

SÃO TOME ET PRINCIPE



Environnement climatique et océanique

Bernard BOURLES
juillet 2003



**INSTITUT DE RECHERCHE
POUR LE DÉVELOPPEMENT**
(anciennement ORSTOM)

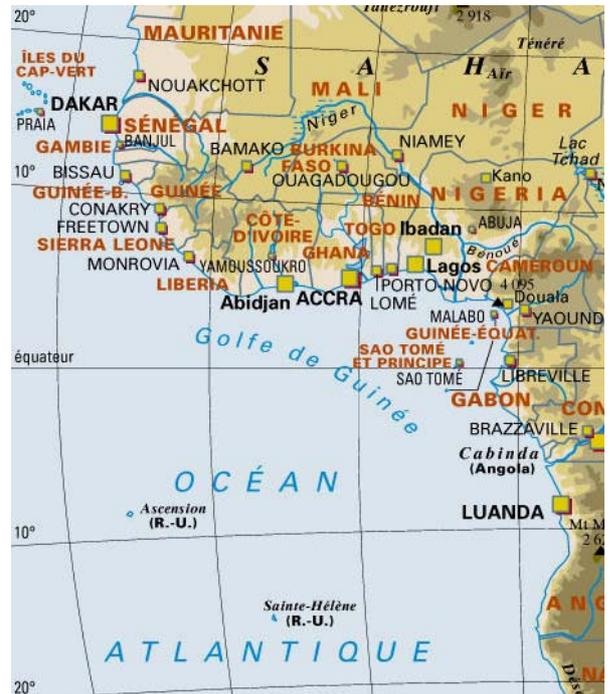
SÃO TOME ET PRINCIPE

Environnement climatique et océanique

Introduction :

Les îles de la République de São Tomé et Príncipe sont situées dans la partie orientale de l'océan Atlantique Equatorial, appelée Golfe de Guinée, sur l'équateur (l'île das Rolas, au sud de São Tomé, se trouve exactement sur l'équateur) vers 6°E de longitude, soit à 300 km environ au large des côtes du Gabon. Les îles de São Tomé et de Príncipe possèdent un relief montagneux, vestige de leur origine volcanique, pouvant culminer à plus de 2000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Ainsi, elles sont d'un intérêt stratégique fondamental pour les études climatiques en Atlantique équatorial, pour le suivi du niveau de la mer et pour les études météorologiques et océanographiques liées à la compréhension de la mousson africaine.



Nous allons tenter d'expliquer dans cette note les conditions climatiques qui sont rencontrées à São Tomé et Príncipe ainsi que les raisons de leurs variations temporelles.

De par leur impact sur le régime des pluies et sur la température des eaux océaniques environnantes, ces variations climatiques influent en effet sur les ressources agricoles et halieutiques et donc sur l'économie du pays.

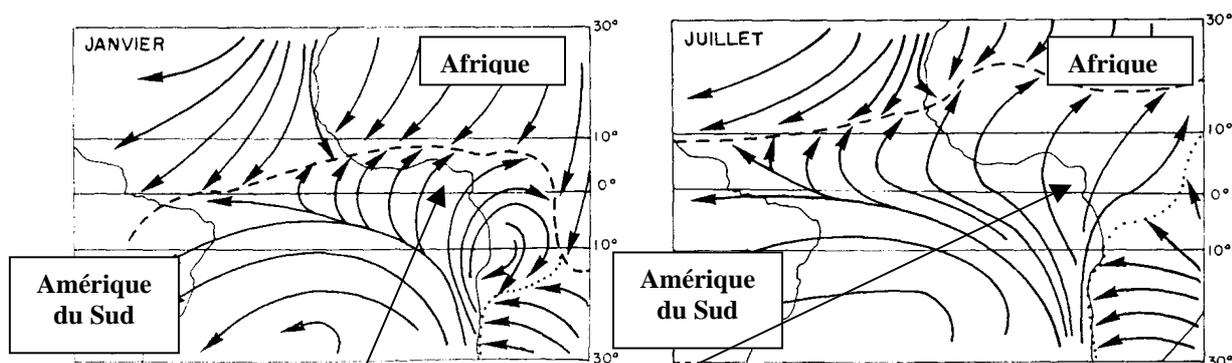
Le "climat" équatorial. Le cas de l'Atlantique Equatorial et de Sao Tomé.

Les régions équatoriales sont celles de la planète qui reçoivent le plus d'énergie thermique incidente du soleil, les rayons incidents étant perpendiculaires à la surface du sol. Les régions équatoriales sont donc les plus chaudes du globe, et constituent en quelque sorte le réservoir de chaleur de la planète. Les régions polaires quant à elles, sont celles qui reçoivent le moins d'énergie, et sont donc les plus froides. La chaleur ne reste pas bloquée dans les régions équatoriales, les températures y seraient alors insupportables. Elle est redistribuée vers les plus hautes latitudes par l'intermédiaire de l'atmosphère, via les vents, et de l'océan, via les courants marins.

En zone tropicale, les vents, en raison du sens de la rotation de la terre autour de son axe, sont en moyenne orientés d'est en ouest, et sont appelés « alizés ». La zone de convergence entre les alizés de l'hémisphère nord et ceux de l'hémisphère sud est appelée Zone Intertropicale de Convergence des Alizés (ZICA), dont la position en latitude dépend essentiellement des saisons.

Sur l'Atlantique Tropical, en hiver boréal (décembre-janvier) la ZICA est située entre l'équateur (à l'ouest) et 10°N (à l'est) alors qu'en été boréal (juillet-août), lorsque le soleil est au zénith au niveau du tropique du Cancer (23°27'N), elle est située entre 10°N (à l'ouest du bassin) et 20°N (à l'est). Cette dissymétrie nord/sud est essentiellement liée à l'existence et à la géométrie des continents. Ainsi, on appelle souvent la zone située aux alentours de la ZICA l'équateur météorologique, par opposition à l'équateur géographique.

Sur la figure ci-dessous, nous pouvons constater que la direction dominante des vents change notablement de l'ouest du bassin, où ils sont surtout orientés vers l'ouest, en allant vers l'est, où ils sont surtout orientés vers le nord.



Schémas de la circulation et le Golfe de Guinée, La ZICA (ou

circulation pour les

atmosphérique moyenne (ou vent) dans l'Atlantique équatorial mois de janvier (à gauche) et juillet (à droite). "équateur météorologique" est représentée en tirets.

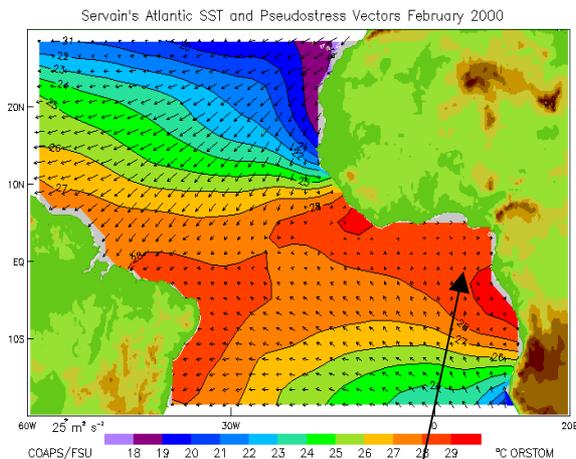
A São Tomé et Príncipe, les vents sont donc principalement orientés vers le nord-est en janvier et vers le nord-ouest en juillet.

Ils sont également légèrement plus forts en été qu'en hiver.

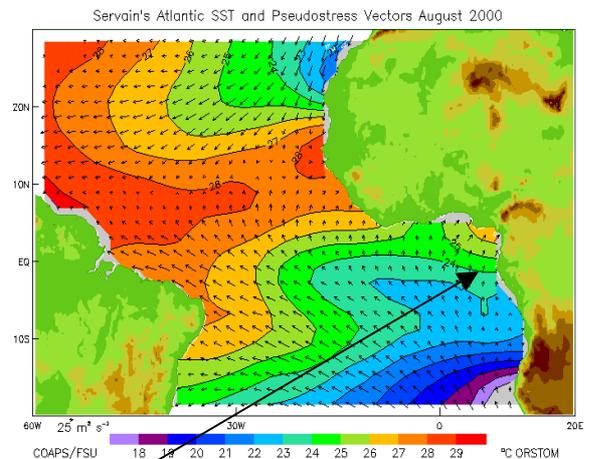
La circulation atmosphérique a des conséquences fondamentales sur la circulation océanique et sur les précipitations. En effet, l'air, en se déplaçant, va par frottement exercer une force d'entraînement de l'eau à la surface de l'océan, et ainsi générer des courants. Ces courants sont, en première approximation, dans le sens du vent.

En Atlantique Tropical, les eaux sont entraînées de l'est vers l'ouest dans la partie centrale et ouest du bassin, où elles vont avoir tendance à s'accumuler, puisque le continent américain les bloque, avant de s'échapper vers les plus hautes latitudes le long de ce continent. En juillet-août, les vents sont plus forts et sont également orientés en partie vers l'ouest dans le Golfe de Guinée.

L'entraînement vers l'ouest et l'accumulation d'eau chaude dans l'ouest du bassin vont être plus forts en juillet-août et, par compensation (ou par simple conservation de la masse, sinon le bassin se "viderait"), induire dans la partie est du bassin et le Golfe de Guinée un remplacement des eaux de surface par des eaux plus profondes (et donc plus froides puisque les eaux profondes ne sont pas directement chauffées par le rayonnement solaire de surface). Ainsi, on observe une forte variation de la température de surface de la mer dans le Golfe de Guinée entre les saisons. Ces remontées d'eaux froides vers la surface de l'océan s'appellent "upwellings".



Température de surface de la mer en Atlantique tropicale et dans le Golfe de Guinée, telle qu'elle a été observée pendant les mois de février (à gauche) et d'août (à droite). Les couleurs foncées, la température est supérieure à 27°C). Les



mer en Atlantique tropicale et dans le Golfe observée pendant les mois de février (à gauche) couleurs représentent la température (en violet-bleu inférieure à 20°C; en rouge à rouge foncé, la température vents sont également représentés par des flèches.

Ainsi, **à São Tomé et Príncipe**, la température de surface de la mer varie entre des maxima supérieurs à 28°C en hiver et des minima de l'ordre de 24°C en été, soit des écarts saisonniers pouvant être supérieurs à 4°C. Nous verrons par la suite que ces variations saisonnières peuvent aussi fluctuer d'une année à l'autre.

Les eaux froides sont plus riches en éléments nutritifs, favorisant la production primaire (plantes microscopiques appelées phytoplancton) qui peut alimenter les premiers organismes vivants de la chaîne alimentaire (le zooplancton) alimentant à leur tour les poissons. Ainsi, les ressources halieutiques favorables pour la pêche sont maximales entre mai et octobre dans le Golfe de Guinée, lorsque les eaux froides y sont présentes.

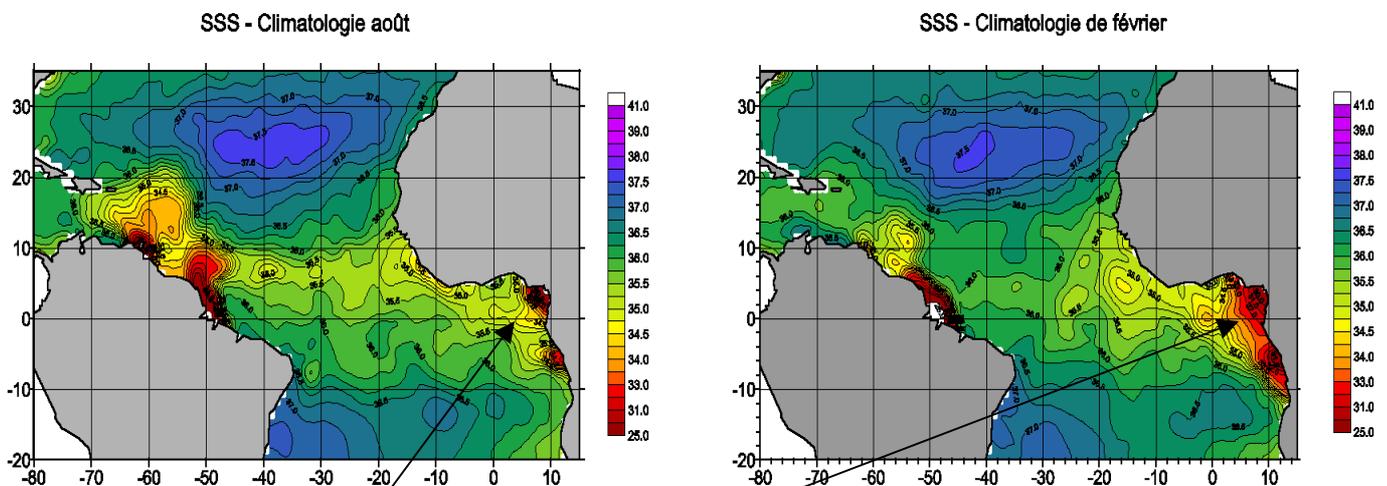
Comme il est en contact avec la surface océanique, l'air se charge en en vapeur d'eau en conséquence de l'évaporation. C'est cet air humide qui, une fois qu'il rencontre en s'élevant en altitude des températures suffisamment fraîches pour que la vapeur d'eau se condense sous la forme de nuages, va constituer la source des pluies. Les vents entraînent donc de l'air humide qui s'humidifie de plus en plus au cours de son transport, le vent étant un des moteurs de l'évaporation. Dès qu'un relief va être rencontré (sur le continent ou sur une île), la masse d'air humide va s'élever en altitude favorisant ainsi la formation des nuages et les précipitations.

A São Tomé, les vents dominants viennent du sud. La partie sud de l'île (au sud du relief) est donc beaucoup plus "arrosée" et plus humide que la partie nord ; les variations de pluviométrie entre le sud et le nord sont en effet extrêmes, passant de 7000 mm par an dans le sud-ouest à 2000 mm par an dans le nord-ouest. Ainsi s'explique l'existence de paysages verdoyants dans le sud et sur les reliefs, alors que l'on rencontre de la forêt sèche et de la savane au nord de l'île.

L'évaporation est aussi conditionnée par la température de la surface de la mer, et est plus importante lorsque les eaux sont chaudes. Ainsi, les plus fortes précipitations sont rencontrées en décembre-janvier, lorsque les eaux sont chaudes, et au sud-ouest de l'île, lorsque les vents viennent du sud-ouest.

Le sel caractérise l'eau de mer, et la salinité constitue une des particularités des océans. La salinité de surface des océans varie en fonction de plusieurs paramètres. La salinité augmente en présence d'une forte évaporation dans les régions chaudes, et diminue en toute logique en présence de tout apport d'eau douce, qui peut se faire soit par les précipitations (pluies) soit par les apports fluviaux à proximité des continents.

En Atlantique Tropical, on voit sur les Figures ci-dessous en bleu les eaux très salées (plus de 37.5 grammes de sel par kilogramme d'eau), dans les régions subtropicales situées vers 25° de latitude, et en jaune-rouge les eaux peu salées, à l'ouest au large du continent américain (influence des fleuves Amazone et Orénoque) et à l'est dans le Golfe de Guinée, dans la Baie du Biafra et au large du Congo-Zaïre. Les eaux douces rencontrées dans la Baie du Biafra sont dues aux décharges du fleuve Niger mais surtout aux très fortes précipitations qui s'y produisent.



Salinité moyenne de Guinée, pour les représent la salinité est

la surface de la mer en Atlantique tropical et dans le Golfe des mois de d'août (à gauche) et de février (à droite). Les couleurs salinité (en bleu foncé, la salinité est supérieure à 37.5; en rouge, la inférieure à 30, voire 25).

São Tomé se trouve sous l'influence d'eaux relativement peu salées, notamment de décembre à février, lorsque les précipitations sont les plus importantes et que la décharge du fleuve Congo-Zaïre est maximale.

La salinité et la température conditionnent la densité des eaux. Une eau froide est plus dense qu'une eau chaude, et une eau salée est également plus dense qu'une eau douce. La variation de ces deux paramètres va donc conditionner la densité des eaux, et les variations de densité d'une région à l'autre de l'océan vont également générer des courants; ce sont les courants dit "thermohalins", par opposition aux courants de surface principalement dus au vent, appelés "courants d'Ekman".

En présence d'eaux très dessalées en surface, comme c'est le cas dans l'est du Golfe de Guinée en raison de la décharge du fleuve Congo-Zaïre et des fortes précipitations, les eaux de surface sont beaucoup plus légères que les eaux sous-jacentes, ce qui peut avoir pour conséquence de concentrer davantage la chaleur issue directement du rayonnement solaire et de réagir plus vite aux changements du vent.

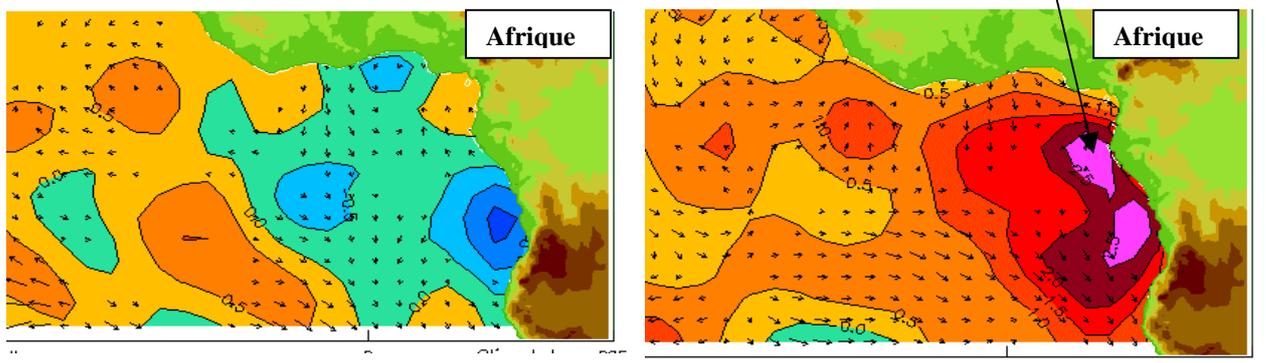
La variabilité climatique dans le Golfe de Guinée et à São Tomé

Les descriptions ci-dessus expliquent les grands mécanismes qui expliquent les conditions moyennes saisonnières rencontrées dans le Golfe de Guinée et à São Tomé. Cependant, ces conditions peuvent varier considérablement d'une année à l'autre, et contribuer à de véritables catastrophes sociologiques et économiques pour les pays avoisinants.

Ainsi, comme cela est illustré sur les Figures ci-dessous, les eaux étaient particulièrement froides en août 1983 dans le Golfe de Guinée ; la Mousson Africaine était alors très active (fortes précipitations sur le Sahel).

Au contraire, l'année 1984 a été caractérisée par la présence d'eaux très chaudes dans le Golfe de Guinée, et les eaux étaient plus chaudes de plus de 2,5°C **autour de Sao Tomé et Principe** par rapport aux années moyennes. Ces eaux chaudes étaient associées à de faibles vents, et donc l'air humide et les précipitations n'étaient pas entraînés vers le continent et au contraire ont stagné au-dessus du Golfe de Guinée.

Cette année là, les pluies ont donc été très fortes sur le Golfe de Guinée et sur São Tomé en particulier.



Anomalies (écarts par rapport à la moyenne climatologique) de la température de surface de la mer en Atlantique tropicale et dans le Golfe de Guinée, telle qu'elles ont été observées pendant les mois d'août 1983 (à gauche) et d'août 1984 (à droite). Les couleurs représentent les anomalies de températures (en bleu et bleu foncé, anomalies froides supérieures à 1°C; en rouge à rouge foncé, anomalies chaudes supérieures à 1°C -jusqu'à 2.5°C en rose-). Les anomalies de vents sont également représentées par des flèches.

De telles anomalies ont également des conséquences dramatiques pour les pays situés le long de la côte sud-ouest de l'Afrique (du Golfe de Guinée à la Namibie). En effet, la présence d'eaux anormalement chaudes empêche le renouvellement des ressources halieutiques et est donc fortement préjudiciable aux activités économiques liées à la pêche.

Toutes ces variations liées à la circulation océanique et aux conditions de température de surface de la mer et de vent ont également une signature à travers le niveau de la mer, qui est plus élevé lors d'événements chauds suite à la dilatation des couches supérieures de l'océan.

Programmes scientifiques

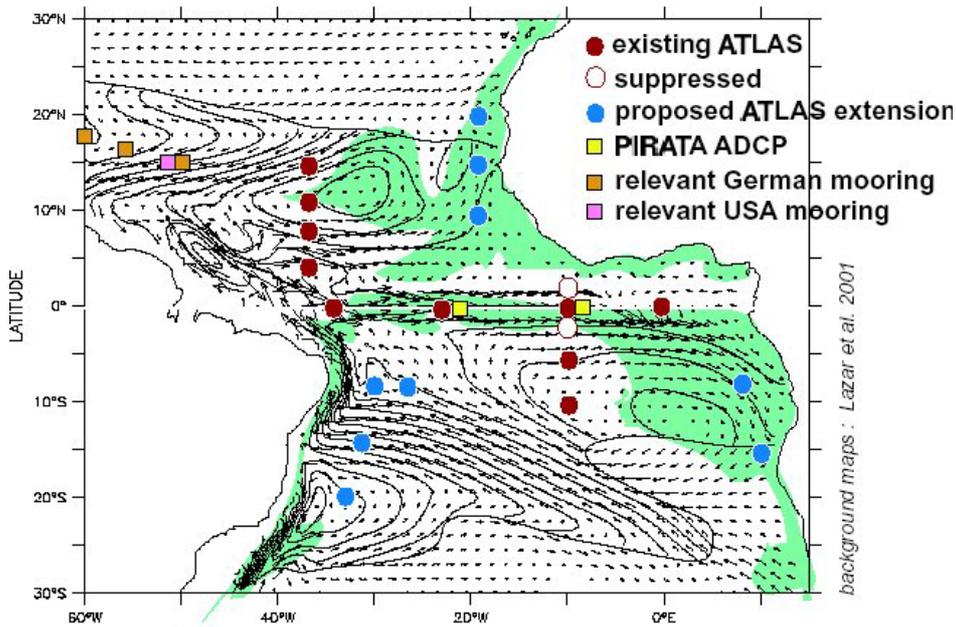
La compréhension des processus qui régissent les conditions atmosphériques et océaniques qui affectent le climat et sa variabilité est un des défis majeurs que s'est lancé la communauté scientifique internationale depuis quelques décennies. L'enjeu principal est de parvenir à prédire l'évolution climatique (à l'échelle du jour aux décennies à venir), afin notamment de mieux gérer les ressources naturelles, l'industrie et l'environnement, ce qui est capital pour les organisations économiques et sociétales.

Le programme international CLIVAR (Climate Variability and Predictability) a été initialisé en 1995 dans ce but. Ce programme devrait durer jusqu'en 2010. Il permet de fédérer des équipes de scientifiques sur de nombreux thèmes précis liés au climat, et de faire le lien avec d'autres programmes utilisant différentes approches, techniques et outils de mesures pour appréhender l'atmosphère et l'océan.

C'est principalement dans ce cadre que plusieurs organismes français de recherche, à savoir l'IRD (ex ORSTOM), le CNRS, Météo-France, l'IFREMER et le CNES, soutenus par le Ministère des Affaires Etrangères, ont initié dès 2001 un grand programme sur la Mousson de l'Afrique de l'Ouest, appelé AMMA (Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine). Ce régime de mousson affecte non seulement toute la région de l'Afrique subsaharienne mais aussi tous les pays situés sur le pourtour du Golfe de Guinée. Ce programme regroupant des chimistes et des physiciens spécialistes de l'atmosphère, des surfaces continentales, des eaux douces et de l'océan, implique également de plus en plus d'autres organismes de recherche d'autres pays, non seulement occidentaux (européens et nord américains) mais aussi et surtout africains, qui peuvent communiquer via le réseau AMMANET (tous les détails de ce programme sont disponibles sur le site internet: <http://medias.obs-mip.fr/amma/>).

Dans le cadre d'AMMA, un programme plus spécifique à l'océan a été développé, appelé EGEE (Etude de la circulation océanique et de sa variabilité dans le Golfe de Guinée). **C'est dans le cadre de ce programme qu'une station météorologique va être installée à São Tomé.** Il est en effet très important pour comprendre la dynamique de la circulation atmosphérique, océanique et des échanges à l'interface air-mer de disposer de mesures de différents paramètres sur de longues durées. Il existe pour cela depuis 1997 un réseau de bouées "ATLAS" (mesurant divers paramètres océaniques et météorologiques) qui a été déployé en Atlantique Tropical dans le cadre du programme PIRATA, comme cela est illustré sur la figure ci-dessous. Le long de l'équateur, les bouées sont essentiellement présentes dans la partie centrale et ouest du bassin, et aucune bouée n'est présente au fond du Golfe de Guinée.

Comme cela a été explicité précédemment, le vent est un des moteurs de la circulation océanique, conditionne les remontées d'eaux froides en surface le long de l'équateur et le long des côtes ainsi que l'apport d'humidité sur les îles et le continent. Il est donc important de disposer de mesures tout le long de l'équateur, et donc également de mesures météorologiques plus vers l'est. L'emplacement de l'île das Rolas, située au sud de São Tomé et juste sur l'équateur, est donc idéal pour obtenir de telles mesures. De plus, elle est située au sud du relief de l'île; les vents venant en moyenne principalement du sud, les mesures ne seront pas perturbées par le relief (effet orographique) et, comme la station sera installée près du niveau de la mer (à 12m d'altitude environ), elles pourront être utilisées pour estimer les échanges de flux à l'interface air-mer. La station météorologique qui sera implantée sur l'île das Rolas en automne 2003 est également montrée sur la photographie ci-dessous.



Carte de l'océan Atlantique Tropical indiquant l'emplacement actuel et prévu de différents dispositifs de mesures océanographiques et météorologiques. Les bouées "ATLAS" du programme PIRATA actuellement en place sont représentées par des points rouges; les bouées prévues d'être déployées dans les années à venir sont représentées en bleu. Les autres symboles (carrés roses et oranges, à l'ouest du bassin) représentent les emplacements de mouillages profonds mesurant les courants océaniques. Les flèches représentent les courants moyens vers 100m de profondeur, et les zones représentées en vert sont celles où sont observées en surface des remontées d'eaux profondes et froides (zones d'upwelling).



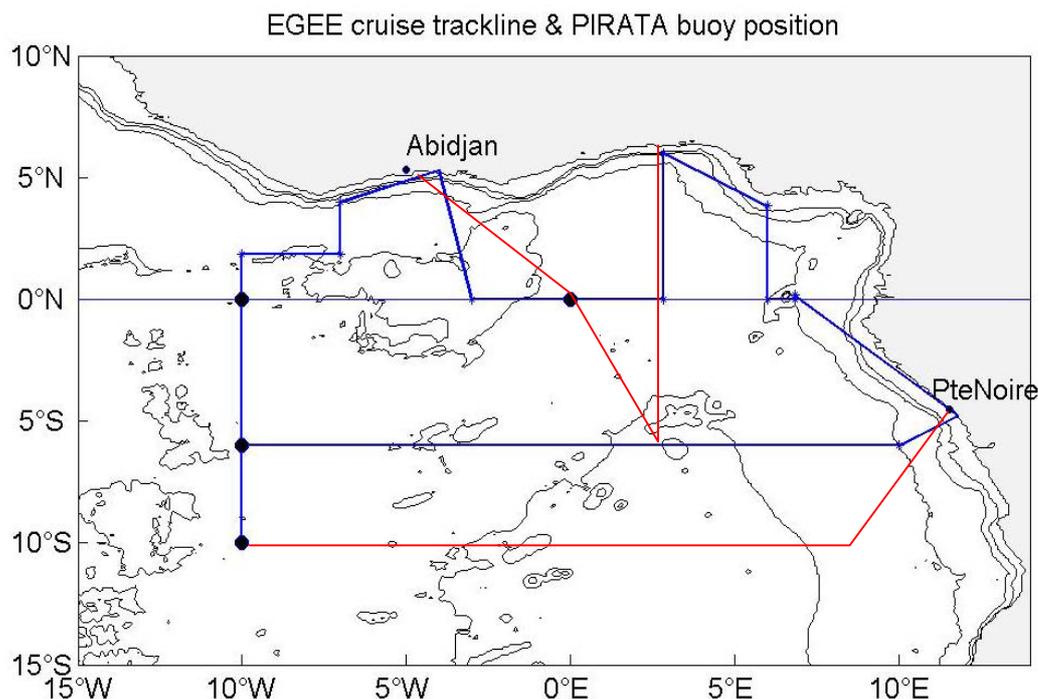
Photo de la station météorologique qui sera implantée sur l'île das Rolas à São Tomé. La photo a été prise le 25 juin 2003 au centre IRD de Bretagne pendant la phase de tests. On peut distinguer une girouette en haut (en forme d'avion) permettant de mesurer la direction et l'intensité du vent. A gauche, on peut observer un capteur de rayonnement solaire, de température et d'humidité et à droite un pluviomètre. Un émetteur Argos permet de transmettre les mesures en temps réel par satellite. Un panneau solaire, devant en bleu, permet d'alimenter en partie les besoins en énergie des systèmes de mesure. Les mesures sont également stockées sur une mémoire interne, disposée, ainsi que des batteries, dans le boîtier situé en bas de la station.

Le programme EGEE va permettre également d'effectuer des campagnes de mesure en mer, à raison de deux campagnes par an pendant trois ans (2005-2007). Le parcours de ces campagnes est représenté sur la figure ci-dessous. Elles permettront de visiter et de maintenir pendant la durée du programme AMMA les bouées ATLAS du réseau PIRATA.

Pendant ces campagnes, de nombreux paramètres physiques et chimiques seront mesurés, afin de comprendre principalement:

- la circulation océanique et sa variabilité saisonnière (deux campagnes par an) à interannuelle (pendant trois années successives),
- les échanges de chaleur et d'humidité entre l'océan et l'atmosphère qui conditionnent en partie l'intensité de la mousson africaine,
- l'absorption du gaz carbonique (paramètre fondamental pour les études liées à l'augmentation de l'effet de serre responsable du réchauffement observé à la surface de la terre) par l'océan dans cette région particulière. Ces campagnes dureront environ un mois chacune.

Des escales pourraient être organisées à São Tomé dans la mesure du possible.



*Parcours prévu des campagnes EGEE
(les lignes en bleu et en rouge représentent les deux alternatives de routes possibles).
Les points noirs représentent les positions des bouées PIRATA.*

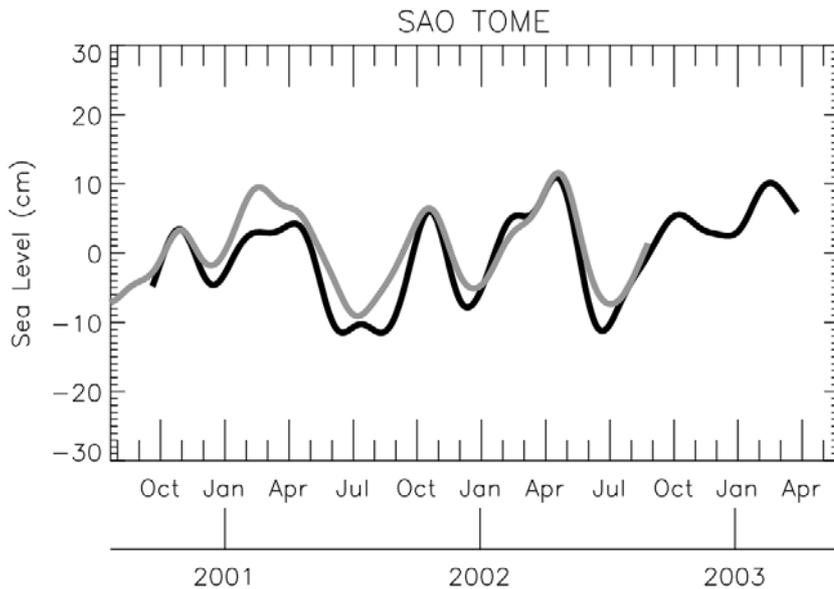
Enfin, nous avons vu que la circulation océanique et les variations de la température à la surface de l'océan pouvaient être observées à partir du niveau de la mer. Ce niveau est maintenant accessible sur l'ensemble de la surface des océans grâce aux satellites, qui permettent des mesures de la hauteur de la surface de la mer avec une précision centimétrique. Cependant, les mesures des satellites doivent être régulièrement corrigées et vérifiées par des mesures effectuées sur place, à l'aide d'appareils, appelés marégraphes, permettant de calculer la hauteur d'eau en un point donné. **Pour cela, un marégraphe est en place depuis de nombreuses années au port de São Tomé.** Ce marégraphe, présenté sur la photographie ci-dessous, a été mis en place en 1989 par l'IRD (alors ORSTOM) dans le cadre du programme TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere 1985-1994), puis maintenu dans le cadre des programmes WOCE (World Ocean Circulation Experiment 1991-1997) puis CLIVAR.



Photo d'un marégraphe.

Cet appareil consiste en un boîtier étanche d'environ 50cm de haut, contenant un capteur de pression ainsi, généralement, qu'un capteur de température. Il peut aussi être équipé d'un capteur de salinité. Cet appareil est posé et fixé sur le fond, et la pression mesurée dépend directement de la hauteur d'eau au-dessus de l'appareil. Les mesures sont enregistrées dans une mémoire numérique située dans le corps de l'appareil, mais peuvent aussi être expédiées par satellite lorsque le marégraphe est relié à l'aide d'un câble à une station ARGOS située à proximité.

L'utilisation des mesures satellitaires nécessite une haute précision des mesures et donc la connaissance la plus précise possible du positionnement de l'appareil est nécessaire. C'est pour cela qu'en décembre 2002 le marégraphe a été installé avec une grande précision à l'aide d'un repère géodésique fondamental, lui-même mis en place exactement par rapport au système de référence mondial (positionnement par le système GPS). Ceci est fait en grande partie dans le cadre du programme international GLOSS (Global Sea Level Observing System) dont le but est principalement de surveiller le niveau de la mer à l'échelle du globe. Les mesures des anomalies du niveau de la mer obtenues à São Tomé d'août 2001 à mai 2003 sont représentées sur la Figure ci-dessous, et sont superposées au niveau de la mer obtenu par les appareils de mesure du niveau de la mer installés sur le satellite TOPEX-POSEIDON. Elles permettent notamment, en indiquant la bonne correspondance entre les deux types de mesure, de les comparer et ainsi de les valider, ce qui est indispensable pour leur attribuer une certaine confiance. Par exemple, elles montrent des anomalies négatives (donc un niveau de la mer plus bas par rapport à la moyenne annuelle climatologique) en été 2001 et 2002, ce qui reflète la présence d'eaux plus fraîches associées aux "upwellings" pendant cette période de l'année. On peut ainsi constater que les eaux plus fraîches (caractérisées par des anomalies négatives) ont été présentes plus longtemps en été 2001 (de juin à septembre) qu'en été 2002 (en juin-juillet), et que le réchauffement (caractérisé par des anomalies positives) a été plus intense en avril-mai 2002 qu'à la même période en 2001.



Anomalies de la hauteur de la surface de la mer à l'île de São Tomé mesurées par le marégraphe (en trait noir) et par le satellite Topex/Poseidon (en trait gris).

La collaboration et les interactions effectives entre les équipes impliquées dans AMMA et sa composante océanographique EGEE (et plus généralement dans CLIVAR) et les organismes concernés et intéressés à São Tomé et Príncipe, et notamment la Direction des Pêches, la Météorologie Nationale et l'association MARAPA, sont donc indispensables pour obtenir des mesures de qualité nécessaires pour le bon déroulement et le bon achèvement de ces programmes internationaux. Ces programmes devraient aboutir à une meilleure compréhension, et donc à une approche plus réaliste, des problèmes liés au climat, aux ressources naturelles et à l'environnement en Afrique de l'ouest en général et aux abords du Golfe de Guinée en particulier.

Note rédigée en Juillet 2003 par Bernard BOURLES, océanographe physicien à l'IRD, responsable du programme EGEE (volet océanographique du programme AMMA), membre des Comités scientifiques AMMA, PIRATA, PATOM, OPCB et du groupe scientifique CORIOLIS. Contact: Bernard BOURLES, IRD/LEGOS, Centre IRD de Bretagne, BP 70, 29280 Plouzané, France tel.: 33 2 98 22 46 65; fax: 33 2 98 22 45 14; e-mail: bourles@ird.fr