

Les crises climatiques

Jacques Merle
Hubert Gillet

El Niño

« El Niño » (le petit enfant, en espagnol) est un courant chaud qui, au moment de Noël, coule en direction du sud, le long des côtes équatorienne et péruvienne de l'océan Pacifique. Il apporte des débris divers, bois, fruits considérés comme des cadeaux par les populations locales, d'où son nom qui, par extension, désigne aussi l'enfant Jésus. Mais, depuis des siècles, les pêcheurs équatoriens et péruviens ont également observé, certaines années, une extension et une durée anormale de ce flux d'eaux chaudes, qui est alors associé à une disparition presque complète des poissons et des oiseaux, qui succombent en grand nombre, faute de nourriture ; El Niño devient alors synonyme de désastre. Cet événement océanique exceptionnel est accompagné de dérèglements climatologiques locaux : pluies torrentielles sur les régions côtières de l'Équateur et du Pérou, d'ordinaire très sèches. L'amplification anormale et désastreuse d'El Niño a bientôt monopolisé l'attention des populations, et l'expression « El Niño » n'a plus désigné que cette anomalie qui affecte, certaines années exceptionnelles, l'océan, la vie marine et le climat. Les conséquences économiques et humaines de cet événement ont été particulièrement dramatiques ces dernières années. En 1972, un El Niño de grande ampleur dévasta la pêcherie d'anchois du Pérou qui constituait la principale source de devises de ce pays. Les prises passèrent brutalement, en deux années, de plus de 12 millions de tonnes à moins de 2 millions de tonnes. L'économie du Pérou s'en trouva désorganisée et, depuis lors, les prises d'anchois n'ont jamais retrouvé leur volume antérieur. En 1982-1983, un El Niño d'une envergure jamais observée jusqu'alors a eu des conséquences climatologiques particulièrement violentes qui ont retenu l'attention non seulement des chercheurs, mais également de la grande presse et des médias.

Le monde scientifique des océanographes et des météorologues s'intéresse depuis longtemps à ce phénomène dévastateur pour tenter d'en comprendre les causes et d'en prévenir les conséquences. Dans les années 1970, on a pensé que l'apparition d'El Niño et la présence d'eaux anormalement chaudes au large du Pérou et de l'Équateur certaines années étaient la manifestation locale d'un ensemble d'interactions entre l'océan et l'atmosphère qui affectent la ceinture intertropicale tout entière, incluant l'océan Pacifique, l'océan Indien et peut-être également l'océan Atlantique. Il est apparu aussi que ce dérèglement météo-océanique avait un retentissement sur le climat de l'ensemble de la planète.

Les interactions océan-atmosphère et le climat

Depuis le XIX^e siècle, les géographes attribuent aux courants marins, et notamment au Gulf Stream, une influence déterminante sur le climat de certaines régions. Mais il a fallu attendre

les années 1970 pour que des estimations quantitatives du rôle de l'océan sur le climat soient proposées. A. H. Oort et T. H. Vonder Haar, météorologues américains, auteurs d'un travail retentissant, montrèrent que l'océan transportait globalement autant de chaleur que l'atmosphère depuis les basses latitudes de la planète, où cette chaleur est reçue du Soleil en excès, jusqu'aux moyennes et hautes latitudes où, au contraire, elle est restituée à l'espace. L'importance de l'océan et de ses interactions avec l'atmosphère dans la variabilité du climat était dès lors montrée. La justification du rôle de l'océan dans la dynamique de l'atmosphère et du climat tient à trois faits géophysiques élémentaires :

- La capacité calorifique de l'ensemble des océans est environ mille deux cents fois celle de l'atmosphère ; l'océan est ainsi le réservoir thermique de la planète.
- Le « plancher » de l'atmosphère est en contact avec l'océan sur plus de 72 p. 100 de sa surface.
- Les courants océaniques redistribuent géographiquement l'énergie thermique des océans à des vitesses beaucoup plus lentes que ne le fait l'atmosphère. Une perturbation océanique peut avoir une durée de vie théorique de plusieurs dizaines d'années, et même de plusieurs siècles. Une perturbation atmosphérique, au contraire, a une durée de vie beaucoup plus courte, de l'ordre de deux à trois semaines. Autrement dit, l'océan a une longue mémoire des perturbations qui l'affectent ; l'atmosphère, au contraire, a la mémoire courte. Pour effectuer une prévision météorologique courante (qui ne peut s'étendre au-delà d'une limite théorique d'environ deux semaines), on considère l'océan comme un plancher inerte dont il suffit de connaître grossièrement la température de surface moyenne. Pour effectuer une prévision climatique, au contraire, il faudra prendre en compte l'état thermique des océans et, si possible, prévoir leur évolution.

Ces données mettent en évidence les trois fonctions de l'océan dans ses relations avec l'atmosphère et le climat. L'océan stocke, échange avec l'atmosphère et transporte de l'énergie en grande quantité. Les deux milieux fluides océan et atmosphère constituent ainsi un système couplé autovariant à l'interface desquels cette énergie transite sous plusieurs formes : chaleur, eau, mouvement. Les régions tropicales sont les plus importantes pour l'évolution de ce système interactif, car la proximité de l'équateur accélère les mouvements océaniques et de grandes quantités d'énergie peuvent être transportées en quelques mois d'un bord à l'autre de l'océan. D'autre part, les changements de température de surface de l'océan dans ces régions intertropicales ont des effets déterminants sur la circulation générale de l'atmosphère, car l'évaporation, donc l'alimentation en vapeur d'eau, de l'atmosphère dépend étroitement des changements de température de ces eaux chaudes. Les océans tropicaux, et principalement l'océan Pacifique, sont ainsi une



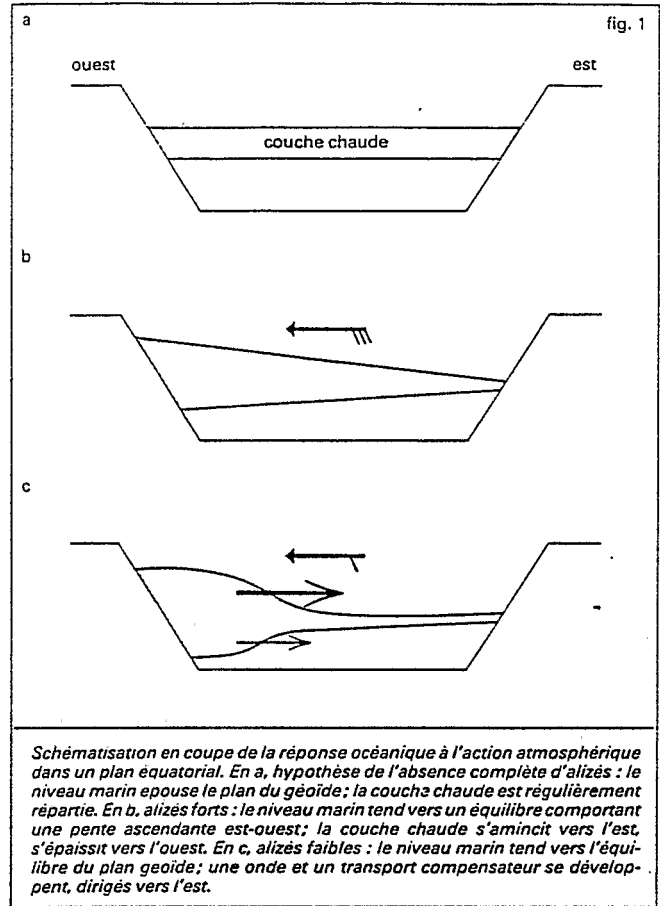
chaudière naturelle qui alimente en eau et en énergie l'atmosphère, mais qui peut subir des à-coups. El Niño et l'oscillation Australe qui lui est associée sont l'expression de ce fonctionnement irrégulier de la machine thermique planétaire.

El Niño et l'oscillation Australe

Le météorologue allemand J. Bjerknes fut le premier à associer le réchauffement océanique près des côtes du Pérou à une vaste oscillation du système océan-atmosphère affectant l'ensemble de la région indo-pacifique. Il montra qu'il existait une corrélation négative entre la pression atmosphérique superficielle de la région située au nord de l'Australie et de l'Indonésie et la pression atmosphérique de la région située aux environs de l'île de Pâques et de Tahiti. Ce phénomène est connu sous le nom d'oscillation Australe. Lorsque la pression atmosphérique est plus basse que la moyenne pendant plusieurs mois sur la région Australie-Indonésie, elle est, au contraire, plus élevée que la moyenne à 10 000 kilomètres de là, dans l'océan Pacifique central (vers l'île de Pâques et Tahiti). Ces oscillations de la pression atmosphérique sont aussi corrélées aux variations de la température de surface de l'océan dans la région située au large des côtes du Pérou et de l'Équateur, siège d'El Niño. Lorsque l'index de l'oscillation Australe, qui se définit par la différence de pression au niveau de la mer entre Darwin (nord de l'Australie) et l'île de Pâques, est à son minimum, l'anomalie thermique chaude caractéristique d'El Niño apparaît au large du Pérou et de l'Équateur.

Depuis le début des années 1950, on dispose de moyens d'observation suffisants, qui ont permis d'étudier onze phénomènes El Niño associés à l'oscillation Australe. Le dernier en date est apparu au cours de l'été de 1982 et s'est développé tout au long de l'année 1983 avec une intensité jamais observée jusqu'alors. Son impact climatologique a été considérable et a attiré l'attention des médias pendant plusieurs mois. Ces onze derniers El Niño et les événements climatologiques qui leur sont associés ne se sont pas tous déroulés exactement suivant les mêmes schémas ; toutefois, des caractères leur sont communs, qui permettent d'en présenter un scénario type et de proposer des explications, même si de nombreuses inconnues demeurent encore.

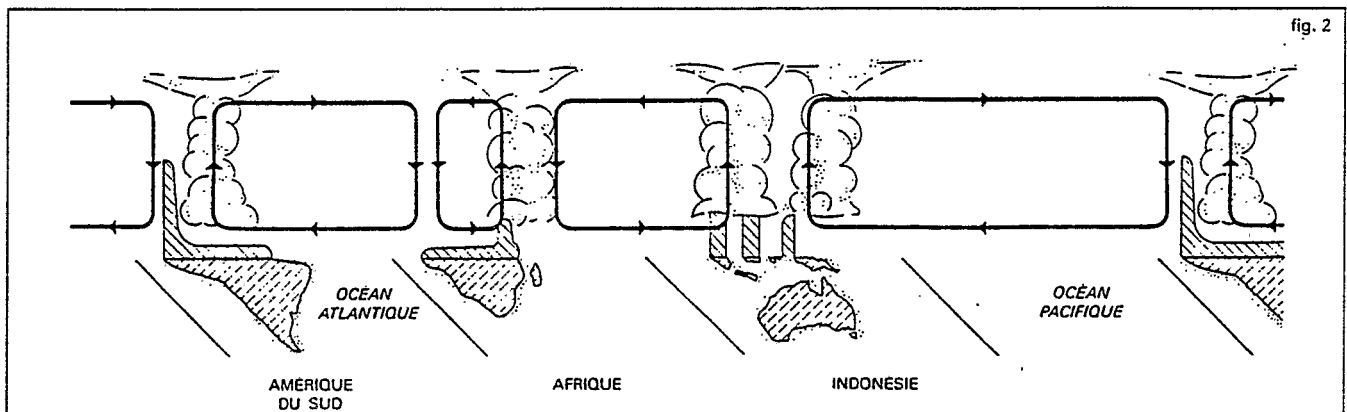
Le scénario le plus vraisemblable actuellement a été proposé par K. Wyrtki en 1975, puis précisé par E. M. Rasmusson et T. H. Carpenter en 1982 et par S. G. H. Philander en 1983. Il repose sur un mécanisme simple (fig. 1). Les vents alizés de sud-est, lorsqu'ils soufflent de façon prolongée, entraînent une accumulation d'eaux chaudes dans le Pacifique ouest et une élévation du niveau de la mer. Dès que les vents tombent, l'eau accumulée a tendance à s'écouler en retour vers le Pacifique est. Ce retour peut être facilité par une onde équatoriale appelée onde de Kelvin qui est issue d'une déformation de la surface de séparation entre les eaux chaudes superficielles et les eaux



froides plus profondes ; cette couche de séparation, où la température varie très rapidement en fonction de la profondeur, est appelée thermocline. Des modèles mathématiques ont mis en évidence l'existence de cette onde qui a été effectivement observée en 1982 dans l'océan Pacifique.

Phase de mise en place du phénomène et signes précurseurs

Les alizés d'est sont particulièrement intenses dans les régions centrales et occidentales des océans tropicaux. Dans l'océan Pacifique, ils convergent en une zone de basses pressions s'étendant du nord de l'Australie à l'ensemble de l'Indonésie



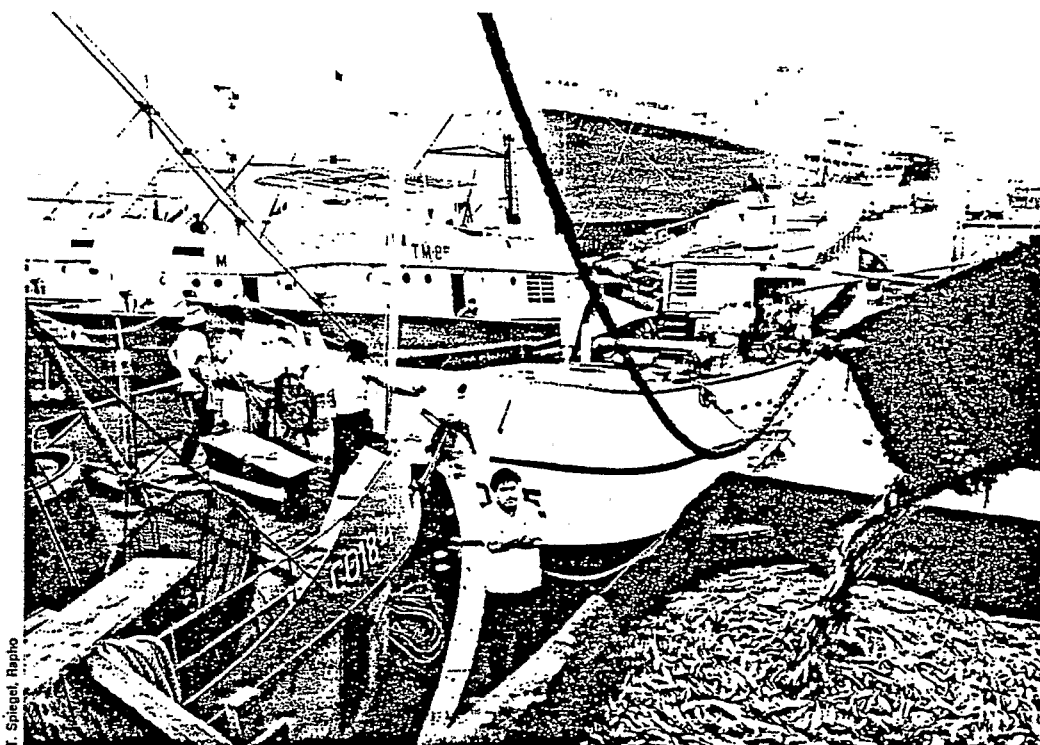
Circulation zonale et verticale moyenne liée aux cellules de Walker, dans la zone intertropicale (d'après K. Wyrtki, 1982).

où, habituellement, la couverture nuageuse est importante et les pluies sont intenses. En altitude, au contraire (altitude : 10 km ; pression : 200 mbar), les vents divergent avec un flux d'ouest sur la partie orientale. À l'autre extrémité de l'océan, une zone de hautes pressions, sèches et relativement froides, se situe au-dessus de la région des îles de Pâques, de Tahiti et de Rapa. L'ensemble constitue l'une des cellules de circulation dite cellules de Walker (fig. 2).

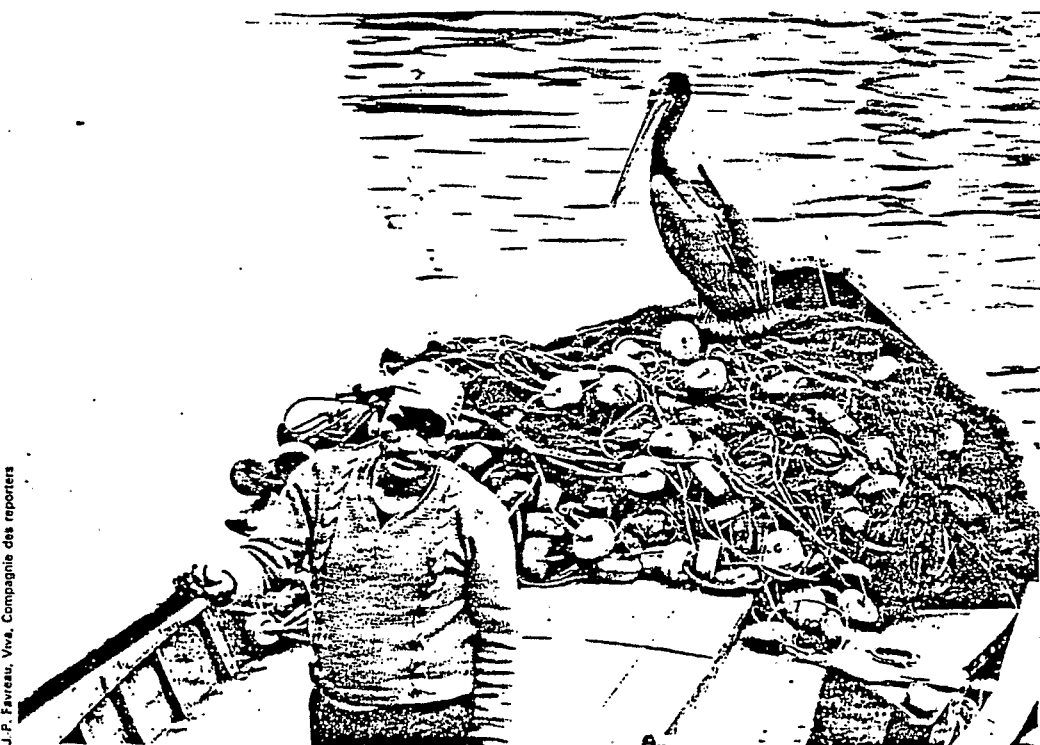
En situation de pré-El Niño, cette cellule est très active, les alizés sont puissants, et la différence de pression entre la région Tahiti-Rapa et la région Australie-du-Nord - Indonésie, qui mesure l'index de l'oscillation Australe, est élevée. Mais brusquement, après que ces alizés ont soufflé intensément

pendant une année ou plus, on observe parfois un déplacement vers l'est de la zone de convergence des alizés associée à la branche ascendante de la cellule de Walker (fig. 2). La zone de forte nébulosité et de précipitation intense qui lui est associée se déplace vers l'ouest jusqu'au voisinage de 170° O.- 180° O. : c'est un signe précurseur d'El Niño. Parallèlement, la différence de pression entre Tahiti-Rapa et la région de Darwin, qui mesure l'index de l'oscillation Australe, commence à baisser. Les alizés du Pacifique ouest (à l'ouest de la nouvelle position de la zone de convergence) faiblissent et même, en certains points, changent de sens.

En même temps, le niveau moyen de l'océan (ou sa hauteur par rapport à son niveau d'équilibre ou surface de géoïde)



T. Spingel, Rango



J.-P. Faveau, Viva, Compagnie des reporters

Le port de Callao : de l'abondance des années soixante à la catastrophe économique après les El Niño de 1972 et de 1982-1983 qui ont perturbé de manière irréversible la pêche des anchois au Pérou.

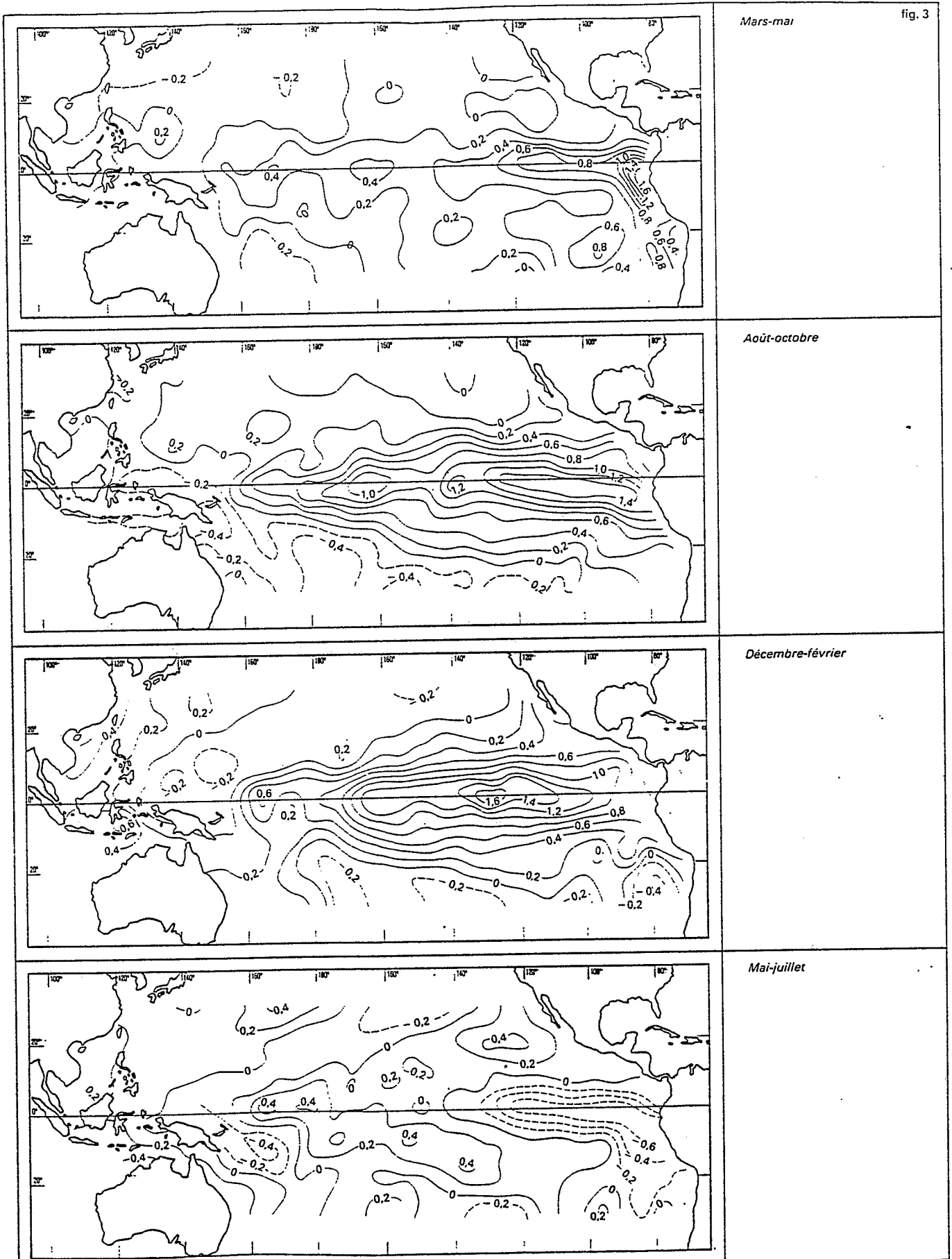


fig. 3

Anomalies de température de surface de l'océan (exprimées en °C) pendant l'El Niño type (étude composite d'après E. M. Rasmusson & T. H. Carpenter, 1982).

observé avec des marégraphes le long de l'équateur baisse. L'eau chaude accumulée sur le bord ouest de l'océan Pacifique n'est plus en équilibre avec la force du vent, qui a faibli. Cette eau a tendance à refluer vers l'est comme l'indique la figure 1 c. Une tache d'eau chaude apparaît à proximité des côtes du Pérou et de l'Équateur deux à trois mois après ce brusque affaiblissement du vent. El Niño commence généralement entre décembre et mars, car, bien qu'inhabituel, ce phénomène reproduit, en l'amplifiant, un cycle saisonnier qui amène tous les ans à Noël des eaux chaudes près des côtes du Pérou.

Phase de plein développement

La tache d'eaux chaudes, anormale après son apparition à proximité des côtes d'Amérique du Sud, s'intensifie et se déplace vers l'ouest en restant centrée sur l'équateur (fig. 3). De mars à mai, elle est encore collée à la côte d'Amérique du Sud. D'août à février de l'année suivante, elle envahit l'ensemble du Pacifique intertropical. De mars à juillet, enfin, on revient à des conditions normales. Pendant cette période de plein développement du phénomène, les vents alizés s'affaiblissent sur l'ensemble du Pacifique tropical. Ils changent même de sens sur le Pacifique ouest entre l'Indonésie et la région 170° O.-180° O., où la zone de convergence ainsi que la branche ascendante de la cellule de Walker se sont déplacées. En même temps, la pente de la surface de l'océan est réduite à zéro. L'océan est plat d'ouest en est.

On observe parallèlement une intensification des contre-courants océaniques (les contre-courants sont des courants coulant en sens inverse de la direction des vents dominants), en particulier le contre-courant équatorial nord qui ramène vers l'est, aux latitudes situées entre 3° N. et 10° N., des masses considérables d'eaux chaudes accumulées à l'ouest par les alizés lorsqu'ils étaient intenses. Il peut sembler contradictoire que la tache d'eaux chaudes superficielle anormale à l'équateur caractérisant El Niño se propage vers l'ouest, alors que les contre-courants océaniques ramènent vers l'est des eaux chaudes accumulées à l'ouest. Le retour d'eaux chaudes vers l'est par les contre-courants est un phénomène purement océanique. Le déplacement vers l'ouest de l'anomalie thermique de surface est un phénomène d'interaction entre l'océan et l'atmosphère. Les deux phénomènes sont compatibles. Les eaux chaudes ramenées à l'est créent des conditions thermiques océaniques favorables à une interaction entre l'océan et l'atmosphère. Celle-ci a une dynamique propre qui la fait se propager vers l'ouest ; la tache chaude initiale modifie le vent sur son bord ouest ; ce vent perturbé accentue à son tour le réchauffement et ainsi de suite.

Les conséquences climatologiques d'El Niño sont importantes. Les eaux anormalement chaudes du Pacifique équatorial est et central favorisent l'évaporation et donc de fortes précipitations. Celles-ci, normalement situées dans le Pacifique ouest (Indonésie - Nouvelle-Guinée), se sont déplacées vers l'est et envahissent le Pacifique central et est, créant ainsi des anomalies pluviométriques sur l'ensemble de l'océan Pacifique intertropical et sur les régions adjacentes. On observe ainsi un excédent de pluie sur les atolls des îles Marshall, Gilbert, Christmas et une sécheresse généralisée sur le nord de l'Australie, l'Indonésie et, à l'autre extrémité de l'océan Pacifique, sur le nord-est du Brésil.

Phase de dégénérescence et retour à la normale

Le cycle type d'El Niño et de l'oscillation Australe dure dix-huit mois : en juillet-septembre de la deuxième année, après l'apparition d'El Niño le long des côtes du Pérou (décembre-février), on observe généralement un affaiblissement considérable de l'anomalie thermique de surface dans le Pacifique central ; les remontées d'eaux profondes (*upwelling*) qui se produisent à l'équateur, à l'est de 140° O., et qui tendent à refroidir les eaux de surface réapparaissent. Les vents alizés et les conditions climatologiques générales sur l'ensemble du Pacifique redeviennent normaux.

Le phénomène régresse globalement comme il était apparu

et en sens inverse : des eaux plus froides apparaissent au large des côtes du Pérou. Cette tache froide se propage vers l'ouest, recréant les conditions d'*upwelling* équatorial normales déjà mentionnées. Pendant ce temps, la zone de convergence et la branche ascendante de la cellule de Walker reprennent leur place sur l'Indonésie. La différence de pression entre Tahiti-Rapa-île de Pâques et la région Australie-du-Nord-Indonésie se normalise : la pression remonte sur le Pacifique est. Les eaux chaudes, poussées par les alizés, recommencent à s'accumuler sur le bord ouest du Pacifique et l'océan retrouve une pente ouest-est avec un niveau moyen élevé à l'ouest (fig. 1 a).

El Niño « du siècle » en 1982-1983

Au début de l'année 1982, une diminution de la pression atmosphérique enregistrée sur les îles de Pâques et de Tahiti n'avait pas attiré l'attention. Cependant, cette première « signature » du déplacement anormal de l'anticyclone subtropical sur le sud-est du Pacifique allait être suivie plus tard par des événements météorologiques très violents qui affectèrent l'ensemble de la ceinture tropicale et même, pense-t-on, certaines régions tempérées qui subirent des situations climatologiques particulièrement anormales. Les médias se firent l'écho pendant toute l'année 1983 de ces dérèglements météorologiques attribués, quelquefois abusivement, à l'El Niño du siècle.

On nota la sécheresse la plus intense jamais observée en Australie et en Indonésie : sécheresse également en Éthiopie, en Afrique du Sud et au nord-est du Brésil. Au contraire, des pluies torrentielles dévastèrent l'Équateur et le nord du Pérou. Les côtes de Californie subirent des dégâts sans précédent dus à des pluies ininterrompues pendant plusieurs semaines. En Polynésie française, où l'on n'avait pas observé de cyclone depuis 1906, six cyclones particulièrement violents dévastèrent certains atolls et, notamment, Mururoa, le centre d'essais atomiques français du Pacifique.

L'El Niño 1982-1983 est particulier en ce sens qu'il n'a pas suivi exactement le scénario décrit précédemment et que son intensité a été plus de deux fois plus élevée que ce que l'on avait observé jusqu'ici. La température de surface de l'océan a monté brutalement sur l'ensemble du Pacifique équatorial central en septembre 1982 alors qu'au cours des deux années précédentes aucune intensification anormale des alizés caractéristique de la phase de préconditionnement du phénomène n'était apparue. L'index de l'oscillation Australe n'avait pas non plus atteint des valeurs élevées. En l'absence de signes précurseurs marqués, El Niño 1982-1983 a surpris et il a fallu attendre plusieurs mois après l'apparition des premières anomalies thermiques pour que la communauté scientifique acceptât l'idée qu'on était bien en présence d'un El Niño.

Les anomalies thermiques ont été tout à fait exceptionnelles par leur amplitude. En décembre 1982, on a observé des anomalies de plus de 5 °C de long de l'équateur sur une bande océanique de plus de 2 000 kilomètres, et de plus de 7 °C en janvier 1983, le long des côtes de l'Équateur.

Celles-ci ont persisté jusqu'à l'été de 1983. Le retour à une situation normale est survenu à l'automne de 1983.

Le caractère exceptionnel et atypique de cet El Niño 1982-1983 a jeté le doute sur les théories que les scientifiques météorologiques et océanographes avaient proposées jusqu'alors pour expliquer ce phénomène. Pour tenter de comprendre et de prévoir cet événement aux conséquences désastreuses, un grand programme scientifique international est lancé en 1985 avec pour objectif de recueillir pendant dix ans les observations nécessaires à une description complète et détaillée du phénomène pendant que des modèles mathématiques utilisant les plus puissants ordinateurs disponibles tenteront de simuler ce phénomène et donc à terme de le prévoir.

J. M.

Bibliographie

J. BJERKNES, « Atmospheric Teleconnections from the equatorial Pacific », in *Mon. Wea. Rev.*, vol. XCVII,

pp. 163-172, 1969 / A. H. OORT & T. H. VONDER HAAR, « On the observed annual cycle in the ocean-atmosphere heat balance over the northern hemisphere », in *Journ. Phys. Oceanogr.*, vol. VI, pp. 781-800, 1976 / S. G. H. PHILANDER, « El Niño Southern Oscillation Phenomena », in *Nature*, vol. CCCII, pp. 295-301, 1983 / E. M. RASMUSSEN & T. H. CARPENTER, « Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern oscillation - El Niño », in *Mon. Wea. Rev.*, vol. CX, pp. 354-384, 1982 / G. T. WAL-

KER, « Correlation in seasonal variations of weather », in *Mem. Ind Meteor. Dept.*, vol. XXIV, pp. 75-131, 1923 / K. WYRTKI, « El Niño. The Dynamic Reponse of the equatorial Pacific ocean to atmospheric forcing », in *Journ. Phys. Oceanogr.*, vol. V, pp. 572-584, 1975 ; « El Niño », in *La Recherche*, n° 106, vol. X, pp. 1212-1220, 1979 ; « The Southern Oscillation ocean-atmosphere interaction and El Niño », in *Marine Technology Soc. Journ.*, vol. XVI, pp. 3-10, 1982.

La sécheresse au Sahel

Entre le Sahara, le plus grand désert du monde, et la zone soudanienne, s'étire, de l'océan Atlantique à la mer Rouge, la zone sahélienne (Sahel est un terme arabe qui signifie « rivage, frange »). Le Sahel s'étend en bordure sud du Sahara. Il est compris entre le désert, où il peut ne pleuvoir qu'une fois tous les dix ans, et le Soudan où des pluies régulières estivales permettent des cultures vivrières. La limite du Sahel se dilue, au nord, dans les dunes ou le reg et, au sud, dans les champs de mil à chandelle. Plus précisément, les géographes et les écologistes s'accordent pour placer le Sahel entre la ligne des 100 millimètres de pluie au nord et la bande des 500-550 millimètres de pluie au sud. Ainsi défini, le Sahel s'allonge transversalement d'un bord à l'autre du continent africain sur 6 000 kilomètres, dont 4 200 kilomètres en Afrique francophone,

et couvre, sur 400 à 500 kilomètres de latitude, une surface de 4 à 5 millions de kilomètres carrés. Il englobe de 25 à 30 millions d'habitants, la plupart éleveurs nomades ou transhumants.

Le Sahel s'enfonce légèrement vers le sud, d'ouest en est, la ligne des 100 millimètres passant ainsi du 18° parallèle (au niveau de la Mauritanie) au 16° parallèle (au niveau du Tchad et du Soudan). Cette ligne des 100 millimètres est judicieusement choisie car c'est la quantité minimale d'eau nécessaire pour entretenir un tapis végétal, ouvert certes, composé de touffes graminéennes espacées, mais régulièrement réparties dans le paysage, alors qu'au désert, quand elle arrive à pousser, la végétation est étroitement localisée le long du système hydrographique. La végétation steppique nord-sahélienne comprend des espèces appartenant à la famille des Graminées (*Panicum*



L'eau manque. Bien qu'il soit situé au niveau du 13° parallèle, le lac Tchad s'amenuise sous l'effet du déficit pluviométrique qui sévit depuis 1968 en Afrique centrale. Il ne couvre aujourd'hui, comme le montre ce cliché pris par la N.A.S.A., que le vingtième de sa surface d'extension maximale, visible en noir et semée d'ondulations dunaires. Les eaux du Komadugu venant de l'ouest, entre Niger (angle nord-est) et Nigeria (angle sud-ouest), se perdent dans les sables. Logone et Chari, venant de l'angle sud-est, au niveau du Cameroun, alimentent encore la nappe d'eau libre qui apparaît ici comme une petite flaque claire à bords déchiquetés. Au-delà, vers l'est, s'étend le Tchad (J. Tiziou, Sygma).