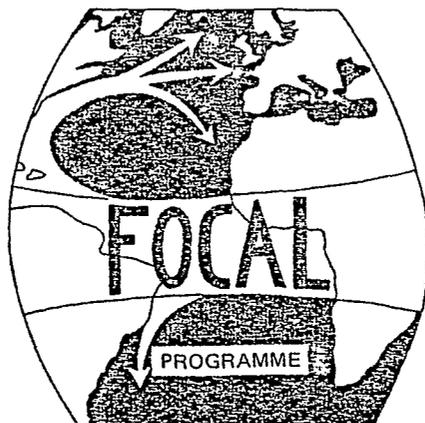


in: MET-MAR, n° 111, 1981



FRANCAIS OCEAN CLIMAT ATLANTIQUE EQUATORIAL  
ORSTOM  
CNRS  
UBO  
CNEOX

## LE PROGRAMME "FOCAL"

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B\*5367 Ex: 1

### Programme Français "Océan et Climat" dans l'Atlantique équatorial,

Le "livre blanc" de la Météorologie et le "livre blanc" de la Recherche, publiés au cours de ces derniers mois, ont mis l'accent sur les questions climatiques, les actions menées dans ce domaine étant considérées comme prioritaires pour les années à venir.

Met-Mar a, dans son numéro 109, exposé les grandes lignes du "Plan climatique mondial" (PCM), vaste projet proposé par l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

Sous l'égide de la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique (DGRST), la France, dans l'esprit du PCM, a établi un "Programme national d'étude de la dynamique du climat" (PNEDC) comportant plusieurs composantes parmi lesquelles on relève "océanologie: interactions océan-atmosphère".

Met-Mar verse aujourd'hui au dossier "Climatologie" nouvellement ouvert, une seconde pièce sous forme d'un article de M. Jacques Merle, chercheur à l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (ORSTOM) dans lequel est mise en relief l'influence de la zone maritime intertropicale dans le fonctionnement de la machine atmosphérique à l'échelle planétaire et où sont brossées les grandes lignes de la participation française au programme de recherche dans cette zone.

Fonds Documentaire ORSTOM



010005367

#### Un programme de recherche français "océan et climat"

L'action sectorielle programmée (ASP) dite "Evolution des climats", a fait des choix d'actions de recherche de longue durée ayant pour objectif général de comprendre certains mécanismes physiques responsables du climat et de son évolution. L'une de ces actions s'intitule: "Observations océaniques systématiques dans l'Atlantique tropical".

Cette formulation recouvre principalement l'étude de la variabilité "basse fréquence" du système de circulation tropical Atlantique considéré dans son

état (flux de masse et de chaleur) et dans ses relations avec ses moteurs extérieurs (vent et échange énergétique à l'interface). Les justifications scientifiques générales de cette action de recherche sont exprimées dans le document: "Programme national d'étude de la dynamique du climat". Ce type d'action trouve aussi sa justification dans divers documents étrangers et d'organisations internationales (1).

(1) En particulier, les documents: POMS (Pilot ocean monitoring studies, du WCRP - World climate research program); Programme américain SEQUAL et Heat flux (NOAA)...

Au plan national, ce programme représente une synthèse coordonnée des propositions faites par des chercheurs appartenant à plusieurs organismes de recherche français (CNRS, CNEOX, ORSTOM, Universités). Ce groupe de chercheurs multi-organismes s'est constitué en avril 1980 et s'est structuré en différents sous-groupes par type d'actions de recherche.

Le programme est destiné à couvrir une période de trois ans (1981-1983), mais des actions préliminaires (études de données historiques et mise en place de réseaux d'observations systématiques), entreprises dès 1980, sont également considérées. Enfin, sans préjuger d'un avenir incertain, les propositions faites ici doivent servir de base à une activité s'étendant ultérieurement sur l'ensemble de la décennie 1980-1990.

### CONTEXTE SCIENTIFIQUE

L'océan reçoit de la chaleur en excès aux basses latitudes et la restitue à l'atmosphère aux moyennes et hautes latitudes. Un transfert thermique méridien en résulte, qui joue un rôle essentiel dans la machine climatique. La circulation dans les régions intertropicales, qui se situe à la source chaude du système, est la première responsable de ce transfert thermique méridien (figure 1, d'après Vonder Haar et Oort, 1973).

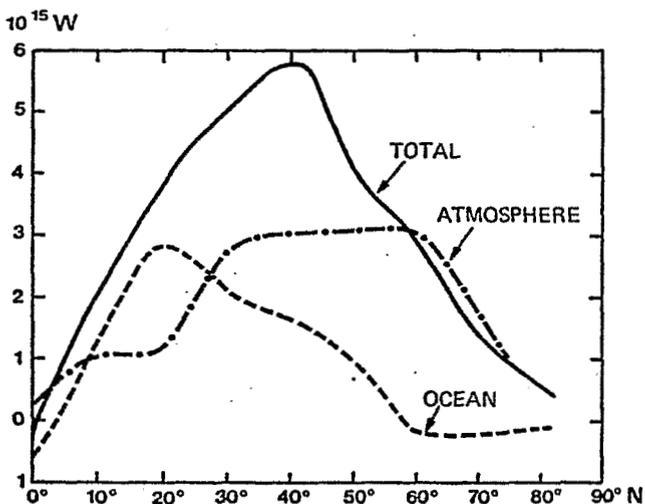


Fig. 1 - Répartition du transport méridien de chaleur entre océan et atmosphère pour l'ensemble de l'hémisphère nord. D'après Vonder Haar et Oort (1973).

Cependant, le système de circulation équatoriale fonctionne essentiellement dans le sens zonal et d'importants transferts énergétiques s'effectuent d'un bord à l'autre de l'océan et aussi d'hémisphère à hémisphère par des connexions complexes (courants et contre-courants) liant les deux tourbillons subtropicaux nord et sud (figure 2). Ainsi, aux basses latitudes, une dynamique océanique équatoriale spécifique force la température de surface plus que ne le fait localement l'atmosphère; les modèles

unidimensionnels de la couche superficielle homogène océanique ne s'appliquent pas au domaine tropical; aux moyennes et hautes latitudes, au contraire, il est généralement admis qu'à l'échelle climatique l'océan réagit passivement et localement à l'action de l'atmosphère.

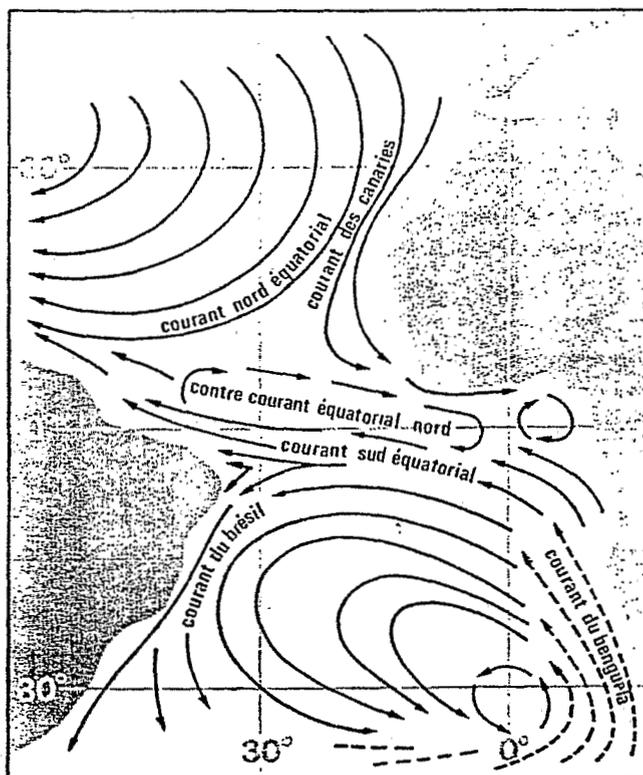


Fig. 2 - Système des courants marins superficiels la période moyenne janvier-février-mars.

Les deux tourbillons subtropicaux, nord et sud, entraînent, aux basses latitudes, des connexions complexes (courants et contre-courants) et des transferts énergétiques considérables d'un bord à l'autre de l'océan et d'hémisphère à hémisphère.

La circulation océanique équatoriale, qui redistribue méridionalement et zonalement la chaleur absorbée dans la bande tropicale, rend nécessaire la prise en compte dans les modèles, des termes d'advection océanique. Ce transport océanique tropical, affectant la sphère chaude, subit des variations saisonnières et interannuelles importantes et mal connues qui conditionnent un pourcentage considérable de la répartition globale de chaleur et constituent l'une des clés de la variabilité climatique à court terme, de la saison à quelques années.

Des études récentes (Hastenrath, 1980) ont montré que, si les régions où la chaleur est reçue en excès sont effectivement très proches de l'équateur (figure 3), les trois océans répartissent différemment cet excès de chaleur (figure 4). L'océan Indien restitue rapidement cette chaleur à l'atmosphère dans la région tropicale elle-même, nourrissant ainsi le phénomène, si caractéristique, de la mousson indienne d'été. L'océan Pacifique redistribue cette chaleur principalement vers le sud; et une partie importante de celle-ci entre dans l'océan Atlanti-

que et contribue à combler le déficit thermique global de l'Atlantique nord.

L'océan Atlantique se caractérise ainsi par un transport thermique méridien sud-nord traversant l'équateur. Cette caractéristique thermique de

l'Atlantique, ajoutée à sa taille réduite, à sa proximité des régions développées, à son influence prépondérante sur le climat de l'Europe, de l'Amérique de l'est et de l'Afrique de l'ouest, ont conduit à faire le choix privilégié de cette région pour une étude quantitative du transport thermique.

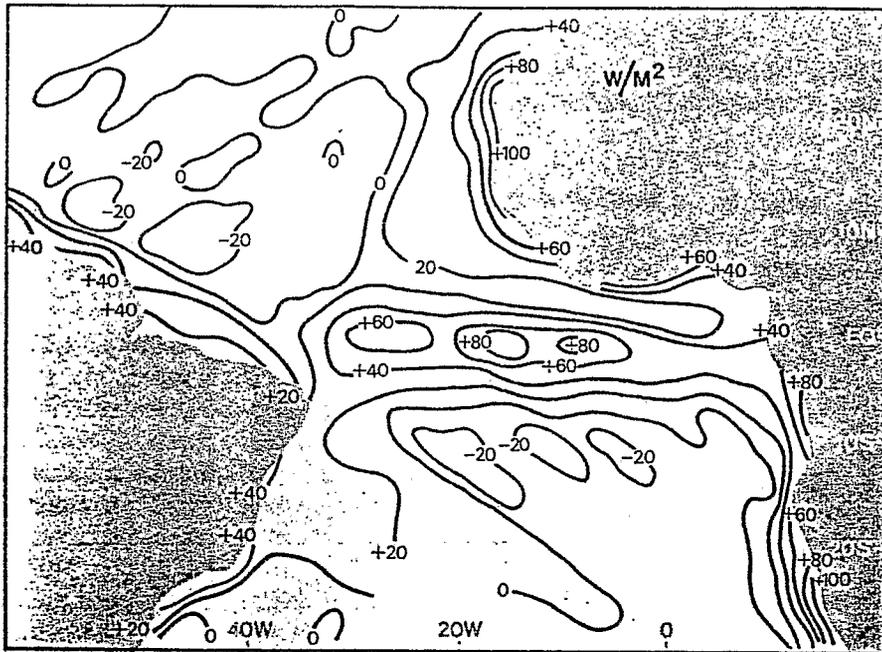


Fig. 3 - Bilan océanique énergétique moyen dans l'Atlantique tropicale (d'après Hastenrath et Lamb 1978).

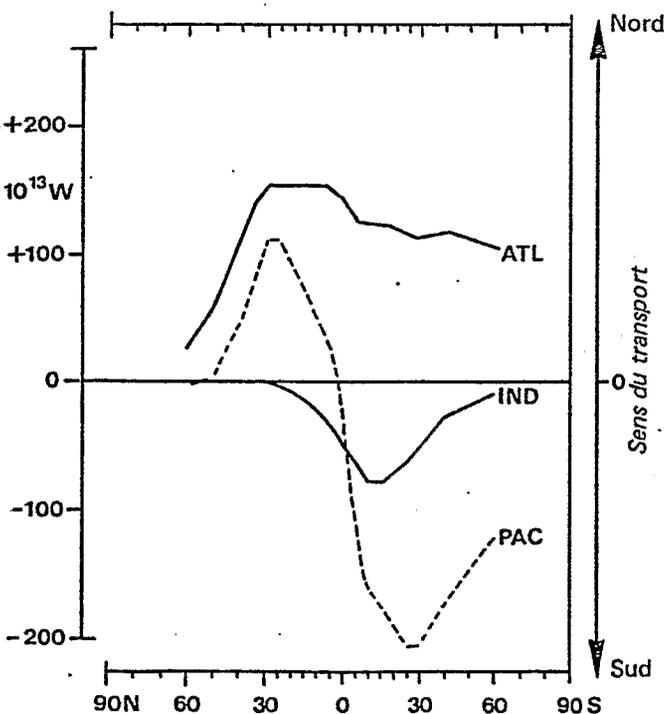


Fig. 4 - Composante méridienne du transport thermique océanique pour les trois océans (d'après Hastenrath 1980). Remarque la singularité de l'océan Atlantique où le transport est, en moyenne, toujours dirigé vers le nord.

## OBJECTIFS

L'objectif général sera d'observer et de comprendre les causes de la variabilité "basse fréquence", saisonnière et interannuelle, des flux de masse et de chaleur transportés par le système de circulation équatoriale atlantique.

On distinguera des objectifs particuliers pour les différentes catégories d'observations, la modélisation et le traitement des données historiques.

### Observations systématiques routinières "monitoring"

Deux opérations seront menées dans ce cadre, qui mettent en oeuvre des systèmes d'acquisition de données quasi autonomes.

### Opération FOCAL-1: Observations thermiques de subsurface par XBT - navires marchands

L'objectif sera l'étude de la variabilité saisonnière et interannuelle du contenu thermique (1) et du flux thermique à travers des sections d'observations transéquatoriales.

Les lignes régulières de navires marchands apparaissent comme l'un des supports les plus efficaces et de moindre coût pour observer de façon systématique, routinière et continue (monitoring) le champ thermique des couches superficielles océaniques.

### Notes de Met-Mar

1) L'article "Température de la mer en surface et thermocline" publié dans le présent Met-Mar évoque la question du contenu thermique de l'océan.

Cette observation directe du champ thermique permettra d'évaluer les variations du contenu thermique entre 0 et 500 mètres. De plus, une connaissance de la relation T-S (température-salinité) locale permettra de déduire du champ de température le champ de masse et, par là, en se plaçant dans l'hypothèse géostrophique, les flux de masse et de chaleur à travers la section observée. C'est la méthode mise au point par Wyrтки (1978) dans l'océan Pacifique, dans le cadre des programmes américains NORPAX et TRANSPAC.

Dans l'océan Atlantique tropical, un réseau de navires marchands sélectionnés (MESTRA) fonctionne à partir du Havre sous l'initiative conjointe de la Météorologie nationale et de l'ORSTOM, et fournit des observations océaniques et météorologiques de l'interface, le long de cinq lignes régulières.

Au début de 1980, l'ORSTOM a proposé l'équipement de l'une de ces lignes (Dakar-Récife) pour faire des observations thermiques XBT (1) de subsurface (0-500 mètres).

Cette action se développe en coopération étroite avec une action semblable mise sur pied par des chercheurs américains du groupe SEQUAL ("Seasonal equatorial Atlantic"). Un contrat d'association scientifique a été signé entre l'ORSTOM et la Woods Hole Oceanographic Institution pour la disposition commune des données recueillies et l'exploitation des résultats.

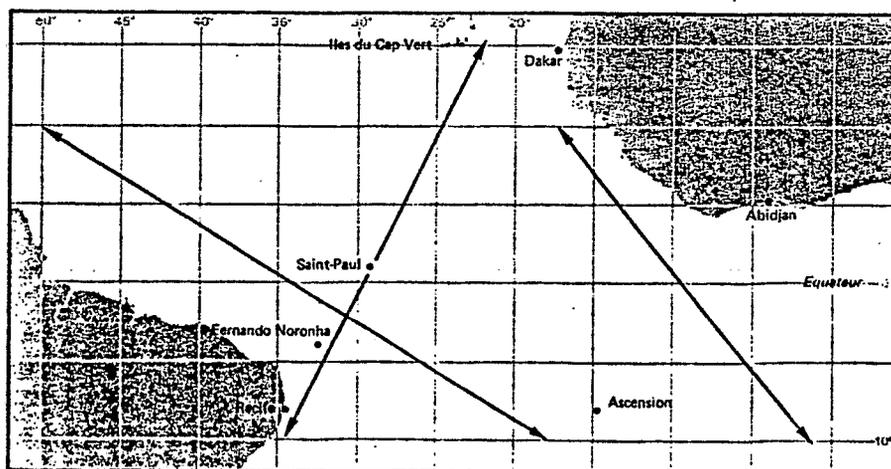
La figure 5 présente la position des lignes exploitées.

#### *Opération FOCAL-2: Observations du niveau moyen océanique par un réseau de marégraphes*

L'objectif sera l'étude de la variabilité saisonnière et interannuelle de la topographie dynamique de la surface océanique intertropicale.

Il a été démontré (Schroeder et Stommel, 1969; Wunsch, 1972, Wyrтки, 1979) que les fluctuations du niveau moyen (NM) de l'océan, sont fortement

1) C'est-à-dire de mesures de température en profondeur exécutées au moyen de sondes perdues.



C'est le "noyau dur" du programme; il concentrera une fraction importante des moyens et du personnel; son but est double:

Fig. 5 - Position des lignes de navires marchands où des mesures bathythermiques (procédé XBT) sont systématiques et entreprises depuis 1980 (la ligne Iles du Cap-vert - Récife ne débutera, cependant, que pendant l'année 1981).

corrélées aux hauteurs dynamiques calculées à partir du champ de masse. Les variations saisonnières et pluriannuelles de la structure thermique et des courants au sein de l'océan se marquent dans les variations de la topographie dynamique (TD) et dans les variations du NM. Les variations de NM constituent un indicateur des variations du contenu thermique des couches superficielles et du flux géostrophique de ces couches. Il est possible de surveiller les variations du flux géostrophique en observant en permanence les variations de NM de part et d'autre de chaque grand courant océanique (Wyrтки, 1974).

L'objectif à atteindre est d'assurer, au moindre coût, une veille permanente des flux thermiques de l'Atlantique intertropical par l'observation du NM.

Pour étudier des variations saisonnières et pluriannuelles, plusieurs années d'enregistrement sont nécessaires pour obtenir un "bon" NM de référence mensuel. Hors de la bande équatoriale 1° N - 1° S, les variations des flux géostrophiques (méridiens et zonaux observés par navires marchands et campagnes océanographiques) seront comparées aux variations de NM observées synoptiquement aux points d'un réseau de stations marégraphiques permanentes. Ces stations seront réparties de telle sorte que les grands courants de l'Atlantique intertropical entre 20° N et 20° S et 60° W et le continent africain puissent être suivis en permanence. Les îles semblent être les points d'observation tout désignés pour l'installation de marégraphes à flotteur.

#### *Observations systématiques expérimentales*

Ces observations se distinguent des précédentes par leur caractère pilote et expérimental. Elles sont destinées à la mise au point des observations routinières (monitoring). Elles ne dureront que le temps du programme.

*Opération FOCAL-3: Observations directes du champ de masse et du champ de courant par des campagnes océanographiques saisonnières et des mouillages profonds.*

a - obtenir une description de la variabilité saisonnière du champ de masse de la bande équatoriale;  
 b - obtenir des mesures directes du courant le long et à proximité de l'équateur où la circulation ne peut être déduite de l'observation du champ de masse et où une variabilité à plus haute fréquence affecte le signal saisonnier.

Deux types de plate-formes d'observation seront utilisées: navires océanographiques, mouillages profonds.

Quatre radiales méridiennes transéquatoriales sont proposées (figure 6). Les campagnes se terminent dans la zone brésilienne par la fermeture d'une "cage" à l'intérieur de laquelle le bilan thermique saisonnier peut être calculé.

Quatre campagnes par an sont envisagées (une campagne par saison), soit environ 160 jours de mer par an; au-dessous de quatre campagnes par an, il paraît illusoire d'envisager de décrire une variation saisonnière.

Ce calendrier doit être tenu au minimum pendant deux ans (1982-1983) pour éviter le risque d'observer un cycle annuel totalement anormal, comme ce fut le cas en 1963 (EQUALANT) ou en 1968 (absence d'upwelling estival).

Deux types de mouillages sont envisagés, correspondant à deux sous-objectifs particuliers:

a - des mouillages de subsurface dans la région située entre Récife et l'équateur (figure 7) pour étudier la variabilité et la cohérence spatio-temporelle du courant équatorial où l'intensité, l'épaisseur et les variations saisonnières de ce courant sont maximales; c'est aussi la région où se situe la source des ondes équatoriales piégées de type Kelvin qui se propagent en direction de l'est et qui sont dues aux variations saisonnières très marquées des alizés (figure 8). C'est enfin la région clé où s'effectue le partage des eaux entre les deux tourbillons subtropicaux nord et sud et où l'Atlantique sud alimente en chaleur l'Atlantique nord.

Ces flux thermiques transéquatoriaux ont des variations saisonnières très marquées comme en témoignent les variations saisonnières de la profondeur de la thermocline et du contenu thermique qui sont également maximum. Les variations inter-annuelles probables des flux de masse et de chaleur observées dans cette région peuvent être une des clés essentielles de la variabilité climatique inter-annuelle de l'ensemble de l'Atlantique nord et de ses rivages américains et européens, voire asiatiques (modèle de Marchuk).

Fig. 6 - Zone d'action du plan proposé pour les campagnes océanographiques saisonnières. Le plan pourra être modifié dans son détail en fonction des contraintes logistiques et budgétaires.

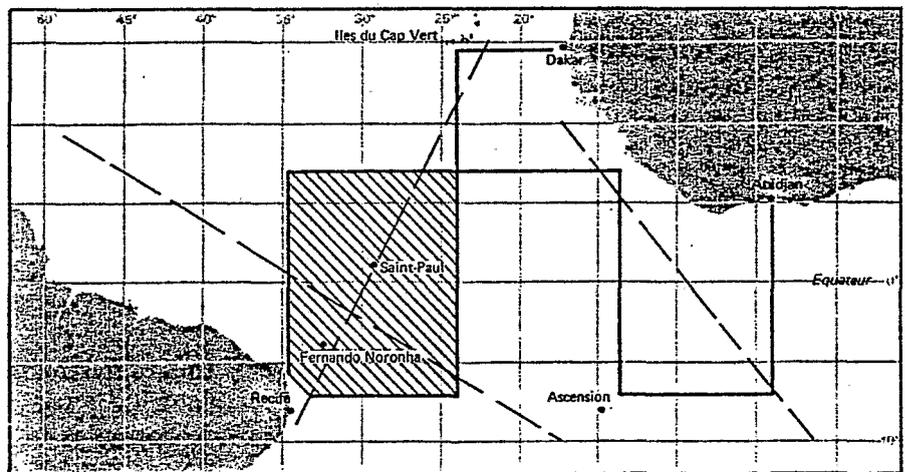
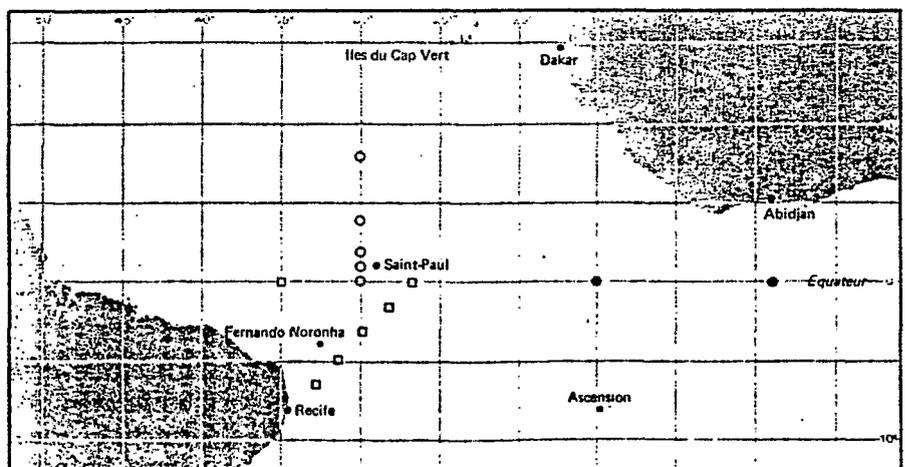


Fig. 7 - Position des mouillages liés aux programmes FOCAL (France) et SEQUAL (Etats-Unis).

- ⊗ surface (FOCAL)
- Subsurface (FOCAL)
- SEQUAL



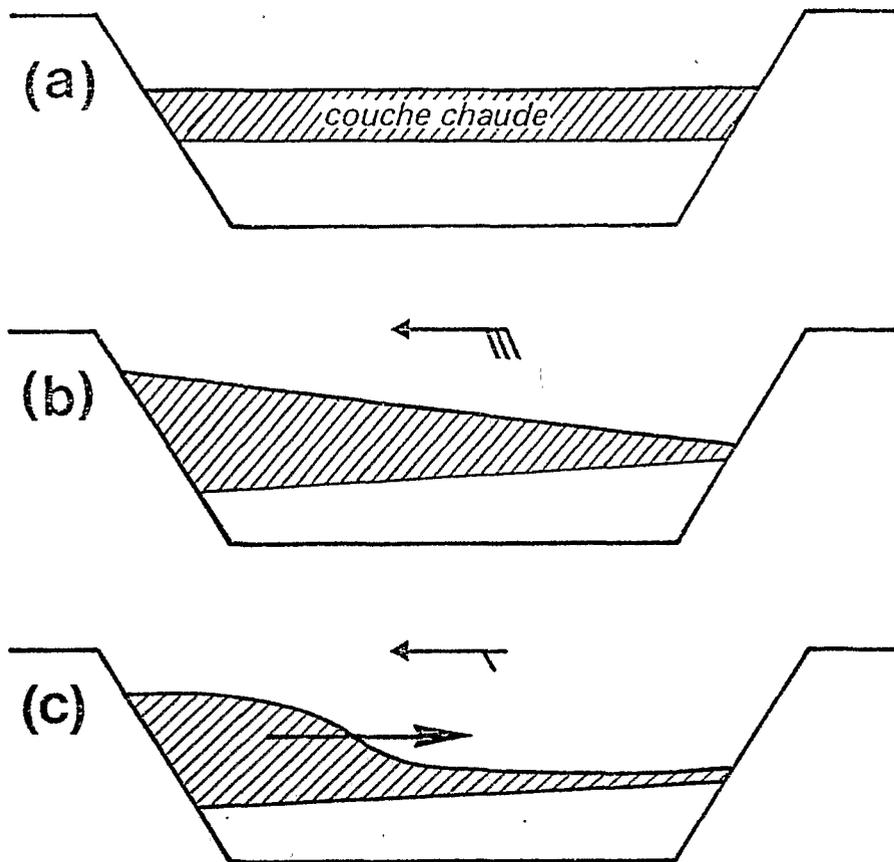


Fig. 8 - Schématisation en coupe de la réponse océanique à l'action atmosphérique.

a - hypothèse de l'absence complète d'alizés  
 - le niveau marin épouse le plan du géoïde;  
 - la couche chaude est régulièrement répartie.

b - alizés forts  
 - le niveau marin tend vers un équilibre comportant une pente ascendante Afrique-Amérique;  
 - la couche chaude s'amincit vers l'est, s'épaissit vers l'ouest.

c - alizés faibles  
 - le niveau marin tend vers l'équilibre du plan géoïde; une onde et une advection compensatrice se développent, dirigée vers l'Afrique.

Le processus, exposé ici d'une manière simpliste, implique, à partir du stade (c), le déclenchement d'une action de l'océan sur l'atmosphère (modification des transferts énergétiques, particulièrement dans la zone orientale).

b - des mouillages de surface le long de l'équateur (figure 7). Ces mouillages doivent permettre d'observer les variations de la pente zonale équatoriale et sont destinés à observer les ondes piégées par l'équateur (Kelvin). Ces ondes possèdent de fortes amplitudes et peuvent transporter horizontalement et verticalement des quantités d'énergie importante sur tout le bassin équatorial; certains les considèrent comme l'un des moteurs essentiels des phénomènes équatoriaux de grande échelle (de type "el niño") aux conséquences biologiques et climatiques locales considérables.

L'observation de la variation de la pente zonale équatoriale est, en elle-même, un indicateur précieux à la fois de l'état thermique et dynamique de la région équatoriale. Il semble que dans l'océan Atlantique, cette variation soit en phase avec la variation des alizés; cependant, la réponse océanique à la variation de pente, observée dans la zone orientale, indique un déphasage de quelques mois. Les variations de cette pente peuvent être brutales et montrer des périodicités à amplitudes fortes qui peuvent masquer l'observation du signal saisonnier. Il est donc nécessaire de mettre en place une observation continue de l'évolution de la couche barocline en quelques points du plan équatorial.

Notons enfin que des lâchers de bouées dérivantes "Babeth" équipés de chaînes à thermistances permettraient à la fois de tracer la circulation superficielle et de la caractériser thermiquement. Ces

observations seraient particulièrement précieuses dans la zone d'intense circulation le long de la côte nord brésilienne où les mouillages de subsurface ne permettront pas d'obtenir les champs thermiques et de courant entre la surface et 100 mètres.

En complément de ces actions d'observation, deux autres actions de recherches sont prévues.

#### Opération FOCAL-4: Etude théorique et modélisation du système de circulation équatoriale Atlantique

Un groupe de dynamiciens français s'associera à des équipes étrangères avec l'objectif de comprendre et de formuler la dynamique du système de circulation océanique équatorial par des modèles plus réalistes s'appuyant sur les observations obtenues. Ces considérations théoriques pourront d'ailleurs en retour conduire à améliorer la stratégie d'observation.

L'objectif de ce groupe de théoriciens français ne sera pas, du moins au début, de développer isolément des modèles nouveaux mais de participer à l'utilisation de modèles mis au point par les équipes étrangères.

#### Opération FOCAL-5: Analyse des données historiques

Cette étude, déjà entreprise, fera l'objet d'une action intense avec pour objectif d'obtenir la meilleure information possible sur la variabilité très basse fréquence (interannuelle) des paramètres superficiels

(vent-température de la mer en surface) associés au système de circulation équatorial atlantique.

Seules des séquences d'observation de plus de cinquante ans peuvent nous permettre de répondre partiellement, mais immédiatement, à des questions que les données nouvelles éclaireront beaucoup, mais seulement dans quelques années.

## COOPERATIONS INTERNATIONALES

Le contexte international a puissamment influencé les diverses propositions faites dans ce programme. Il est clair que le climat n'a pas de frontière, que les observations et les études à mettre en oeuvre pour en comprendre la dynamique doivent être globales et à l'échelle d'un océan au moins, qu'une coordination de l'effort des nations participant à ces études est nécessaire. Les organismes chargés de coordonner internationalement les activités météorologiques (OMM) et océaniques (SCOR - Scientific committee for oceanic research - dépendant de l'ICSU - International council for scientific Unions - et COI - Commission océanographique intergouvernementale) l'ont compris; l'OMM et l'ICSU mettent sur pied le WCRP (World Climate Research Programme).

Pour l'océanologie, le CCCO (Committee for Climatic Changes and Ocean), dépendant du SCOR et de la COI, a pour mission de coordonner les programmes d'étude du climat en relation avec l'océan. Cet effort de coordination s'est manifesté déjà par plusieurs réunions destinées à mettre en place des Pilot Ocean Monitoring Studies (POMS). L'une de celles-ci, NAPOMS (North Atlantic POMS) s'est tenue durant l'été 1980 en Angleterre; les principaux éléments du Programme y ont été présentés avec les programmes européens (allemands et anglais) et américains, sans que des conclusions claires concernant leur coordination aient pu être obtenues.

Ces tentatives d'organisations internationales au sommet reposent sur des initiatives nationales ou sur des propositions faites par des groupes de scientifiques appartenant aux nations développées, il n'est donc pas étonnant que les coopérations internationales concrètes, qui se dessinent dans les projets actuels et qui intéressent la première moitié de la décennie (1980-1985), soient avant tout bilatérales. On se situe, jusqu'en 1985, dans une phase préliminaire d'expériences pilotes qui serviront à mettre sur pied des expériences mondiales de grande envergure, faisant appel à des techniques nouvelles, et qui pourraient couvrir la deuxième moitié de la présente décennie et une partie de la suivante.

Le programme que nous présentons ici pour la période 1981-1983 s'inscrit naturellement dans le cadre de ces expériences pilotes. Les coopérations scientifiques que nous envisageons sont bilatérales et dirigées, avant tout, vers les Etats-Unis. Notre attention a été attirée par deux programmes américains importants:

- un programme appelé maintenant "Transport of heat in Atlantic water" dont l'idée directrice est de modéliser à l'échelle d'un océan (Atlantique), les flux thermiques méridiens transportés par l'océan au niveau d'un parallèle tropical (25° N) à travers lequel ces flux sont considérés comme maximum. Ce projet n'est pas définitivement adopté. Il est proposé par la NOAA; il fait partie des programmes de deuxième génération qui se développeront à partir du milieu de la décennie 1980. Ce programme attend des coopérations européennes et fait état déjà des programmes français;

- le deuxième programme auquel nous sommes encore plus directement associés est le programme SEQUAL (fréquemment cité dans ce document et dont nous avons déjà détaillé les points de coopération) qui regroupe une dizaine de chercheurs appartenant à divers instituts américains, avec pour objectif de mieux comprendre la physique de la circulation équatoriale atlantique et sa variabilité basse fréquence, saisonnière principalement. Au cours d'une récente réunion de planification de SEQUAL (juin 1980), les grands traits du programme français FOCAL ont été présentés.

Il est rapidement apparu que les deux programmes étaient étroitement complémentaires et se soutenaient mutuellement; le programme américain est axé sur l'étude des mécanismes et le développement de modèles rendant compte de la dynamique océanique équatoriale. Le programme français apporte l'essentiel des observations qui permettront d'étayer cette formulation de la physique océanique équatoriale.

D'autres coopérations étrangères sont envisagées: notamment avec les pays riverains de l'espace géographique du programme: le Sénégal, la Côte d'Ivoire et le Brésil.

Enfin, il est permis de penser qu'une coordination concrète des différents programmes des pays européens puisse se développer plus rapidement, conduisant à une étude intégrée et globale de l'Atlantique nord sous leadership européen.

Jacques Merle  
*Office de la recherche  
 scientifique et technique  
 outre-mer*

## Références

- Hastenrath S., Lamb P.J.,  
1978. "Heat-budget atlas of the tropical Atlantic and eastern Pacific ocean" - The University Wisconsin Press.
- Hastenrath S.,  
1980. "Heat budget of tropical ocean atmosphere" - J. of Phys. Oceanogr., 10, 2, 159-170.
- Schroeder et Stommel,  
1969. "How representative is the series of Panulirus stations of monthly mean conditions off Bermuda?" - Progress in oceanography, éd. M. Sears, pp 31-40.
- Vonder Haar T.H., Oort A.H.,  
1973. "New estimate of annual poleward energy transport by northern hemisphere oceans" - J. of Phys. Oceanogr., 3, 169-172.
- Wunsch, C.,  
1972. "Bermuda sea level in relation to tides, weather, and baroclinic fluctuations" - Rev. Geophys. Space Phys. 10, n° 1, 49 pp.
- Wyrтки, K.,  
1979. "Sea level variations: monitoring the breath of the Pacific EOS" - vol 60, 27-30.
- Wyrтки, K.,  
1974. "Equatorial currents in the Pacific 1950 to 1970 and their relations to the trade winds" - J. of Phys. Oceanogr., 4, 372-380.
- Wyrтки, K.,  
1978. "Monitoring the strength of equatorial currents from XBT sections and sea level" - J. of Geophys. Research. 83, 4, 1935-1940.