normale s'est donc vue notablement perturbée. C'est ainsi que le déplacement vers l'est de la branche ascendante de la circulation de Walker et l'augmentation des pressions sont responsables du déficit pluviométrique observé en Indonésie en juin, juillet et août 1982, et de l'intense sécheresse qui a affecté l'Australie à la même période. En revanche, la baisse de pression enregistrée sur le Pacifique central et oriental est à l'origine d'une augmentation appréciable de la pluviométrie dans cette région.

Associé à l'oscillation australe, le régime général des vents a été également perturbé par les anomalies dues à l'établissement d'un système équatorial de vents d'ouest à basse altitude, favorisant ainsi la propagation de l'onde Kelvin, dont l'origine se situe apparemment en juin 1982, selon l'étude de Wyrtki sur les variations du niveau de l'océan. En Équateur, les données enregistrées par les marégraphes de Puerto Ayora (îles de Santa-Cruz, Galapagos) et de La Libertad (péninsule de Santa Elena) montrent que les niveaux ont très peu varié de janvier à août 1982, mais qu'au début d'octobre, ils ont marqué une hausse brutale supérieure à 17 cm dans les deux cas, valeur qui va fluctuer au cours des huit mois suivants tout en restant toujours de l'ordre de 10 à 20 cm, les niveaux extrêmes étant atteints le 5 janvier et le 6 mars : 47 cm et 5 cm à la station de La Libertad. Parallèlement, on observe une très forte anomalie positive des températures superficielles de l'océan puisqu'elles varient entre 27,5 et 30° C en janvier 1983, tandis que l'isotherme 15° C descend progressivement jusqu'à atteindre des profondeurs de l'ordre de 220 m.

Les anomalies de températures de surface de l'eau continuent à croître jusqu'en décembre sur l'ensemble du Pacifique équatorial, mais surtout à l'est du 150° de longitude ouest. Elles amorcent une décroissance en janvier 1983 pour atteindre un minimum en février dans le Pacifique oriental. Ensuite, une forte croissance est enregistrée. Dans le pacifique occidental et central, ces variations sont très atténuées et les cycles plus longs (fig. 16). On peut constater (fig. 16 et fig. 17) que la baisse des anomalies de température de l'eau de surface en janvier et février s'accompagne d'une baisse du niveau de la mer sur les côtes équatoriennes ; nous verrons également (fig. 18) qu'il s'ensuivit à la même époque une baisse, certes toute relative, des précipitations.

Un signe important est que dès février le gradient de variation de l'indice de l'Oscillation Sud s'inverse, montrant ainsi des anomalies négatives moins importantes. En mai, ces anomalies deviennent très nettement positives avec peut-être un retour progressif aux conditions normales (fig. 15).

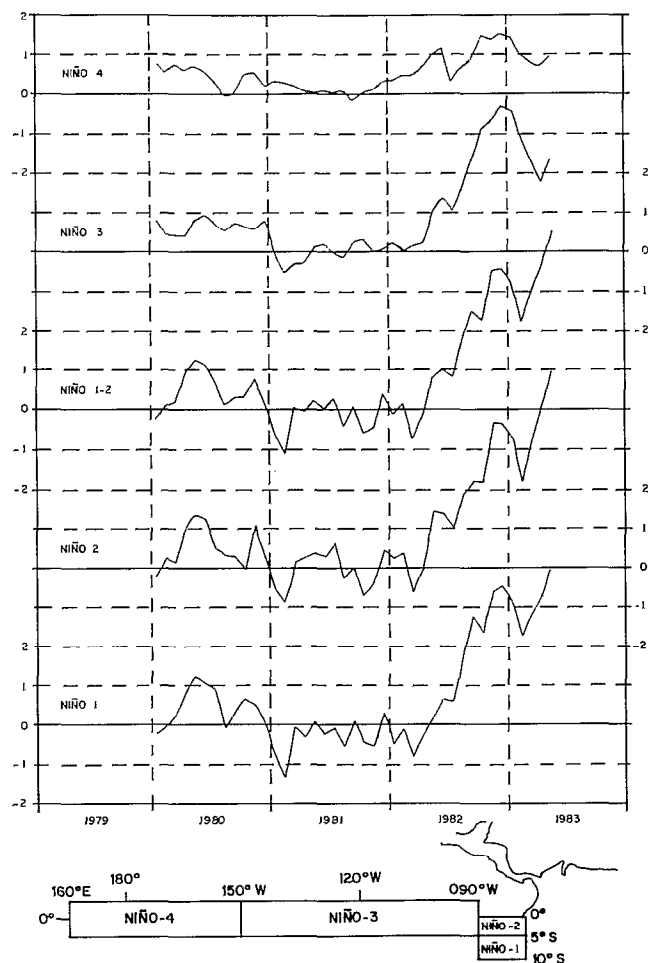


FIG. 16. – Anomalies des températures de surface de l'océan Pacifique équatorial. D'après Climate Analysis Center (NMC, NWS, NOAA)

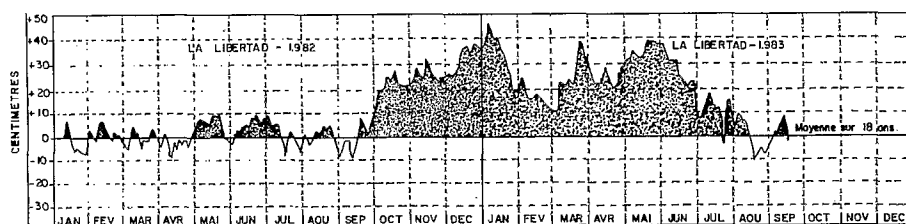


FIG. 17. – Variations du niveau de la mer observées à la Libertad. D'après INOCAR

Dès le début du mois de mars, le niveau de la mer recommence à s'élever sur la côte équatorienne, dépassant de nouveau en mai la valeur de + 30 cm au-dessus de la normale. Il faudra attendre le mois de juin pour voir s'amorcer une diminution des anomalies positives. Ce n'est qu'en août que s'observera un retour à la normale (fig. 17). Ce deuxième maximum pourrait être dû à l'arrivée d'une seconde onde de Kelvin ou plus simplement aux très fortes précipitations observées sur le littoral accompagnées d'un affaiblissement des alizés sur le Pacifique oriental (INOCAR, 1983). Durant la même période, les températures superficielles de la mer restent comprises, dans la zone intertropicale, entre 27° et 30° et ceci sur de très grandes étendues, à tel point qu'une bonne partie de l'océan Pacifique présente des isothermes de plusieurs milliers de kilomètres orientées est-ouest et très peu dissymétriques par rapport à la ligne équatoriale. La présence de cette énorme masse d'eau chaude ajoutée à une position anormalement méridionale de la zone de convergence intertropicale qui se trouve à hauteur et parfois même au sud de l'équateur, depuis le continent sud-américain jusqu'au méridien 120° ouest, provoque une forte instabilité et une grande activité convective de la basse atmosphère, ce qui explique les hautes températures de l'air et les fortes précipitations enregistrées sur tout le Pacifique oriental (phénomènes confirmés par les images satellite). C'est en juillet qu'apparaissent les premiers signes probants d'un affaiblissement du « El Niño » : les températures de l'eau superficielle baissent de 1 à 2° le long des côtes équatoriennes et de 2 à 3° à proximité des îles Galapagos. Ces changements correspondraient à un regain d'activité des courants de Humboldt et équatorial-sud, qui tendraient à repousser les eaux chaudes vers l'ouest. En août, les pluies cessent presque complètement et la température de l'eau continue à baisser sensiblement avec une forte remontée de la thermocline et la réapparition d'« upwellings » à proximité du golfe de Guayaquil, ce qui immédiatement provoque une forte augmentation du phytoplancton et du zooplancton qui avaient subi de grandes modifications les mois antérieurs. Avec l'arrivée d'eaux froides (baisses de 5 à 7°) et la remontée vers le nord de la ZCIT (donc un renforcement des alizés du sud-est), l'atmosphère acquiert sur l'océan Pacifique oriental une plus grande stabilité, en résumé un temps de saison.

7. LES CONSÉQUENCES EN ÉQUATEUR SUR LE PLAN PLUVIOMÉTRIQUE

L'arrivée, dès le deuxième semestre 1982, d'eaux chaudes à hauteur des côtes équatoriennes entraîna dès le mois d'octobre de la même année, de fortes anomalies climatiques sur la région côtière. Bien que tous les paramètres météorologiques aient été perturbés, l'étude de la température de l'air et des précipitations est amplement suffisante pour montrer l'ampleur du phénomène. Certes, toutes les zones furent concernées, mais les plus fortes anomalies s'observèrent bien évidemment dans les régions à fortes irrégularités interannuelles où les conditions climatiques durant les années avec « El Niño » sont complètement différentes de celles enregistrées les années sans « El Niño ». Il s'agit des zones les plus méridionales et les plus occidentales au niveau desquelles le front équatorial océanique (FE) est en perpétuel mouvement, non seulement d'une année à l'autre mais également au cours d'un cycle annuel (fig. 4), et sur lesquelles l'influence de la ZCIT est très variable.

« El Niño » 1982-1983 se caractérisant par une durée exceptionnellement longue, d'octobre 1982 à août 1983, les anomalies les plus fortes s'observent les derniers mois du phénomène, principalement en juin et juillet (fig. 11). Par exemple, en juillet 1983 à Salinas, l'écart à la normale de la température moyenne de l'air est de 5,6° C ; il est respectivement de 3,5° et 3,4° à Manta et à Guayaquil. La station d'Esmeraldas, située plus au nord, n'enregistre très logiquement qu'une différence de 2,4° C. Dans tous les cas, ce sont les plus forts écarts jamais enregistrés, seul l'« El Niño » de 1972 a provoqué un phénomène comparable. On note, au début de l'année, une baisse sensible des écarts à la moyenne, laquelle n'est que la conséquence de la baisse des températures enregistrées sur l'ensemble du Pacifique équatorial (fig. 16) ; ce qui situe l'ampleur de l'événement.

Les plus forts dommages ont été provoqués par les précipitations : excès d'eau au niveau de certaines cultures, mais surtout écoulements superficiels absolument exceptionnels. L'étude statistique des hauteurs pluviométriques correspondant à la durée d'« El Niño » 1982-1983 a été facilitée par le fait que ce phénomène couvre à peu près une année hydrologique, qui sur la côte de l'Équateur s'étend du 1^{er} octobre de l'année « n » au 30 septembre de l'année « n+1 ».

7.1. STATIONS PLUVIOMÉTRIQUES UTILISÉES

Au moment de la rédaction de cette note, la plupart des données pluviométriques 1982-1983 du réseau national (5) ne sont pas disponibles. L'information présentée n'est donc pas officielle et résulte d'une part du dépouillement de certains carnets de terrain originaux que l'INAMHI a courtoisement mis à notre disposition,

d'autre part, des registres des aéroports de la D.A.C. (6) dont les stations « doublent » celles du réseau national (situation géographique très proche), les éventuelles différences ne pouvant en aucun cas être significatives. Par ailleurs, nous avons également pris en compte les données obtenues sur deux bassins versants représentatifs (Ríos Banchal et Tinto) qui fonctionnent depuis 1982.

Le tableau I résume les principales caractéristiques de 8 stations de référence de relative longue durée, et de 6 stations complémentaires nécessaires au tracé des isohyètes de la période 1982-1983 considérée.

TABLEAU I
Caractéristiques des stations pluviométriques

Type	Stations	Latitude	Longitude	Altitude en m	Nombre d'années utilisables
De relative longue durée	ESMERALDAS- TACHINA	00°58'06" N	79°39'30" W	7	37
	Sto DOMINGO	00°14'44" S	79°12'00" W	600	33
	MANTA	00°56'58" S	80°41'05" W	12	32
	PORTOVIEJO	01°02'02" S	80°27'32" W	50	44
	MILAGRO	02°07'00" S	79°36'00" W	30	60
	GUAYAQUIL	02°09'29" S	79°53'08" W	7	67
	SALINAS	02°11'54" S	80°59'33" W	7	27
	MACHALA	03°19' S	79°56' W	6	30
Utilisées pour Oct. 82- Sept. 83	LA CONCORDIA	00°01'39" S	79°22'10" W	360	
	BAHIA	00°35'39" S	80°24'16" W	5	
	PICHILINGUE	01°06'33" S	79°27'25" W	120	
	BVR BANCHAL	01°38'01" S	80°29'36" W	280	
	BVR TINTO	02°23'09" S	80°26'10" W	90	
	TAURA	02°20' S	29°49' W	17	

(f) - Réseau de l'Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) d'où sont tirées les données pluviométriques des années antérieures.

(g) - D.A.C. : Dirección de Aviación Civil

7.2. CARACTÉRISTIQUES PLUVIOMÉTRIQUES HABITUELLES - PÉRIODE 1964-1978

Pour présenter les pluviométries interannuelles, on a choisi la période de 15 années comprise entre 1964 et 1978, d'une part parce qu'elle peut être considérée comme représentative si on la compare avec les moyennes obtenues sur des séries plus longues et d'autre part parce qu'avant 1964 le réseau pluviométrique était beaucoup moins dense.

7.2.1. Pluviométries mensuelles et annuelles

La pluviométrie moyenne annuelle 1964-1978 est représentée à la fig. 18. Les isohyètes ont été tracées à l'aide d'environ 80 stations situées à l'ouest du méridien 79° W, les lacunes de l'information de certains postes pluviométriques ayant été comblées, chaque fois que cela était possible, grâce aux corrélations établies avec les stations voisines.

Les pluies annuelles, qui dans la zone considérée varient entre 125 et 4 000 mm environ, augmentent progressivement d'ouest en est avec quelques anomalies dues aux reliefs locaux, en particulier une petite cordillère littorale dont les sommets ne dépassent pas 800 m. Elles sont produites par des masses d'air océanique chaud et humide qui se déchargent au fur et à mesure qu'elles pénètrent sur le continent, les plus fortes précipitations étant enregistrées sur les flancs de la Cordillère Occidentale des Andes où elles subissent une expansion adiabatique. Les plus faibles pluviométries sont observées sur la frange côtière au sud du parallèle 0° 50' S, zone influencée par la branche nord du courant océanique froid de Humboldt ; les masses d'air maritime qui envahissent cette région sont beaucoup plus froides, n'arrivent pas à se condenser et se manifestent seulement sous forme de crachins localement appelés « garúa ».

(5) Réseau de l'Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) d'où sont tirées les données pluviométriques des années antérieures.

(6) D.A.C. : Dirección de Aviación Civil.

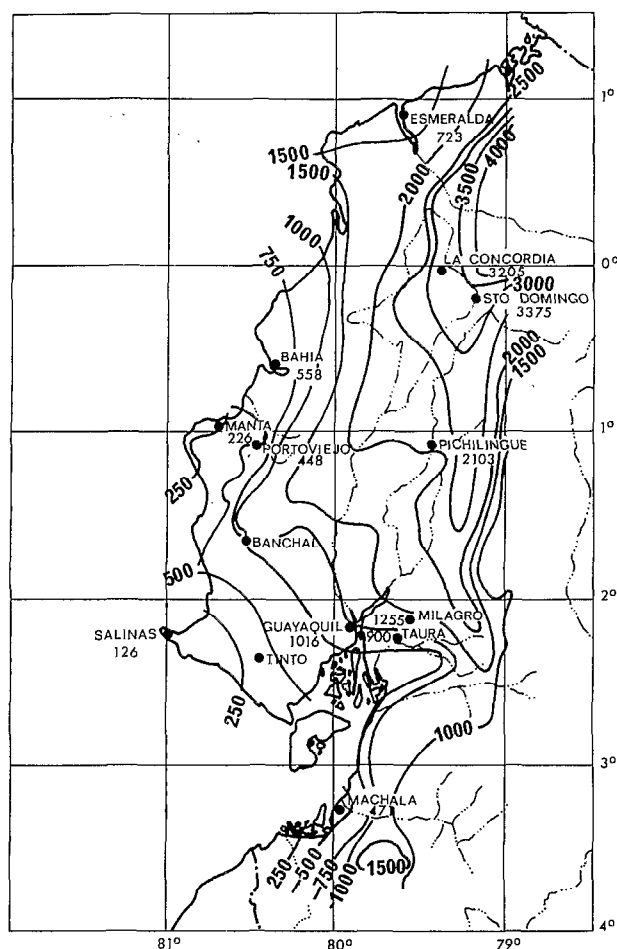


FIG. 18. - Isohyètes. 1964-1978

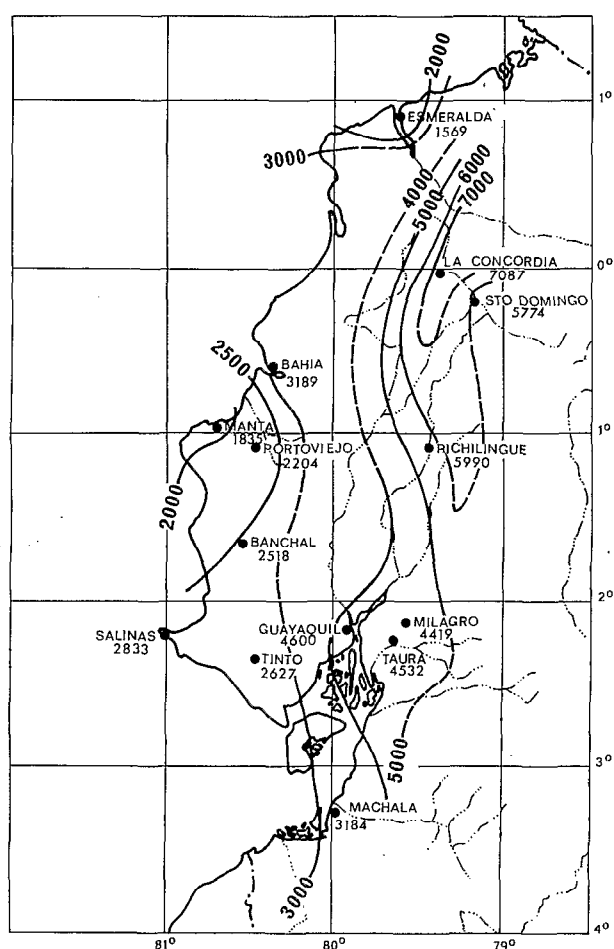


FIG. 19. - Isohyètes. oct. 1982 - sept. 1983

Le régime des précipitations est de type tropical avec une saison des pluies unique répartie de décembre à avril, le reste de l'année étant beaucoup plus sec, surtout sur la plaine littorale où les pluviométries de juin à septembre sont presque négligeables.

Le tableau II présente la distribution mensuelle ainsi que les totaux pluviométriques annuels relevés aux principales stations de référence.

TABLEAU II. - Pluviométries mensuelles et annuelles - Période 1964-1978

Stations	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Année
Guayaquil	3,7	0,9	24,0	252,3	219,1	305,6	128,7	57,3	21,3	0,2	0,4	2,2	1015,7
Salinas	0,7	0,3	0,3	19,7	28,3	58,2	15,9	0,7	0,7	0,3	0,2	0,2	125,5
Portoviejo	9,3	1,6	9,2	94,8	113,3	119,7	57,6	23,2	16,7	4,7	1,5	3,4	448,0
Santo Domingo	87,7	84,3	217,5	481,4	528,3	575,2	612,6	321,4	248,2	68,2	67,3	83,0	3374,8
Manta	0,3	0,7	1,7	39,5	55,3	84,7	34,3	3,1	2,9	0,1	0,9	2,3	225,8
Milagro	2,7	1,7	42,5	266,4	271,7	386,4	197,9	64,6	16,7	0,4	0,8	2,7	1254,5
Machala	18,7	18,9	14,1	75,3	105,8	105,2	59,6	21,8	16,2	11,7	12,9	10,8	471,0
Esmeraldas	13,7	11,0	27,5	136,2	144,2	125,8	78,0	64,1	55,2	26,4	17,7	23,5	723,3
La Concordia	61,7	44,4	167,9	457,6	486,3	645,3	587,3	328,4	209,9	86,9	55,4	73,9	3205,0
Bahia	5,9	3,3	14,6	75,4	167,2	148,3	88,1	27,4	16,9	5,2	2,4	3,2	557,6
Pichilingue	15,6	16,6	146,4	400,0	420,6	472,0	384,3	146,7	70,7	6,4	10,9	12,9	2103,1
Taura	3,2	0,5	16,3	21,3	220,3	211,9	152,9	65,9	11,5	1,2	0,3	1,9	899,8

7.2.2. Pluviométries journalières

La médiocre qualité des données ainsi que le manque d'un outil informatique adapté n'ont pas encore permis la réalisation d'une statistique complète des pluies journalières. Cependant, grâce à l'analyse, sur 65 stations réparties sur l'ensemble de l'Équateur, des hauteurs pluviométriques maximales journalières à raison d'une valeur par année d'observation, et de leurs relations avec les pluviométries annuelles (Nouvelot, 1982), il a été possible de distinguer six zones homogènes ayant des caractéristiques pluviométriques semblables.

TABLEAU III
Hauteurs pluviométriques journalières

Zone Homogène	Stations	N années	$\bar{H}$ mm	s mm	cv	Période de retour		
						2 ans	10 ans	100 ans
Très sèche	SALINAS	17	34,6	32,6	0,94	25	70	---
Sèche	MANTA	17	42,0	26,0	0,62	36	74	---
	MACHALA	6	43,5	34,6	0,80	34	84	---
Occidentale de transition	PORTOVIEJO	20	55,4	25,3	0,46	50	88	139
	GUAYAQUIL	38	90,7	40,3	0,44	83	143	220
Humide occidentale	ESMERALDAS	30	70,2	30,3	0,43	65	110	165
	SANTO DOMINGO	30	116,8	36,2	0,31	111	164	230
	MILAGRO	27	93,2	25,3	0,27	90	127	170

N : nombre d'années utilisées

$\bar{H}$: moyenne des pluies journalières utilisées

s : écart-type

cv : coefficient de variation

Le tableau III résume les valeurs caractéristiques calculées pour les hauteurs de pluie journalières aux 8 stations de longue durée prises pour référence. L'estimation des valeurs médianes décennales et centenaires (seulement calculées quand l'échantillon était suffisamment représentatif) permettra de situer la fréquence des pluies journalières observées en 1982-1983.

7.3. PLUVIOMÉTRIES CONSÉCUTIVES à « EL NIÑO » – OCTOBRE 82 à SEPTEMBRE 83

Comme il a déjà été signalé, l'influence d'« El Niño » sur les pluviométries s'étale sur 12 mois. Le phénomène d'« El Niño » tel qu'il a été défini par le Comité Scientifique pour la Recherche Océanique (SCOR) a une probabilité d'apparition d'environ 1/4,5, toute référence à une quelconque périodicité ou cyclicité étant écartée. Par contre, l'impact du phénomène sur les différents facteurs atmosphériques et océaniques peut varier spatialement, d'une manière sensible, non seulement sur l'ensemble de l'océan Pacifique ou même de la planète, mais également sur des surfaces beaucoup plus réduites au niveau d'un pays comme l'Équateur.

Nous avons pu montrer que plus de 80 % de la variance des hauteurs pluviométriques annuelles enregistrées en 82-83 sur l'ensemble de la zone côtière équatorienne étaient expliqués par la hauteur pluviométrique médiane, la latitude et la distance à la mer $P_{83} = 2,15 P_{med} - 600 L - 9,4 D + 3\,800$ en prenant comme latitude de référence 5° sud et en exprimant L en degrés et dixièmes de degré et D en km).

Disposant des observations pluviométriques correspondant à un tel phénomène, il est tentant d'essayer de lui affecter une période de retour. Malgré tout, la tâche n'est pas aussi aisée qu'il peut paraître, car pour les stations situées en zone aride les valeurs observées dépassent très largement ce qu'il était possible d'imaginer. Deux attitudes sont alors envisageables : ou considérer que les hauteurs enregistrées ne peuvent que biaiser l'échantillon et, par conséquent, ne pas en tenir compte pour le calcul des paramètres des lois statistiques ajustées, ou au contraire considérer qu'il s'agit d'une information supplémentaire à ne pas négliger. Toutefois, sortant du seul domaine de

la statistique, il est important d'observer que la présence d'« El Niño » induit, au niveau de la genèse des pluies, des phénomènes qui ne s'observent que durant cet épisode.

Nous sommes donc tentés d'admettre que la population des hauteurs pluviométriques mensuelles n'est pas homogène. Avant même l'observation de ces pluviométries exceptionnelles, nous avons remarqué que des stations comme Salinas présentaient vraisemblablement des distributions des hauteurs pluviométriques annuelles bimodales.

Pour montrer l'imprécision que revêt l'estimation statistique dans certaines régions de l'Équateur, nous donnons ci-après le nombre d'années d'observations nécessaires pour obtenir la hauteur pluviométrique annuelle de période de retour 100 ans, avec une erreur de 10 % dans un intervalle de confiance à 90 %.

STATIONS	ESMERAL- DAS	PORTO- VIEJO	SALI- NAS	GUAYA- QUIL	MILA- GRO	MACHA- LA	STO DOMINGO	PTO BA- QUERIZO	QUITO
Nombre	90	150	650	160	120	380	50	300	30
années									

Ceci montre l'imprécision que pourra revêtir l'estimation de la période de retour des valeurs mesurées en 82-83, sachant que cette période sera très supérieure à un siècle, et que les échantillons disponibles se composent seulement de 20 à 90 événements suivant les stations, les stations les mieux pourvues ne se situant malheureusement pas dans les zones où s'observe la plus forte irrégularité interannuelle.

7.2.3. Pluies mensuelles et annuelles 1982-83

On trouvera, au tableau IV, les valeurs mensuelles et annuelles enregistrées au cours de cette année, ainsi que les périodes de retour correspondantes calculées en fonction de toute la série des données disponibles. Plusieurs lois de distribution ont été essayées et, en règle générale, celles qui s'ajustent le mieux sont celles de Galton pour les pluies annuelles et Pearson III pour les pluies mensuelles. Compte tenu des considérations qui précèdent, il a été décidé d'exclure les valeurs 82-83 à l'échelle du traitement mois par mois ; par contre, à l'échelle annuelle où la distortion est moindre, on trouvera les valeurs des périodes de retour calculées avec et sans la pluviométrie 1982-1983. Enfin, on a pensé plus judicieux de ne pas faire preuve d'une trop grande exactitude dans la présentation de ces valeurs ; écrire que la pluviométrie du mois de mai à Salinas a une période de retour de 682 ans nous a

TABLEAU IV
Pluviométries mensuelles et annuelles consécutives à El Niño 1982-1983

Stations		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Année
Guayaquil	P	5,7	148,6	286,8	601,7	539,5	833,2	604,3	638,8	612,2	292,5	19,7	17,4	4600,4
	T	1	6	5	3	2	4	3	6	6	8	6	4	9 (7)
Salinas	P	11,8	1,4	6,0	402,2	198,2	304,8	606,8	734,4	501,2	66,2	0	0	2833,0
	T	3	2	2	5	4	3	5	7	7	5	1	1	9 (5)
Portoviejo	P	32,5	97,0	117,5	271,3	140,8	269,5	255,5	377,4	338,9	229,8	23,4	47,6	2203,9
	T	5	5	5	3	1	1	1	6	6	6	5	5	9 (6)
Sto Domingo	P	507,7	697,8	782,9	658,1	302,7	511,1	519,1	382,0	453,3	543,5	100,6	315,5	5774,3
	T	7	6	6	1	1	1	1	1	2	4	1	3	6 (4)
Manta	P	11,8	23,3	38,9	265,8	119,3	152,8	338,4	436,2	151,7	267,8	9,1	20,0	1835,1
	T	5	5	4	5	1	1	5	7	6	7	4	4	9 (5)
Milagro	P	49,0	225,8	361,0	517,8	402,3	654,4	766,4	421,6	475,8	456,4	1,5	86,8	4418,8
	T	5	9	5	1	1	2	4	5	9	8	2	6	7 (6)
Machala	P	16,0	71,1	244,9	513,5	356,2	450,3	611,9	359,6	316,7	198,9	28,9	16,3	3184,3
	T	1	2	5	5	2	2	5	4	5	5	1	1	8 (5)
Esmeraldas	P	15,9	127,2	99,2	216,7	389,3	162,3	99,3	96,0	149,7	112,4	48,5	52,9	1569,4
	T	1	6	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	5 (4)
La Concordia	P	542,4	594,5	521,8	966,7	779,4	892,5	521,6	164,2	771,6	546,7	313,2	472,5	7087,1
Bahía	P	35,8	119,6	37,6	344,8	236,6	323,6	308,9	594,8	571,1	467,5	19,9	128,7	3188,9
Pichinlingue	P	131,8	408,6	891,3	850,3	599,0	704,7	492,6	612,5	511,9	547,5	96,7	143,3	5990,2
BVR. Banchal	P	18,3	77,3	274,8	329,5	291,1	325,8	445,3	313,7	196,4	210,9	16,1	18,8	2518,0
BVR Tinto	P	6,7	31,4	60,0	486,9	275,2	385,2	440,9	377,6	451,6	100,4	10,2	0,8	2626,9
Taura	P	8,3	266,4	366,9	821,7	371,3	718,4	555,3	642,4	294,2	437,7	0	48,9	4531,5

P = pluviométrie, en mm.

T = période de retour, en années - 9 = classe 9, valeur exclue de l'échantillon

- (7) = classe 7, valeur incluse dans l'échantillon

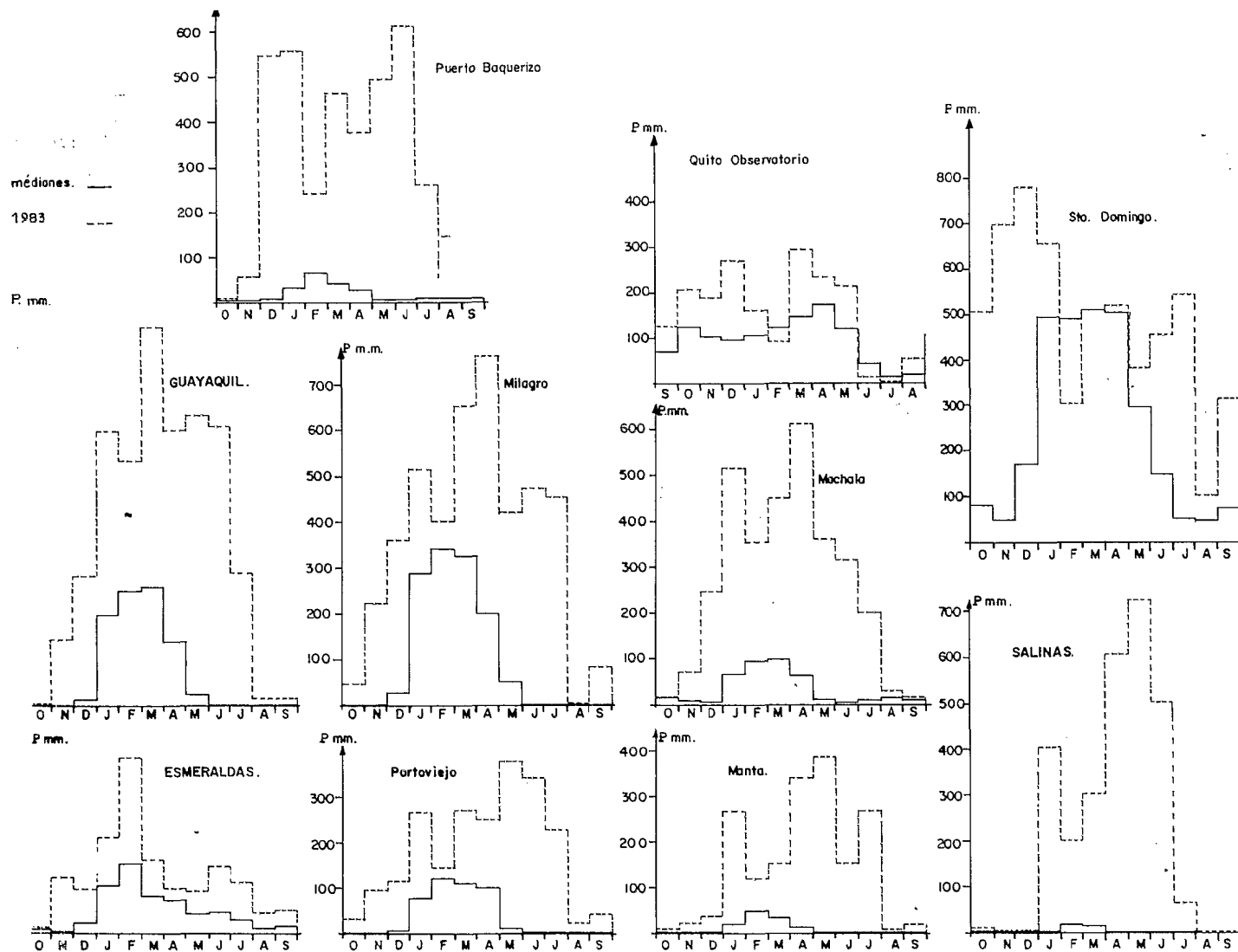


FIG. 20. - Distribution mensuelle des précipitations

paru d'une précision excessive, sans réelle signification. Pour cette raison, le tableau IV ne fait qu'indiquer un ordre de grandeur des périodes de retour, celles-ci ayant été regroupées en neuf classes :

- classe 1 : inférieure à 10 ans	- classe 6 : de 250 à 500 ans
- classe 2 : de 10 à 30 ans	- classe 7 : de 500 à 1 000 ans
- classe 3 : de 30 à 50 ans	- classe 8 : de 1 000 à 5 000 ans
- classe 4 : de 50 à 100 ans	- classe 9 : supérieure à 5 000 ans
- classe 5 : de 100 à 250 ans	

On s'aperçoit qu'en regard de l'échantillon dont on disposait avant l'événement d'« El Niño » 82-83, les pluviométries dont il est responsable sont de fréquence très rare puisque les périodes de retour, sur la frange littorale non abritée, sont toutes supérieures à 5 000 ans pour l'ensemble de la période. L'impact d'« El Niño » s'atténue quelque peu avec la continentalité, mais les fréquences restent peu communes.

La figure 19 présente les isohyètes observées, le tracé de certaines d'entre elles étant un peu incertain (pointillés) étant donné la faible densité des stations de référence. Par ailleurs, la figure 20 offre la comparaison entre la distribution normale des pluies mensuelles et celle enregistrée en 1982-1983 à quelques stations, et en particulier à celles de Salinas, Manta, Portoviejo et Guayaquil, situées dans la zone où l'influence d'« El Niño » a été prépondérante.

7.2.4. Pluies journalières 1982-1983

Pour les raisons exposées précédemment, il n'a pas été possible de procéder à une étude exhaustive des pluies journalières. Cependant, le tableau VI donne certaines indications en ce qui concerne les précipitations en 24 heures de la période considérée :

- le phénomène d'« El Niño » a surtout affecté la bordure littorale sèche entre Manta et Machala. On y observe un nombre exceptionnel d'averses supérieures à la décennale et dans chaque cas au moins une pluie est d'ordre centenaire ;

TABLEAU V
Nombre de jours de pluie observés en 1982-1983

Stations	QUITO	ESMERALDAS	PORTOVIEJO	MANTA	SALINAS	GUAYAQUIL	MILAGRO	MACHALA
Nombre médian	186	115	88	42	25	84	112	67
1982-83	219	186	220	158	119	216	226	221

- l'influence d'« El Niño » diminue lorsqu'on aborde les régions plus humides et plus éloignées de la côte. Elle est encore sensible sur la face externe de la Cordillère des Andes et même dans le couloir interandin [10], mais devient presque négligeable dans les zones abritées du littoral septentrional telle la région d'Esmeraldas.

Des pluies exceptionnelles de courte durée n'ont été observées que très ponctuellement et très sporadiquement : à Salinas, il est tombé en quelques heures près de 223 mm ce qui représenterait une période de retour d'environ deux siècles, alors qu'à Guayaquil il a été enregistré 33,9 mm en 10 minutes, soit une intensité de 203 mm/h qui correspond à une fréquence voisine de 0,005.

8. APERÇU SUR L'ÉCOULEMENT

Ces nombreuses pluies ont provoqué une forte saturation du sol, ce qui explique les forts écoulements enregistrés dans de nombreuses régions. Plus de 8 000 km² ont été complètement ou partiellement inondés dans le bassin inférieur du Guayas ou dans les plaines côtières du sud du pays (Acosta *et al* ; 1983). Sur le bassin représentatif du Tinto de 69 km², situé dans la zone aride de la péninsule de Santa Elena, à 80 km de la station balnéaire de Salinas, il a été enregistré plus de 60 crues vraiment significatives dont la plus forte a atteint une hauteur de près de 4 m, soit un débit de pointe de 2 000 l/s.km² et un coefficient de ruissellement voisin de 50 %.

Il est à souligner que dans les conditions normales, sans « El Niño », ce bassin d'ailleurs inhabité ne donne naissance à aucun écoulement. Bien évidemment, de nombreuses cultures se trouvèrent affectées (riz, banane, canne à sucre, pâturages, maïs, café, cacao), de même que le réseau routier et certains centres urbains (Guayaquil, Babahoyo dans la zone côtière ou même Quito dans les Andes). Aux dommages provoqués par le ruissellement sont venus s'ajouter ceux provoqués par des glissements de terrain. Des pans entiers de collines ou de montagnes se sont ainsi

TABLEAU VI
Pluies journalières – Octobre 1982 à septembre 1983

Stations	Nombre d'événements supérieurs à la			Principales pluies observées	
	pluie med.	pluie dec.	pluie cent.	Hauteur mm	D a t e
SALINAS	33	8	(2)	222,6	14 Mai 83
				157,0	06 Avril
				122,5	26 Avril
				110,0	17 Mai
				109,8	05 Janvier
MACHALA	27	4	(1)	164,6	18 Avril 83
				141,8	04 Février
				93,7	15 Janvier
				93,6	14 Avril
MANTA	14	1	(1)	181,2	05 Juillet
				69,4	03 Mai
				60,8	25 Avril
GUAYAQUIL	12	2	0	143,9	24 Mars
				143,3	20 Avril
				126,0	28 Février
				114,7	30 Mai
MILAGRO	6	1	0	130,5	06 Mars
				117,1	08 Juin
				105,8	24 Mars
STO DOMINGO	3	1	0	165,7	23 Juin
				160,4	03 Février
				120,5	12 Janvier
ESMERALDAS	2	0	0	97,5	12 Février
				83,6	24 Mars

déplacés entraînant, sur certaines routes ou dans certaines villes (Quito par exemple), la perte de dizaines de vies humaines, véhicules ou habitations. Toutes ces calamités eurent également des répercussions sur la santé des populations tant urbaines que rurales. C'est ainsi que des épidémies de grippe, de typhoïde, de dysenterie, de rougeole furent à déplorer.

Si ce phénomène a coûté très cher à l'Équateur, l'on peut malgré tout souligner certains points positifs. Tout d'abord, on note une bonne recharge des aquifères qui après plusieurs années de sécheresse avaient sensiblement baissé. Le ressuyage des sols sursaturés demandant un temps relativement long, l'on a vu apparaître des cultures (essentiellement du maïs) dans des zones normalement arides, sans aucune végétation. Certaines retenues, construites imprudemment dans des régions très déficitaires en eau et asséchées depuis plusieurs années, ont dangereusement débordé, assurant pour plusieurs années un approvisionnement normal en eau tant pour l'agriculture que pour les besoins humains ou même l'industrie. Enfin, les planificateurs et les responsables d'aménagements d'infrastructure ont pu apprécier le danger qu'il y a de réaliser de grands projets sans études sérieuses préalables. Ainsi, de nombreuses routes ont été coupées, tout simplement parce que certains talwegs avaient été complètement remblayés, sans prévoir d'exutoire. Il est vrai que ces cours d'eau, dont le régime est étroitement lié à celui d'« El Niño », n'avaient pratiquement pas coulé depuis 1976, année du dernier « El Niño ».

9. CONCLUSION

Il est évident que l'« El Niño » 82-83 présente des caractères absolument exceptionnels de par leur amplitude, mais également originaux de par leur développement anormal. Par exemple, le gradient positif de température superficielle de l'Océan est resté orienté ouest-est, alors que pour les « El Niños » précédents, il gardait généralement

une orientation inverse. L'on n'avait jamais enregistré une aussi forte pluviométrie en Equateur, au Pérou ou aux Iles Marquises, de même que l'Oscillation australe n'avait jamais présenté une telle anomalie négative. Malgré toutes ces manifestations, qu'on pourrait qualifier d'extravagantes, les anomalies qui servent d'indicateurs ont tellement été amplifiées que l'analyse devrait en être facilitée.

Il semble indéniable que de tels écarts à la normale soient une conséquence des sérieuses modifications de la circulation atmosphérique générale observées non seulement au niveau de la cellule Pacifique de la circulation zonale de Walker dont on a vu la branche ascendante se déplacer vers l'est jusqu'au 140° ouest, mais également au niveau de la circulation méridienne, principalement à hauteur des anticyclones tropicaux. S'il est certain que la zone de convergence intertropicale s'est déplacée anormalement vers le sud sur l'océan Pacifique oriental, il serait peut-être prématuré de voir dans ces déplacements et variations des zones dépressionnaires et anticycloniques l'explication d'anomalies observées également en Amérique du Nord, en Europe et même en Asie. Peut-être ne s'agit-il pas seulement de changements au niveau de la seule cellule du Pacifique, certes la plus importante, mais d'un changement plus ample au niveau de la planète. Les hypothèses sont évidemment nombreuses : rôle des taches solaires, augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère qui s'accompagne d'un réchauffement de la surface terrestre, importance des explosions volcaniques, comme celle du volcan Sainte Hélène aux U.S.A. ou du Chichon au Mexique, qui au contraire provoquent une baisse de la température. Si l'on considère que la source primaire de l'énergie reçue par la surface du globe et par l'atmosphère est le rayonnement solaire, et que les mouvements observés tant au niveau des océans que de l'atmosphère sont la conséquence de l'inégale répartition de cette énergie, les recherches doivent être poursuivies en prenant en compte tous les paramètres qui précisément ont une influence sur ce rayonnement. L'utilisation de modèles de simulation et l'interprétation des images provenant de satellites artificiels, couplées à de puissants moyens informatiques, devraient permettre de mieux appréhender les mécanismes qui engendrent les phénomènes naturels océaniques ou atmosphériques pour, dans une phase ultime, essayer de les prévoir dans des délais qui permettent éventuellement de prendre des mesures appropriées pour en combattre ou au moins en atténuer, si nécessaire, les effets négatifs.

DÉFINITION DES MOTS-CLÉS

Oscillation Sud (O.S.) : Fluctuation à grande échelle du climat, définie par G. Walker de la manière suivante : « quand la pression (atmosphérique) est haute sur l'Océan Pacifique, elle tend à être basse sur l'Océan Indien, depuis l'Afrique jusqu'à l'Australie ».

Zone de convergence intertropicale (ZCIT) : Zone dépressionnaire de rencontre des alizés du Nord-Est et du Sud-Est issus des centres de hautes pressions présents aux latitudes tropicales.

Front intertropical (FIT) : Séparation des circulations tropicales des deux hémisphères, située près de l'équateur thermique. Sur les continents cette limite frontale présente généralement peu ou pas d'activité, sauf dans le Sud de la ZCIT.

Front équatorial (FE) : Zone de transition entre les eaux tropicales superficielles chaudes et les eaux froides du courant côtier péruvien. Orienté généralement Sud-Est, Nord-Ouest il s'étend du Sud de l'Équateur jusqu'aux Îles Galapagos.

Thermocline : Zone de discontinuité dans la répartition verticale des températures d'un océan (fig. 3).

BIBLIOGRAPHIE

- ACOSTA (J.), WINCKELL (A.), 1983. - Apuntes sobre la cartografía de las inundaciones en la Cuenca del Guayas (invierno de 1982-1983). Documentos de Investigaciones n° 4, 1983, CEDIG., Quito, Ecuador.
- Climate Analysis Center NMC-NWS, 1983. - The 1982-1983 Pacific Warm Episode Intense El Niño conditions persist in Eastern Equatorial Pacific. In *Special Climate Diagnostic Bulletin*, NOAA-Washington.
- DESBOIS (M.), 1983. - Les responsables de ce désordre climatique : El Chichon et El Niño. In *La Recherche* n° 150.
- INOCAR. - Acta oceanográfico del Pacífico. Guayaquil, Ecuador.
- INOCAR, 1983. - *Boletín de Prensa* n° 17. Guayaquil, Ecuador.
- MOREANO (H.), ZAMBRANO (E.), CORDERO (C.), CERVANTES (E.), VASCONCELLOS (O.) y PAREDES (N.). - El Niño 1982-1983, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas. Instituto Oceanográfico de la Armada-Guayaquil, Ecuador.
- NOUVELOT (J.F.), 1982. - Normas pluviométricas propuestas para El Ecuador. Ed. PRONAREG/ORSTOM, Quito Ecuador.
- PHILANDER (S.G.H.). - « El Niño » southern oscillation phenomena. NOAA/Geophys. fluid dynam. labo. - Princeton University.
- POURRUT (P.), 1983. - Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos. Publication IPGH-ORSTOM, n° 4.
- WYRTKI (K.). - « El Niño », in *La Recherche* n° 106.