

Géologie/Geology
(Météorologie/Meteorology)

Influence du phénomène océanique pacifique, « El Niño », sur l'« upwelling » et le climat de la région du Cabo Frio, sur la côte brésilienne de l'État de Rio de Janeiro

Louis MARTIN, Jean-Marie FLEXOR et Jean-Louis VALENTIN

Résumé — Le phénomène océanique pacifique connu sous le nom de « El Niño », peut perturber la circulation atmosphérique de l'Amérique du Sud et le régime des vents sur la côte atlantique du Sud et du Sud-est du Brésil. Ceci provoque un renforcement ou une disparition de l'« upwelling » local de la région du Cabo Frio (Etat de Rio de Janeiro), avec des conséquences sur le climat et la salinité de la lagune voisine d'Araruama. Etudier ces variations, dans des sédiments lagunaires, devrait permettre d'établir une chronologie des périodes de situation de type « El Niño » et, curieusement, d'enregistrer sur la côte atlantique un phénomène océanique pacifique.

The influence of the pacific "El Niño" phenomenon on the upwelling and on the climate of the region of Cabo Frio, in the brazilian coast of the State of Rio de Janeiro

Abstract — The Pacific "El Niño" phenomenon can disturb the atmospheric circulation of South America and consequently the winds system on the Brazilian atlantic south and south-east coast. This effect produces a strengthening or a disappearance of the upwelling in the Cabo Frio region (State of Rio de Janeiro) with repercussion under the region's climate and salinity of Araruama lagoon. The study of lagunar sediments should allow to build up a "El Niño"-like periods chronology and, surprisingly, to record a pacific phenomenon on the atlantic coast.

Abridged English Version — The seasonal cycle of cold waters in Cabo Frio region (State of Rio de Janeiro, Brazil) is controlled by three distinct factors: the local topography of the coastline, the situation of the Brazilian Stream axis and the wind pattern. The first two factors may be considered as ancillary whereas the latter is determinant. The water surface temperature is minimum when the winds are NE and increases when the winds turn to SW. During spring and summer, the dominant wind pattern is NE. In autumn and winter, the wind pattern is disturbed, in the middle and upper troposphere, by the passage of successive northward waves and, in surface, by the corresponding frontal systems which are associated to SW, South and SE winds.

The alternating presence of cold waters in Cabo Frio region produces an important decrease in rain precipitation and, hence, a dry micro-climate. This latter also yields the Araruama lagoon hypersalinity.

Periodically, it may occur, in the East Pacific, an increase of ocean's temperature around the equatorial region. This occasional presence of hot waters along the coast of Ecuador and Peru is called the "El Niño" Phenomenon.

During the year of 1983, an intense "El Niño" Phenomenon which occurred in the coast of Peru, resulted in a strong *subtropical jet current* in the troposphere. This jet current extended from Pacific East coast to the South of Brazil, obstructing the arrival of frontal systems. The blockage started in South Brazil, moved northward and became stationary during july-august over the Rio de Janeiro region. As the obstruction was situated South of Cabo Frio, the SW, South and SE winds were blocked off the region and, as a result, the NE winds become almost permanent, producing an enhanced upwelling (*Fig. d*).

Note présentée par Georges MILLOT.

During 1976, also a "El Niño" year, it was possible to observe an inversed situation: from march to august, the waters became anomalously hot due to the absence of NE winds. The "El Niño" Phenomenon was weaker than in 1983, then the *subtropical jet current* was situated northward. This may explain why the NE winds didn't reach the Cabo Frio region.

Therefore, we may state that there is a teleconnection between the enhancement or the disappearance of the upwelling in Cabo Frio region with the occasional presence of hot waters along the coast of Equador and Peru.

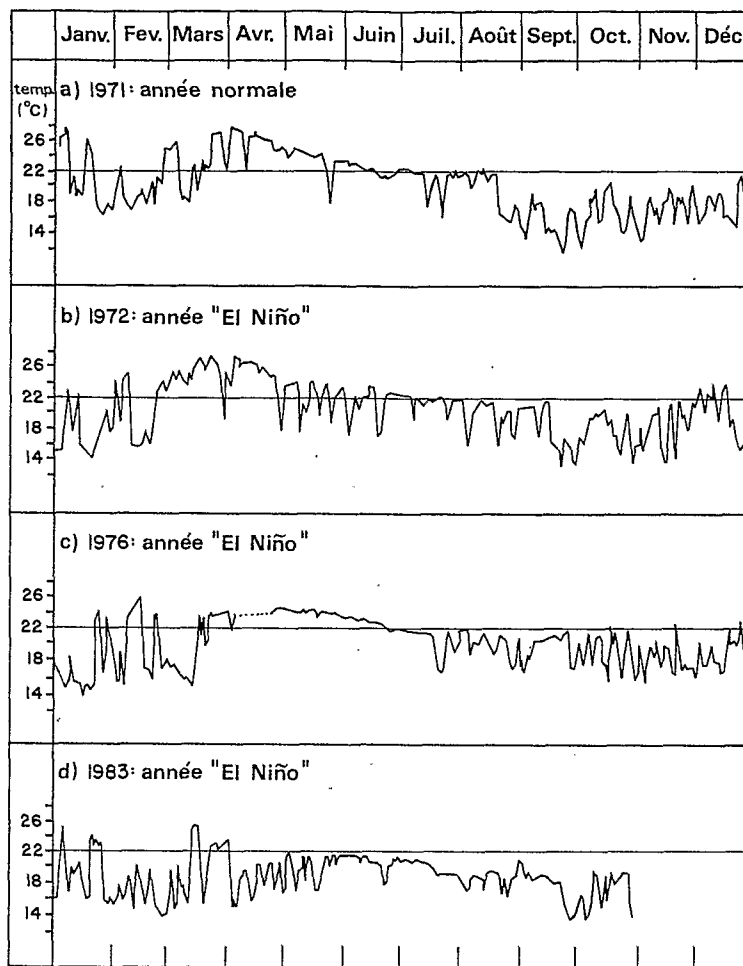
We have already shown [3] that inversions in the direction of the dominant swell have occurred along the coast of Espirito Santo State during the Holocene. Archeological studies [4] have shown that the southern part of Santa Helena Cape (Equador) has been subjected to alternancies of wet and dry periods. These indications suggest that it must had occurred prolonged periods of "El Niño"-like conditions. In this way, if there were any extended periods of enhancement or decline of the Cabo Frio upwelling, it would have resulted in changes in the salinity of Araruama lagoon and, consequently, in the local ecosysteme. A preliminary study of ostrachoids tests deposited in this lagoon shows typical modifications which indicate variations in salinity.

Le nom même de « Frio » (froid), donné par les navigateurs portugais du XVI^e siècle à ce cap de la côte brésilienne, situé 100 km à l'Est de la ville de Rio de Janeiro (23°0'S et 42°0'W), témoigne, sur les cartes marines anciennes, d'une anomalie thermique locale.

I. MÉCANISMES DE L'« UPWELLING » DU CABO FRIO. — Allard [1] a le premier observé une corrélation entre la direction des vents et les variations importantes de la température de l'eau de surface dans la région du Cabo Frio. La température est minimale quand le vent souffle du NE et remonte quand celui-ci tourne et s'établit au SW. Au printemps et en été, les vents dominants proviennent du NE. En automne et en hiver, le régime des vents de NE est perturbé par les passages successifs, dans la haute et moyenne troposphère, d'ondes méridiennes en provenance du Sud et, au sol, par les systèmes frontaux correspondants qui sont accompagnés de vents du SW, Sud et SE. En année normale, au printemps et en été, les eaux sont froides; au contraire, en automne et en hiver, elles sont chaudes (*fig., a*). Moreira da Silva [2] a montré que la remontée se faisait en deux temps. De septembre à avril, l'éloignement, vers le large, de l'axe du courant du Brésil permet aux *Eaux Centrales de l'Atlantique Sud* de s'élever au-dessus du talus et d'occuper de façon permanente le fond du plateau continental. Sous l'influence des vents du NE, les eaux froides, en position d'attente sur le fond du plateau continental, s'élèvent jusqu'à la surface de l'océan. Par contre, les vents de SW, Sud et SE, liés aux passages des *fronts froids*, provoquent une retenue et même une élévation des eaux côtières chaudes et, en conséquence, la submersion des eaux froides.

L'« upwelling » du Cabo Frio est régi par trois facteurs : topographie locale, position de l'axe du courant du Brésil et régime des vents. Les deux premiers, bien qu'essentiels dans la localisation du phénomène dans cette région du littoral brésilien, peuvent être considérés comme passifs, alors que le troisième est le moteur de la remontée intermittente des eaux froides jusqu'à la surface de l'océan.

II. EFFET DE L'« UPWELLING » SUR LE CLIMAT DE LA RÉGION DU CABO FRIO. — La présence intermittente d'eaux froides dans la région du Cabo Frio provoque une diminution importante des précipitations et donc l'existence d'un microclimat sec. Ce dernier entraîne une hypersalinité de la lagune d'Araruama (700 mm/an de précipitations). Au contraire,



Comparaison de la température de l'eau de surface
à la station de l'île du Cabo Frio, en année normale et en année « El Niño ».

*Comparison between surface water temperatures
at the Cabo Frio station in normal and "El Niño" years.*

la lagune de Guarapina (1 300 mm/an de précipitations), située 50 km à l'Ouest, est hyposaline, car hors de la zone d'influence de l'« upwelling ».

III. LE PHÉNOMÈNE « EL NIÑO » SUR LES CÔTES DE L'ÉQUATEUR ET DU PÉROU ET SON INFLUENCE SUR L'AMÉRIQUE DU SUD ATLANTIQUE. — Dans le Pacifique sud, en temps normal, l'anticyclone est centré sur l'île de Pâques. L'Ouest du Pacifique est recouvert d'une zone de basses pressions qui guide les alizés de l'Est vers l'Ouest, le long de l'équateur. Ces derniers, soufflant vers l'Ouest, exercent une tension superficielle, à la surface de l'océan, qui provoque une accumulation d'eaux chaudes à l'Ouest et une remontée d'eaux froides le long des côtes pacifiques de l'Amérique du Sud. Occasionnellement, il se produit un renversement de ce gradient de pression qui affaiblit ou inverse la direction des vents (*Oscillation australe*). Ce phénomène s'accompagne, dans l'Est du Pacifique, d'une augmentation de la température de l'océan, non seulement dans la région équatoriale mais également de part et d'autre de l'équateur. C'est cette apparition

occasionnelle d'eaux chaudes le long des côtes de l'Équateur et du Pérou qui porte le nom de *Phénomène « El Niño »*.

En 1982/1983, il s'est produit un important *Phénomène « El Niño »*. Une des caractéristiques de la circulation atmosphérique, durant la phase mature du phénomène, de mars à août 1983, a consisté dans la présence d'un fort *courant de jet subtropical* sur l'Amérique du Sud, allant du Nord du Chili au Sud du Brésil en passant par le Nord de l'Argentine. Ce fort courant de jet a bloqué les incursions vers le Nord des masses d'air polaire et, en conséquence, les *fronts froids* sont restés stationnaires sur le Sud et le SE du Brésil. Cette zone de blocage s'est progressivement déplacée vers le Nord pour se situer dans la région de Rio de Janeiro jusqu'en décembre. Par suite du blocage des *fronts froids*, les vents de SW, Sud et SE n'ont pas atteint la région du Cabo Frio et logiquement les vents du NE ont pratiquement été permanents.

IV. RÉPONSE ATLANTIQUE DE L'« UPWELLING » DU CABO FRIO AU PHÉNOMÈNE PACIFIQUE « EL NIÑO ». — En 1983, de mars à août, les eaux de surface de l'océan ont été anormalement froides dans la région du Cabo Frio (*fig., d*). Ceci est logique puisque les vents du NE ont été pratiquement permanents au cours de cette période et nous avons vu que ceux-ci sont le moteur de la remontée, jusqu'à la surface, des eaux froides.

En 1976, qui correspond également à une année « El Niño », on constate une situation inverse : du 15 mars au 15 juillet, les eaux ont été en permanence chaudes dans la région du Cabo Frio (*fig., c*), ce qui indique qu'il n'y a pas eu de vents du NE pendant toute cette période. Le *Phénomène « El Niño »* ayant été de plus faible intensité, il est possible que le *courant de jet subtropical* se soit situé plus au Nord, ce qui expliquerait que les vents du NE n'aient pas atteint la région du Cabo Frio.

En 1972, qui correspond également à une année « El Niño », de mars à septembre, on note la présence de nombreuses périodes d'eaux froides (*fig., b*). Ceci indique une importance anormale des périodes de vents du NE, si on fait une comparaison avec l'année 1971 (*fig., a*) qui peut être considérée comme normale. L'année 1972, en ce qui concerne la température de l'eau de surface, dans la région du Cabo Frio, est un peu comparable à l'année 1983, avec toutefois une température moyenne plus élevée.

Il existe donc une téléconnection claire, entre le renforcement ou la disparition de l'« upwelling » de la région du Cabo Frio et la présence occasionnelle d'eaux chaudes le long des côtes de l'Équateur et du Pérou. Selon l'intensité du *Phénomène « El Niño »*, ces eaux chaudes s'étendent plus ou moins loin vers le Sud le long de la côte pacifique de l'Amérique du Sud, ce qui modifie la position du *courant de jet subtropical* qui traverse en diagonale l'Amérique du Sud et bloque les incursions des masses d'air polaire vers le Nord. Selon la position de ce blocage, au Sud ou au Nord de la région du Cabo Frio, les vents du NE, moteur de la remontée des eaux froides jusqu'à la surface de l'océan, seront permanents ou absents et il existera, selon les cas, un renforcement ou une disparition de l'« upwelling ».

V. POSSIBILITÉ D'ENREGISTREMENT DE SITUATIONS DE TYPE « EL NIÑO » AU BRÉSIL DEPUIS 5 000 ANS. — Nous avons montré [3] qu'il s'était produit, au cours de cette période, le long du littoral de l'Etat d'Espirito Santo, des inversions de la direction de la houle dominante. De même, des recherches archéologiques ont montré que la partie sud du Cap de Santa Helena (Équateur) avait connue des alternances de périodes arides et humides. Ces indications suggèrent qu'il a existé par le passé des périodes beaucoup plus longues de situations « El Niño ». Ces situations passées auront agi sur l'« upwelling » de la région du Cabo Frio, donc sur le micro-climat et sur la salinité de la lagune

d'Araruama et donc sur son écosystème. Une étude préliminaire sur les tests de certains ostracodes, présents dans les sédiments de cette lagune, montre des modifications caractéristiques, indicatrices de variations de la salinité. Il existe donc une possibilité, en s'appuyant sur des datations au ^{14}C , de bâtir une chronologie de ces événements par une étude de carottes des sédiments holocènes de la lagune d'Araruama.

VI. CONCLUSIONS. — Sur la côte du Brésil, dans la région du Cabo Frio, les vents du NE provoquent la remontée (upwelling) des eaux profondes et froides, d'où le nom du cap. Par contre, les vents du SW, Sud et SE provoquent une retenue et même une élévation des eaux côtières chaudes et, en conséquence, la submersion des eaux froides.

Le phénomène océanique pacifique connu sous le nom de « El Niño » provoque occasionnellement l'apparition d'eaux chaudes le long des côtes de l'Equateur et du Pérou. Cette présence engendre un fort *courant de jet subtropical* qui traverse selon une direction NW-SE l'Amérique du Sud. Ce dernier, en bloquant les *fronts froids* dans le Sud et le Sud-est du Brésil, perturbe le régime des vents. Selon l'intensité du *Phénomène « El Niño »*, la position du *courant de jet subtropical* variera. De telles situations, mais de plus grandes périodes, semblent avoir existé durant l'Holocène et une étude des sédiments lagunaires de la région du Cabo Frio devrait permettre de les dater.

On note ainsi l'influence considérable d'un phénomène océanique du Pacifique sur la circulation atmosphérique et le climat de l'Atlantique du SE.

Note reçue le 12 juillet 1988, acceptée le 25 juillet 1988.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

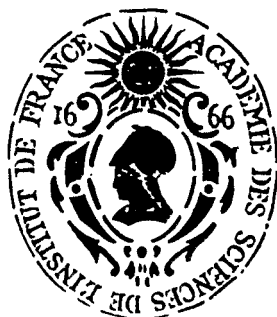
- [1] P. ALLARD, *Bull. Inf. Com. Cent. Océanogr. Etude des Côtes*, 2, 1955, p. 58-63.
- [2] P. DE C. MOREIRA DA SILVA, *Publi. Inst. Pesq. Mar.*, 78, 1973, p. 1-56.
- [3] L. MARTIN, J.-M. FLEXOR, V. KOUSKY et I. F. DE A. CAVALCANTI, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 298, série II, 1984, p. 25-27.
- [4] B. BOGIN, *Central Issues in Antropology*, 4, n° 1, 1982, p. 25-50.

L. M. : Antenne O.R.S.T.O.M., Observatório Nacional,
Rua General Bruce 586, 20921 Rio de Janeiro, Brésil;

J.-M. F. : Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brésil;

J.-L. V. : Instituto Nacional do Mar Almirante Paulo Moreira,
28910 Arraial do Cabo, Brésil.

COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES



TOME 307 SÉRIE II N° 9 — 15 SEPTEMBRE 1988

Série II
MÉCANIQUE - PHYSIQUE - CHIMIE
SCIENCES DE L'UNIVERS
SCIENCES DE LA TERRE

26 SEP. 1988



gauthier-villars

PB 6 N