

CONVENTIONS  
SCIENCES DE LA MER  
OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE

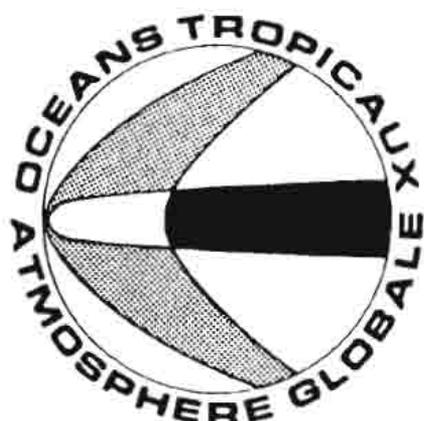
N° 3

1992

Automatisation de la mesure de la température  
et de la salinité de surface aux stations côtières  
et sur les navires du réseau d'observation dans  
l'Océan Pacifique tropical

Christian HENIN  
Jacques GRELET

*Groupe SURTROPAC*



Rapport final CORDET

CONVENTIONS  
SCIENCES DE LA MER  
OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE

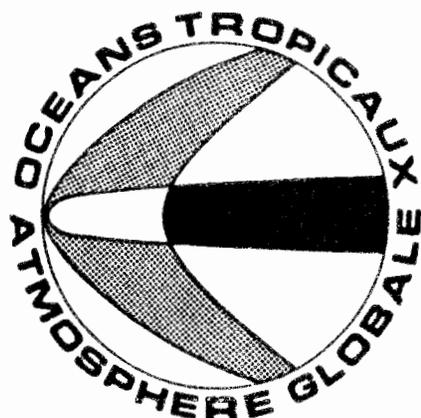
N° 3

1992

Automatisation de la mesure de la température  
et de la salinité de surface aux stations côtières  
et sur les navires du réseau d'observation dans  
l'Océan Pacifique tropical

Christian HENIN  
Jacques GRELET

*Groupe SURTROPAC*



Rapport final CORDET

L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

CENTRE DE NOUMÉA

ORSTOM

no 36667

**CONVENTIONS**  
**SCIENCES DE LA MER**  
**OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE**

**N° 3**

**1992**

**Automatisation de la mesure de la température  
et de la salinité de surface aux stations côtières  
et sur les navires du réseau d'observation dans l'Océan  
Pacifique tropical**

**Christian HENIN  
Jacques GRELET**

**Rapport final CORDET**

**ORSTOM**

**L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION**

**CENTRE DE NOUMÉA**

## Rapport CORDET

### *Automatisation de la mesure de la température et de la salinité de surface aux stations cotières et sur les navires du réseau d'observation dans l'océan Pacifique tropical.*

par

Christian Hénin, Jacques Grelet

Groupe Surtropac

Centre ORSTOM de Nouméa

### Situation du sujet:

Les recherches sur les oscillations atmosphériques à basse fréquence et à échelle planétaire montrent que l'origine de ces fluctuations climatiques est à rechercher dans les variations de température des océans tropicaux.

De par ses dimensions c'est l'océan Pacifique qui est le siège des interactions les plus déterminantes. On peut citer en particulier le phénomène El Nino lié à l'oscillation australe dont l'index est fonction de la différence de pression atmosphérique au niveau de la mer entre Darwin (Australie du nord) ou Jakarta (Indonésie) et L'Ile de Paques ou Tahiti (Polynésie Française). Depuis quelques années on considère également le phénomène inverse surnommé La Nina. Ces phénomènes climatiques improprement considérés comme des dérèglements ont eu des répercussions catastrophiques (cyclones tropicaux, inondations, sécheresses) non seulement dans le Pacifique tropical mais dans des régions éloignées telles que l'Amérique du nord, le Sahel, le sertao brésilien et même l'Europe.

Afin de simuler et mieux de prévoir la circulation atmosphérique, des modèles numériques de circulation sont actuellement en phase de développement. Ils demandent de nombreuses observations entre autres de la température de surface de la mer, paramètre capital régissant les processus d'échanges entre l'océan et l'atmosphère. D'autre part la salinité superficielle, longtemps considérée comme négligeable se révèle être un paramètre clé au niveau des échanges océan-atmosphère par le biais de l'évaporation et des précipitations et conditionnant ces échanges. Ce paramètre est également sensible à l'advection océanique.

Les études de Hires et Montgomery(1972), de Donguy et Hénin(1978), Kessler et Taft(1987) , et Rochford(1977 ont montré l'importance de la température et de la salinité de surface pour la caractérisation des structures océaniques et pour l'étude de leur variabilité en zone intertropicale du Pacifique.

Delcroix et Hénin(1989) en regroupant les observations de surface de la température et de la salinité le long de lignes de navigation du réseau de navires marchands Surtropac mis en place par Donguy et Hénin en 1969 ont associé la distribution de la salinité à celle des précipitations entre l'Australie et la Polynésie Française et aux déplacements de la zone de convergence des vents du Pacifique sud. Ces études portent sur la période 1979-1985 et traitent tout particulièrement de l'année 1982-83 pendant laquelle le phénomène El Nino a été très marqué et a eu pour spectaculaire conséquence le développement de cyclones tropicaux qui ont ravagé la Polynésie Française occasionnant des dégâts très importants. Le signal en salinité a été très marqué puisqu'égal à plus de 5 fois le signal annuel moyen.

Un des objectifs du programme international TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere) est d'ailleurs de développer un réseau d'observations océaniques et météorologiques et de transmission de ces données en temps réel.

Au sein de ce programme TOGA le sous programme COARE (Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment) se réalise actuellement dans la partie ouest de l'océan Pacifique Equatorial, plus particulièrement axé sur l'effet des couches superficielles homogènes en température distincte de celle homogène en salinité et qui ont des effets très marqués sur les échanges océan-atmosphère dans cette région qui est considérée comme la chaudière de la machine thermique planétaire.

C'est dire l'importance que l'on attache à ces deux paramètres océaniques de surface: température et salinité.

Des observations océaniques systématiques ont été organisées par les offices météorologiques et océanographiques depuis quelques décennies. On peut citer:

-les mesures faites par les officiers navigants (température et échantillonnage de surface pour la mesure de la salinité, température de l'air sec et humide, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent, nébulosité etc...)

- les mesures de température et de salinité aux stations côtières
- les mesures du niveau de la mer par marégraphes. Le niveau marin dépend entre autres de la distribution des courants océaniques et de la structure thermique des masses d'eaux. L'influence de l'effet de serre dû à la déperdition de la couche d'ozone, favorisant une augmentation générale de la température de la mer peut avoir pour conséquence une élévation générale du niveau moyen mettant en péril de nombreuses populations côtières et insulaires surtout dans les atolls situés au niveau de la mer.
- les mesures des courants marins par des bouées dérivantes et des mouillages de courantomètres.
- les mesures de la distribution verticale de la température par des chaînes à thermistances mouillées par grands fonds.

Alors que les mesures du niveau marin, des courants et de la distribution verticale de la température ont été automatisées depuis quelques années en des points fixes, les mesures de température et de salinité sur les navires de commerce et en des stations cotières étaient toujours manuelles et assez imprécise.

L'objet de cette convention CORDET est justement d'améliorer en zone tropicale la qualité et la quantité d'observations de la SST et SSS par une automatisation incontournable à partir du centre ORSTOM de Nouméa.

### **Déroulement des opérations**

La convention CORDET n°90-352 PAC a permis d'atteindre les objectifs espérés pour les deux volets considérés:

- 1-l'automatisation à bord des navires de commerce
- 2-l'automatisation d'une station côtière

## A/ Navires de commerce:

### Situation actuelle du sujet:

L'ORSTOM, depuis 1969, sous l'impulsion de Donguy et Hénin a organisé depuis les centres de Nouméa en Nlle Calédonie et Papeete en Polynésie Française puis du Havre en France, l'observation systématique dans les trois océans Pacifique, Atlantique et Indien, de la température et de la salinité superficielle à bord de navires de commerce au moyen de seaux météorologiques. L'officier de quart prélève 4 à 6 fois par jour à l'aide d'un seau calorifugé muni d'un thermomètre un échantillon d'eau de mer de surface. La température est repérée sur le pont, le seau étant remonté jusqu'à la passerelle qui peut être très haute au dessus de la surface marine (jusqu'à 25-30 mètres). La mesure peut alors être erronée en raison des processus thermiques qui interviennent et qui sont mal connus (refroidissement par évaporation, réchauffement solaire en fonction de la température de l'air, couverture nuageuse, effet du vent réel et du vent apparent (les navires filant souvent à 18-20 noeuds) On doit bien entendu tenir compte de l'imprécision du thermomètre qui est fourni avec une certaine correction d'étalonnage qui est souvent hélas ignorée. On estime cette imprécision à environ 0,2 à 0,3 °C.

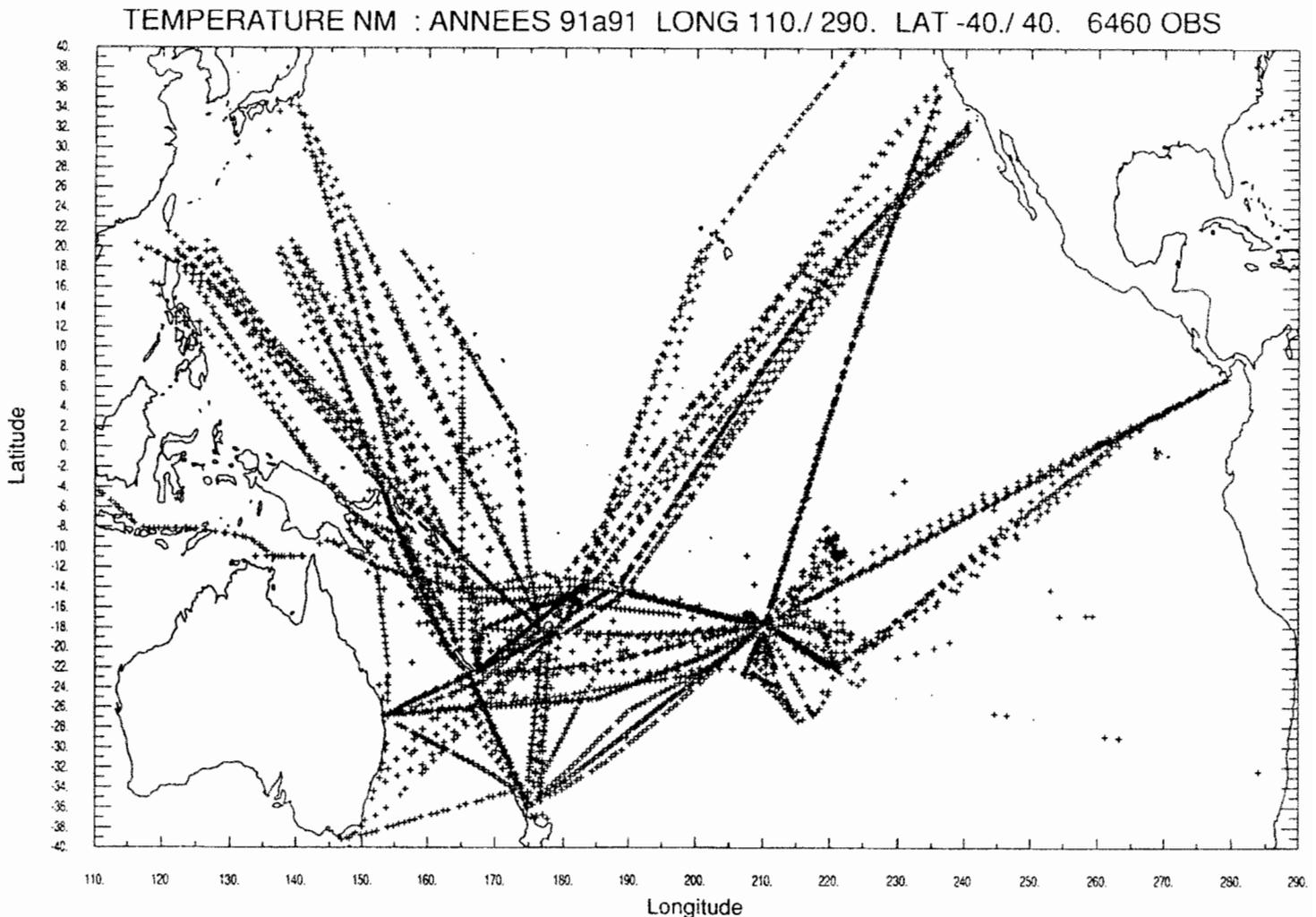


Fig 1: Observations de surface du réseau SURTROPAC. Année 1991

L'échantillon d'eau de mer est alors mis en flacon étanche qui sera analysé plus tard au centre de Nouméa, de Papeete ou du Havre lorsque le navire y fait escale. Sur certaines lignes les navires font escale tous les 4 mois et la conservation des échantillons est primordiale. L'évaporation là encore intervient et les estimations actuelles nous conduisent à une précision de la mesure de la salinité pas meilleure que 0,1 usp (unité de salinité standard).

On doit ajouter que cette technique archaïque est de plus en plus difficile à mettre en oeuvre en raison de la difficulté physique de la mesure. Prélever au seau météo avec un seau météo depuis la passerelle sur des navires filant 15-20 noeuds relève souvent de l'exploit sportif!.... Si l'on ajoute à cela la réduction des personnels navigants dans la plupart des compagnies de navigation et l'apparition d'appareils automatiques sur les navires pour de nombreuses autres mesures on comprend aisément que cette technique dépassée et donnant des résultats relativement peu précis devait être améliorée.

Certains réseaux d'observations de surface ont fait un effort pour la mesure automatique de la température mais ne comportent pas de mesure de la salinité en raison des difficultés rencontrées. C'est pourquoi malgré l'imprécision actuelle des mesures, la banque de données ORSTOM-Pacifique de la température et de la salinité de surface sur une période de 23 ans maintenant est particulièrement appréciée car elle est la seule donnant ces deux paramètres sur une période de temps aussi longue. Les positions des mesures réalisées pendant l'année 1991 (6460 observations) ont été reportées sur la figure 1.

L'automatisation de la mesure T et S est maintenant nécessaire pour les raisons ci avant exposées: meilleure précision, simplification et multiplication des mesures.

### **Principe et difficultés de l'installation**

Après une prospection des différents types de matériels notre choix s'est porté sur du matériel SeaBird (SBE-21), les données étant enregistrées sur un PC portable à la passerelle et dans un avenir que nous espérons proche elles pourront être traitées à bord et transmises en temps quasi réel par le système Argos..

La description complète du système est faite dans la publication de Grelet et al (1992) en complément de ce rapport.

Nous devons préciser que l'installation n'a été rendue possible que grâce à la coopération très efficace des différents officiers navigants et grâce tout particulièrement aux officiers mécaniciens qui ont tous bénévolement accepté de modifier certains systèmes afin d'adapter notre appareil sur le circuit de refroidissement d'eau de la machine. Cela a nécessité des travaux pendant l'escale souvent trop courte dans le port de Nouméa. Nous avons ainsi du, pour certain cas, embarquer en mer pour l'installation et la mise au point définitive du matériel.

Pour le positionnement il s'est avéré que la position entrée au clavier par l'officier navigant toutes les deux heures était souvent trop contraignante et nous avons alors porté notre choix sur un système de positionnement satellite autonome dont les prix deviennent très attractifs

L'installation est schématisée en figure 2

Le programme d'acquisition est écrit en langage C par B.Buisson et J.Grelet (1992). Les programmes de gestion et de traitement ont été mis au point sur station SUN par MJ Langlade et C. Hénin

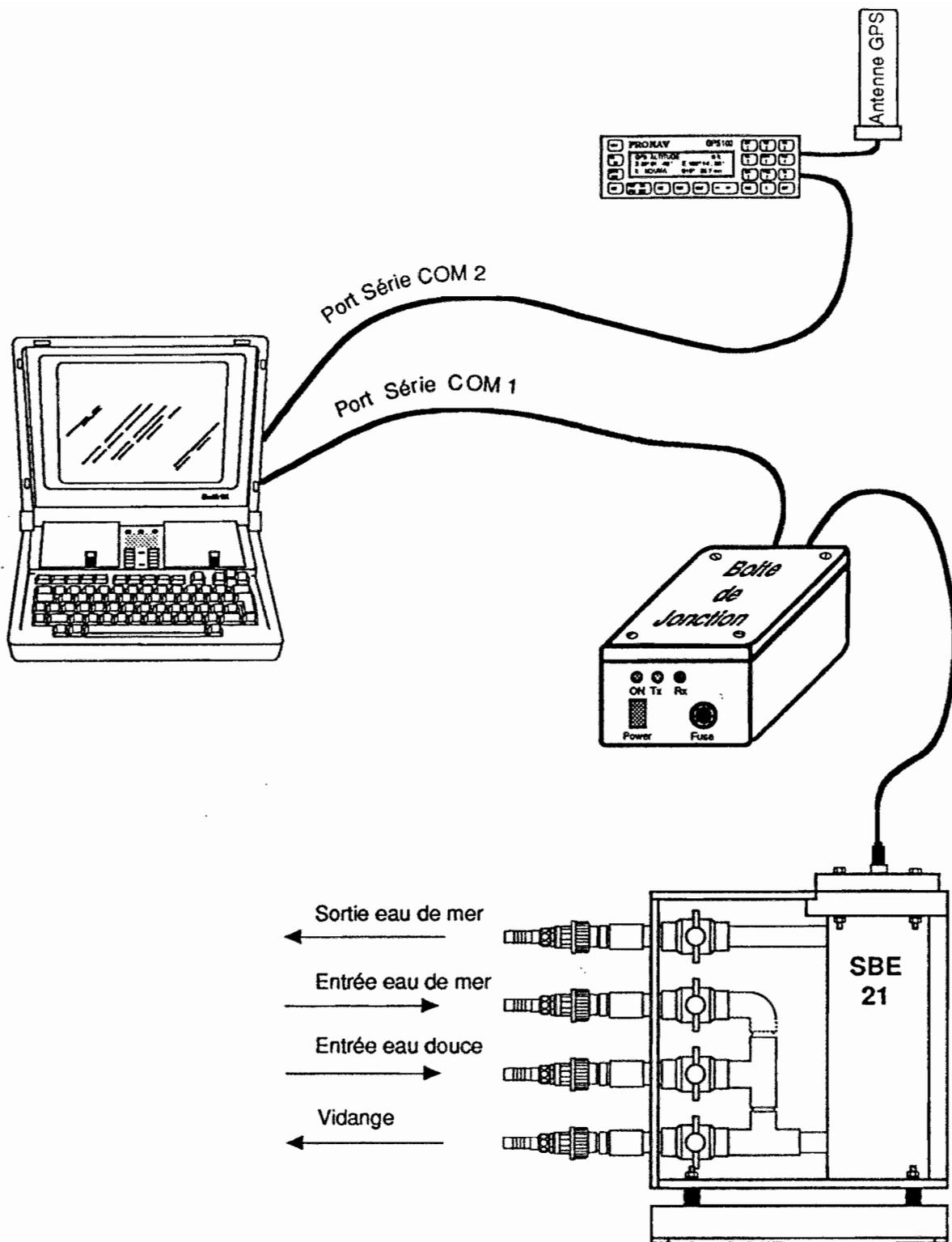


Fig 2: Installation du thermosalinographe et du système de positionnement. Enregistrement sur PC avec 2 ports série.

### Essais, précision:

C'est au cours de campagnes océanographiques du Groupe Surtropac à bord de navires de recherches Alis, Le Suroit et Le Noroit que nous avons pu mettre au point le nouveau système.

Des mesures au thermosalinographe, au seau météo et à la sonde ctd ont permis lors de quatre différentes campagnes océanographiques en 1991 et 1992 de tester la précision des mesures. Le long des rails 156°E et 165°E dans le Pacifique intertropical ouest nous avons pu comparer à la fois la précision de la technique du thermosalinographe Sbe21 et celle du seau météo.

<u>Campagne</u>	<u>SST seau</u>	<u>SST Sbe21</u>	<u>SSS seau</u>	<u>SSS Sbe21</u>
Surtropac 14	16	64	13	64
Surtropac 15	64	61	64	64
Coare 01		33		33
Coare 02	72	72	72	72

*Table 1: Nombre d'observations*

A chaque station océanographique une mesure à la sonde CTD calibrée et servant de référence est faite en surface, une mesure au seau météo est réalisée, le thermosalinographe fonctionnant en continu. Signalons que la mesure au seau météo se fait dans les premiers décimètres au dessous de la surface, que la mesure à la sonde ctd se fait en général vers 2-3 mètres de profondeur alors que la prise d'eau du circuit de refroidissement de la machine est située à 4 mètres sous la surface et que l'eau est amenée au niveau du pont principal où se fait la mesure au thermosalinomètre Sbe21. Sur le plan méthodologique il y a donc à ce stade des différences sensibles.

	<b>ctd-seau</b>		<b>ctd-sbe21</b>	
<u>Température</u>	moy	ec type	moy	ec type
Su14	-0,162	0,220	-0,169	0,125
Su15	0,595	0,483	-0,204	0,103
Coa-1			-0,192	0,046
Coa-2	-0,126	0,343	-0,302	0,081
<u>Salinité</u>	moyenne	ec type	moyenne	ec Type
Su-14	-0,130	0,192	0,023	0,024
Su-15	0,066	0,097	0,000	0,022
Coa-1			0,025	0,022
Coa-2	-0,097	0,091	0,017	0,011

*Table 2: Statistique des écarts en température et en salinité entre la sonde ctd et le seau d'une part étendre la sonde ctd et le thermosalinometre d'autre part.*

De ce tableau il est manifeste que la nouvelle technique de mesure automatique améliore très sensiblement la précision de la mesure de salinité de surface mais aussi celle de la température de surface effectuée au seau. La figure 3 montrant la dispersion des écarts de température et de salinité observés au cours de la campagne Coare 2 est spectaculaire.

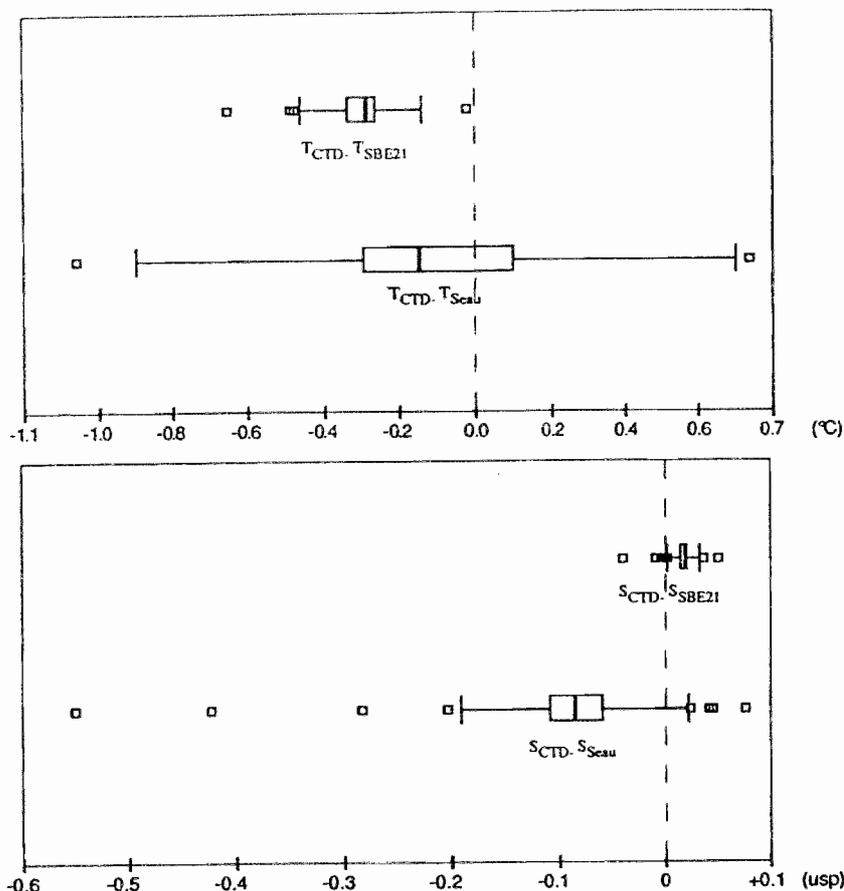


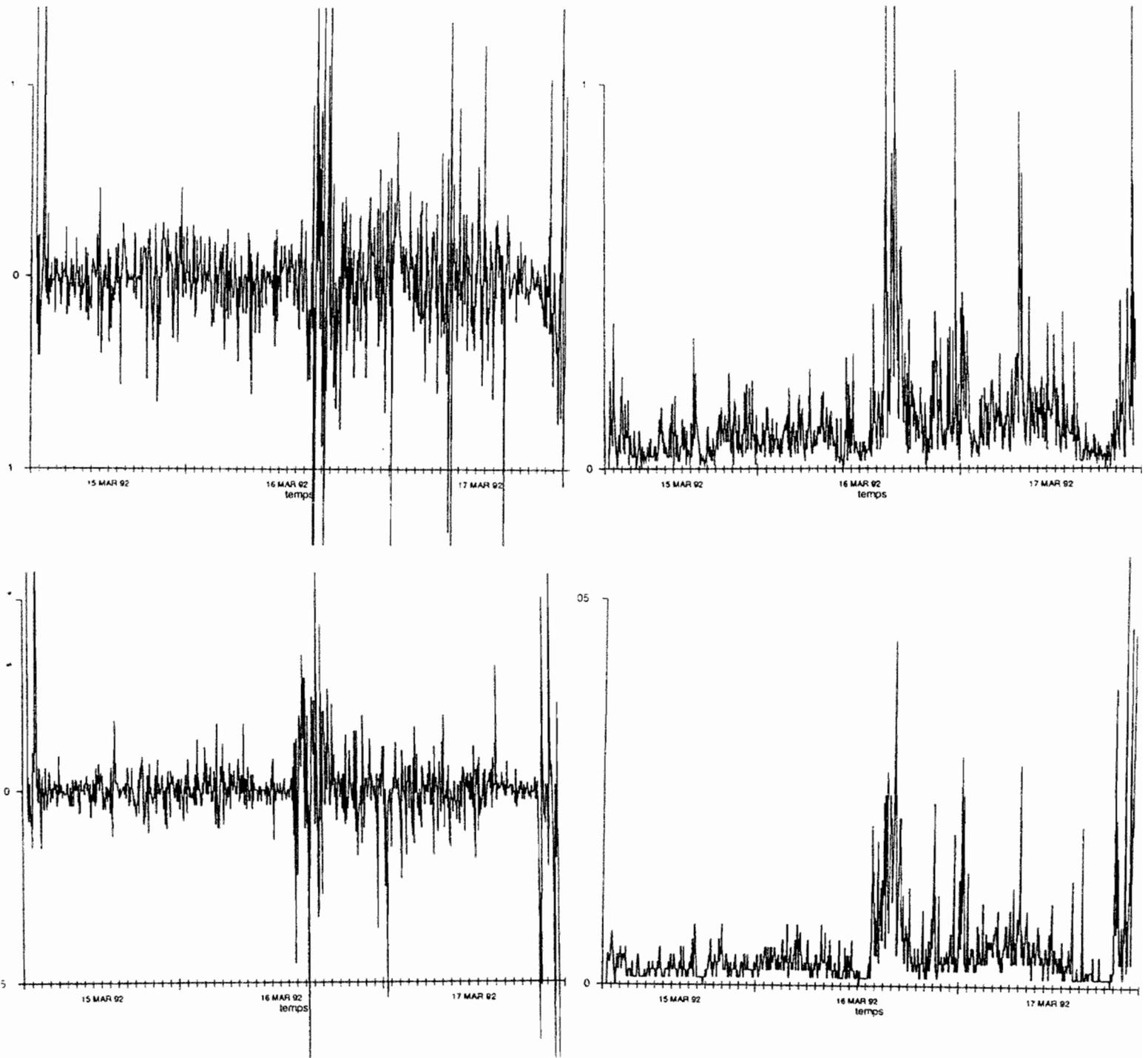
Fig 3. Boîtes à moustaches: comparaisons des prélèvements de surface (médiane, boîte contenant 50% des données, moustaches égales à 1,5 fois la largeur de la boîte)

On doit également noter qu'à bord d'un navire de commerce la mesure au seau est certainement encore moins bonne qu'à bord d'un navire de recherche aux dimensions plus réduites et plus lent.

On note que les mesures de température au seau dépendent certainement du thermomètre météorologique utilisé. Celui ci est interchangeable d'une campagne à une autre et peut également évoluer au cours de la période d'utilisation. La correction signalée sur le certificat d'étalonnage du thermomètre seau est souvent négligée par l'observateur. Etant bien entendu que la sonde Ctd est bien étalonnée avant et après chaque campagne et sert ainsi de référence nous voyons que l'erreur peut être de  $+0,60^{\circ}\text{C}$  (Surtropac15) à  $-0,13^{\circ}\text{C}$  (Coare02) pour le seau alors que l'erreur de la Sbe21 ne varie que de  $-0,20^{\circ}\text{C}$  (Surtropac15) à  $-0,30^{\circ}\text{C}$  (Coare02). De même la dispersion des mesures diffère, l'écart type étant bien plus faible pour la Sbe21 ( $0,08$  à  $0,10^{\circ}\text{C}$ ) que pour le seau ( $0,34$  à  $0,48^{\circ}\text{C}$ ).

La salinité est également moins bien mesurée par la technique du seau que par celle du salinmètre automatique. L'écart est relativement faible avec la Sbe21 (compris entre  $0,000$  et  $0,025$ ) alors que pour le seau il varie d'une campagne à une autre de  $-0,130$  et  $+0,666$ .

Là encore la dispersion des mesures est bien meilleure pour la Sbe21 (écart type de  $0,011$  à  $0,024$ ) que pour le seau (écart type de  $0,097$  à  $0,192$ ).



*Fig 4: Evolution dans le temps: a)  $\sigma_i - tM$ , b) écart type de la température échantillonnée toutes les 15 secondes pendant 5 minutes c)  $S_i - SM$  d) écart type de la salinité échantillonnée toutes les 15 secondes pendant 5 minutes*

### Amélioration de la qualité des mesures:

Au cours de la campagne Coare 156-2 en février -mars 1992 nous avons amélioré très sensiblement la qualité des mesures en échantillonnant à un rythme plus intensif (10 ou 20 secondes) et nous avons toutes les 5 minutes fait une comparaison entre 1) la valeur moyenne des 20 à 25 mesures réalisées, 2) la valeur médiane, 3) une valeur instantanée toutes les 5 minutes. Ces trois valeurs ont été alors enregistrées ainsi d'ailleurs que l'écart type des 24 valeurs échantillonnées au rythme de 1 toutes les 15 secondes. Cet échantillonnage a été réalisé pendant 62 heures dans le sud-ouest Pacifique en mer du corail. Au total 744 enregistrements ont été réalisés et une statistique représentative a pu être établie. Les écarts entre les températures et les salinités moyennes, médianes et instantanées ainsi que les écarts types toutes les 15 secondes pendant 5 minutes sont présentées fig 4.

<u>Température(°C)</u>	moyenne	écart type
tm-tM	0,0002	0,0063
ti-tM	-0,0009	0,0386
Ect T	0,0129	0,0205
<u>Salinité (usp)</u>		
Sm-SM	-0,0001	0,0023
Si-SM	-0,0003	0,0126
Ect S	0,0045	0,0073

*Table 3: moyenne et écart type des différences en température (t) et salinité (S) entre les valeurs médianes (M), moyenne (m) et instantanées (i) et l'écart type.*

La table comme les graphes en fonction du temps sont particulièrement explicites et montrent à l'évidence la bonne représentativité de la médiane par rapport à la moyenne. La technique de la médiane permet de retirer les pics parasites. L'écart type est en moyenne de l'ordre de 0,013 °C en température et de 0,005 en salinité. Ce qui explique la très faible différence entre la température (salinité) moyenne et la température (salinité) médiane.

La valeur médiane aussi bien en température qu'en salinité sera ainsi choisie à l'avenir à la place de la valeur instantanée. L'écart type des différences entre les valeurs instantanées et les valeurs médianes sont supérieures à l'écart type des mesures instantanées réalisées pendant 5 minutes (0,0386°C contre 0,0205°C en température et 0,0126 usp contre 0,0073 usp en salinité).

On peut ainsi considérer qu'on améliore d'un facteur au moins égal à 5 la précision des mesures de salinité et de température en prenant la valeur médiane sur 24 valeurs plutôt que la valeur instantanée toutes les 5 minutes.

La version du logiciel d'acquisition utilisé à compter du mois de mai 1992 tient compte de cette amélioration.

### Calibration annuelle:

Nous avons, en routine, échantillonné une fois par jour l'eau du circuit au niveau du thermosalinometre Sbe21 et comparé aux mesures enregistrées. Pour un voyage trans

océanique entre le Japon et la Nlle Zélande (aller et retour), par exemple, 30 échantillons environ permettent d'apprécier le fonctionnement de l'appareil pendant le mois de mesure

Il ressort de cette étude que la recalibration annuelle est tout à fait nécessaire Elle présente quelques inconvénient en particulier l'obligation d'expedier les capteurs en Etats Unis chaque année et ainsi d'avoir un système de mesure supplémentaire mais la précision est à ce prix. Chaque groupe de recherche océanographique pour ses propres appareils de mesures océanographique sdoit faire de même pour être assuré d'avoir des mesures convenables.

### **Mesures réalisées depuis le debut des opérations:**

Nous avons depuis le début des opérations réalisé avec ce système, des enregistrements le long de plusieurs rails de navigation dans le Pacifique Ouest et au cours de campagnes océanographiques. Les fichiers obtenus sont résumés tableau 4.

Au total depuis un an et demi trois navires de commerce et deux navires océanographiques ont permis de mettre au point ce nouveau système de mesures automatiques.de surface.

Au total 15 voyages ont été réalisés dans le cadre de cette surveillance thermohaline superficielle représentant 88325 observations en général espacées de 2 à 5 minutes ce qui pour des navires de commerce filant 15-20 noeuds et des navires de recherche filant 10 noeuds représente une observation environ tous les 0,33 milles à 1,5 milles. Quatre navires de commerce et de recherche ont participé à cette collecte automatique de données. Il s'agit du TAS Mariner, du TAS Voyager de la Tasman Asia Shipping Line et des N.O. Le Noroit et Le Suroit de l'IFREMER. Un cinquième navire , le Pacific Islander entre le Japon, la Nlle Calédonie et la Polynésie Francaise, a été équipé en avril 1992. De plus le N.O. Alis de l'ORSTOM a été équipé sur fonds ORSTOM propres de ce même système au cours de l'année 1991.

Voyage	début	fin	nbre observations
mari9001	01-11-90	04-12-90	5180
mari9002	18-12-90	30-12-90	3258
mari9101	02-01-91	18-02-91	5109
nor9101	08-02-91	06-03-91	7135
nor9102	11-03-91	06-04-91	6622
mari9102	01-03-91	03-05-91	7813
mari9103	02-05-91	03-08-91	6791
nor9104	18-07-91	14-08-91	17417
nor9105	20-08-91	15-09-91	5990
suro8901	03-12-89	27-12-89	5061
voya9101	11-12-91	13-12-91	721

observations sbe21

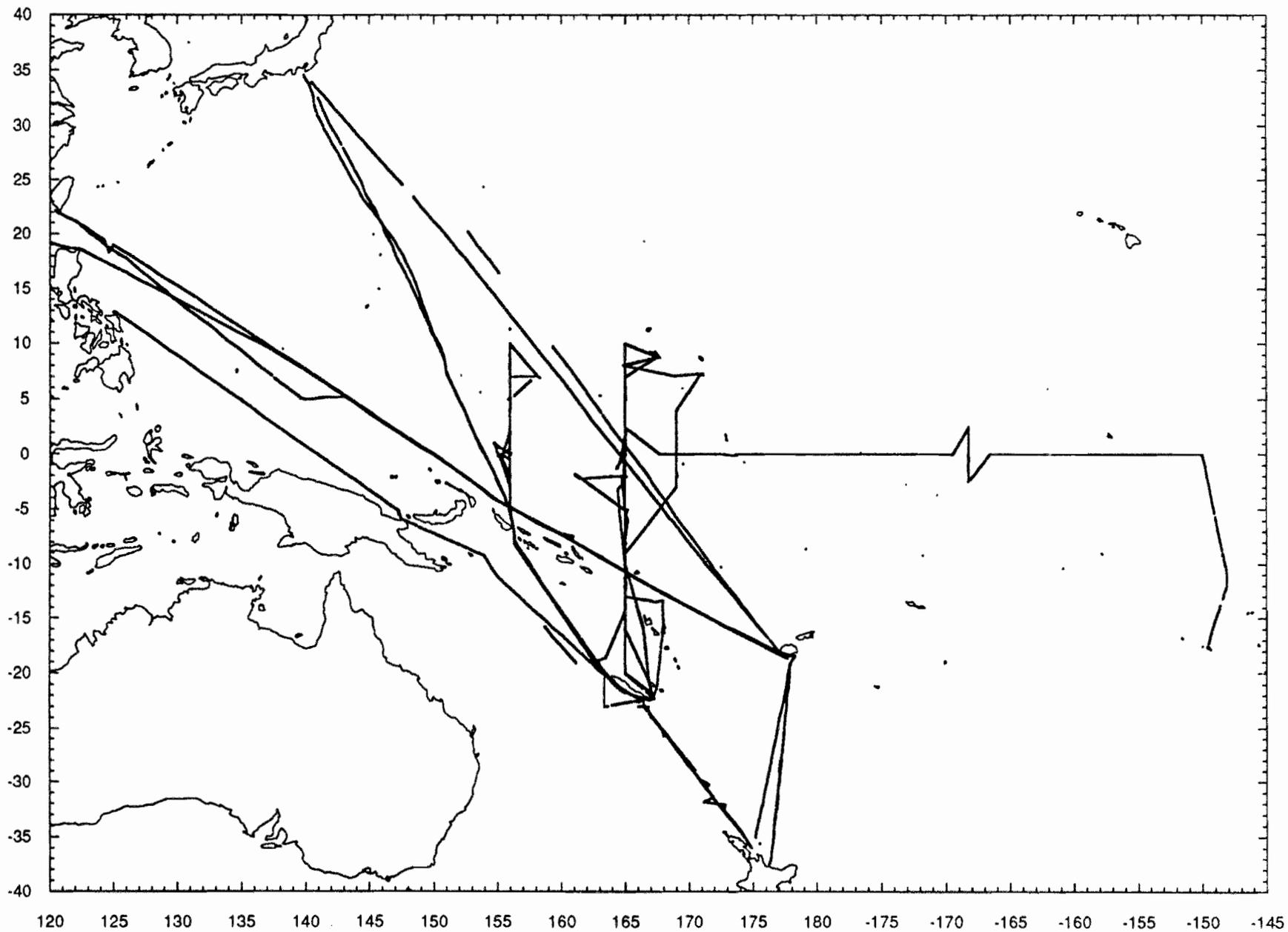


Fig 5: Observations Sbe21

mari9104	23-08-91	25-09-91	1775
voya9102	13-12-91	27-01-92	6593
noro9201	18-01-92	16-02-92	7447
noro9202	21-02-92	17-03-92	6593

*Table 4: fichiers, dates extremes et nombre d'observations*

La zone couverte par ces navires est présentée figure 5. Elle s'étend du Japon à la Nouvelle Zélande et de l'Asie du sud-est à la Polynésie Française.

Certains rails ont été au cours de cette première expérience répétés plusieurs fois.

- 1) Section Surtropac le long de 165°E de 22°30 S à 10°N (9 fois)
- 2) Section Coare Nouméa Bougainville, 10°N à 156°E (4 fois)
- 3) Japon-Nlle Calédonie (2 fois)
- 4) Japon-Fidji (3 fois)
- 5) Fidji-Taiwan (4 fois)
- 6) Nlle Calédonie-Nlle Zélande (5 fois)
- 7) Fidji-Nlle Zélande (4 fois)
- 8) Nlle Calédonie-Philippines (2 fois)

Ainsi avec quelques navires pendant cette période expérimentale nous avons fait la démonstration que la surveillance thermohaline automatique était possible et qu'elle améliorerait largement la précision de la mesure tout en permettant une description très fine de la distribution spatiale le long du rail. Deux exemples d'enregistrements de SSS et de SST le long des méridiens 156°E et 165°E sont présentés figures 6 et 7.

### **Premiers résultats scientifiques:**

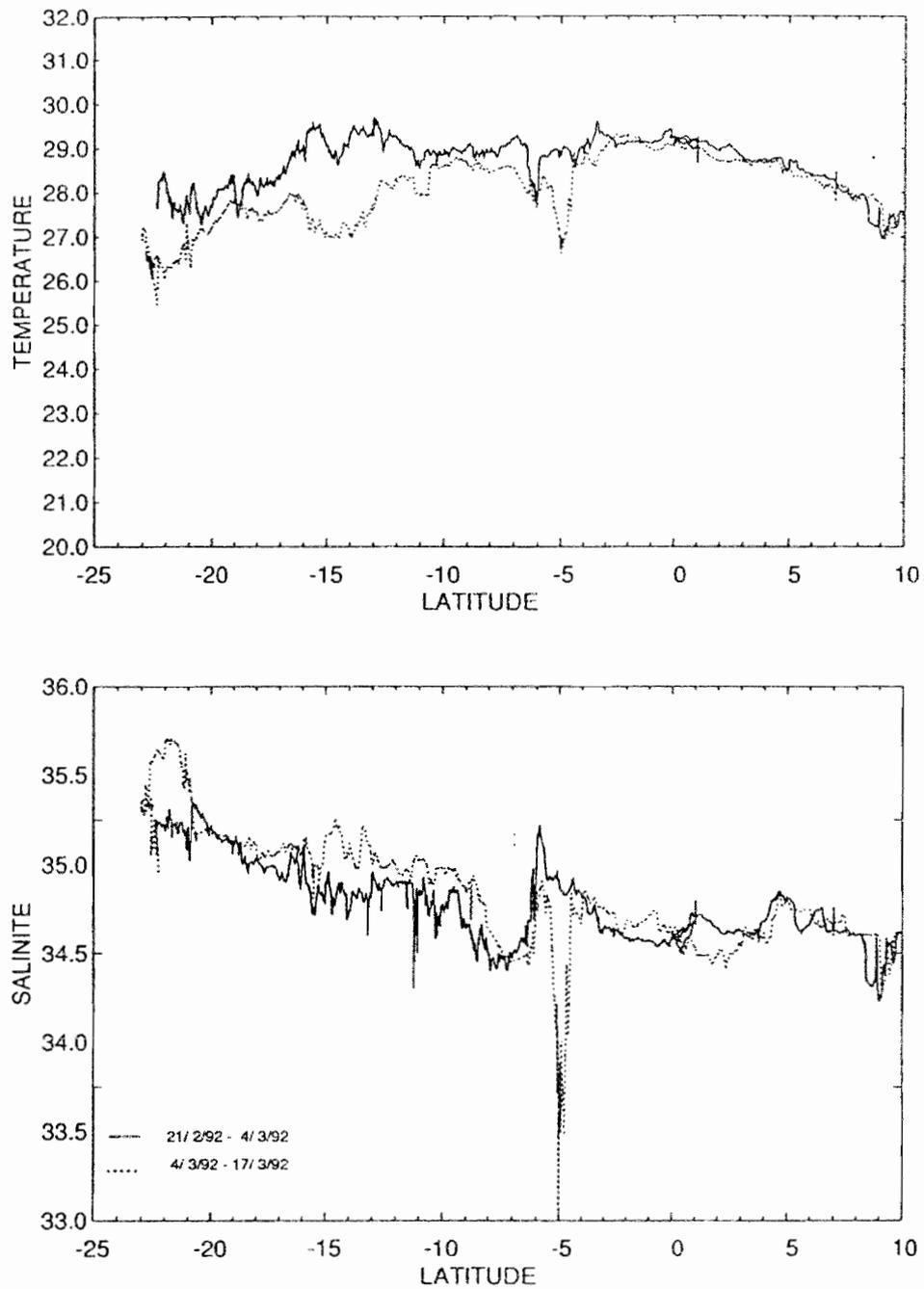
Dès à présent grâce à ce nouveau système d'observation on peut annoncer plusieurs résultats scientifiques intéressants dans le Pacifique ouest parmi lesquels on peut citer:

-la permanence du maximum de salinité au sud de l'équateur vers 165°E, 155°E et 152°E qui peut être très étroit.

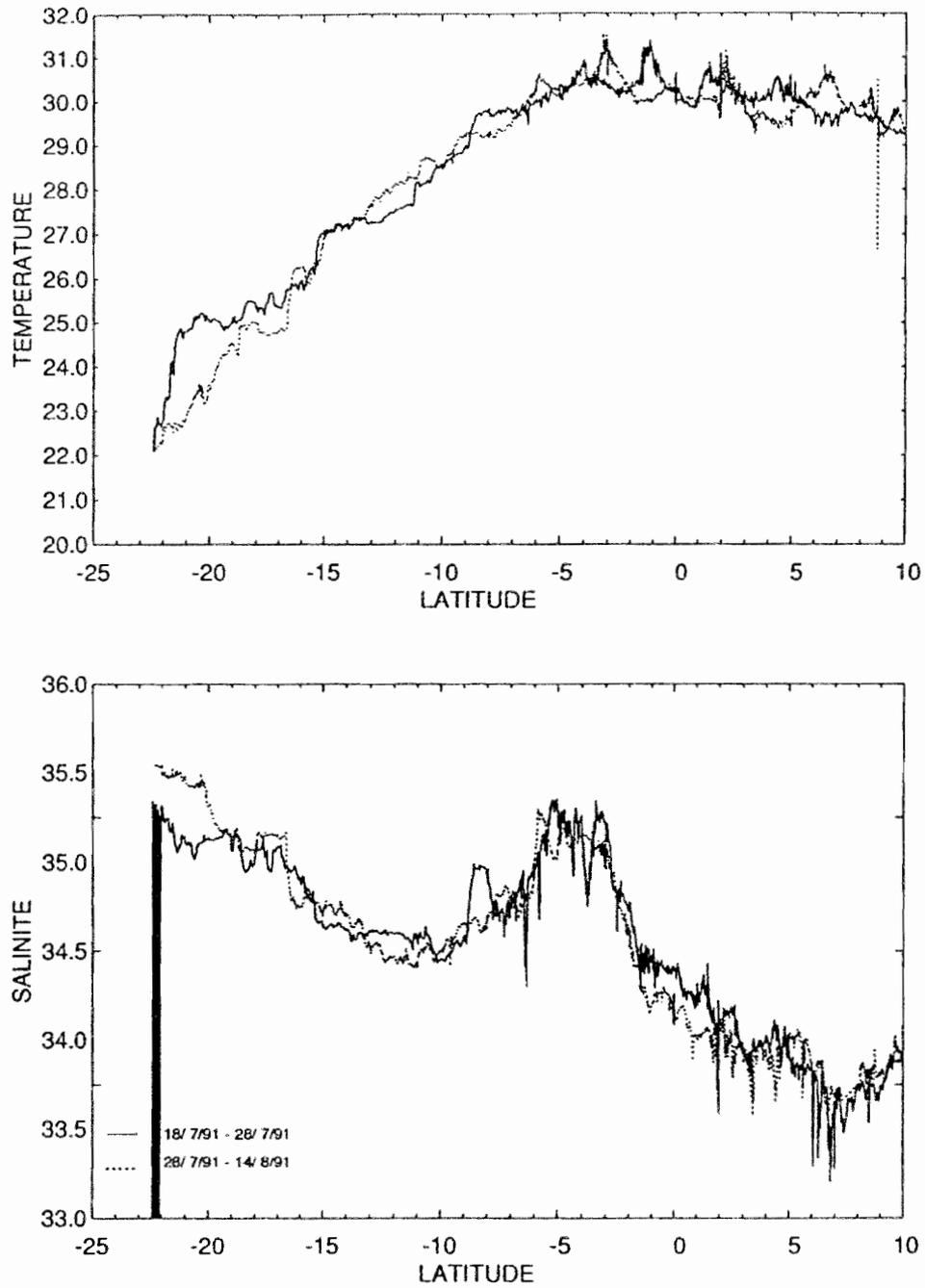
-l'augmentation de ce maximum de SSS de l'ouest vers l'est parallèlement à la diminution de la convection atmosphérique donc des précipitations. Le CES peut expliquer cette langue de fortes salinité.

-la variabilité de SSS est plus forte dans la bande équatoriale qu'en dehors

-au sud de l'équateur des fronts halins méridiens très marqués en Salinité ont été décelés (1 usp en quelques milles en juillet 91, 0,7 usp en 5 milles en avril 91 etc...)



*Fig 6: Température et salinité superficielles le long de 156°E. (Campagne Coare 156-2 ). Aller: traits pleins  
Retour: traits pointillés*



*Fig 7: Température et salinité superficielles le long de 165°E. (Campagne Surtropac 15). Aller: traits pleins  
Retour: traits pointillés*

-les valeurs des minima (11°S et 6-7°N le long de 165°E) du fichier Levitus (climatologique) sont plus supérieures de 0,3 que celles observées lors des campagnes réalisées entre février et août 1991.

-les variations diurnes SST sont très visibles (plus d'un degré Celsius) lorsque le vent est faible bien que la prise d'eau de mer soit à 4 m de profondeur.

-il semble que cette mesure de SSS et SST soit plus représentative de la Salinité et de la Température de la couche homogène (mixed layer) que la mesure très superficielle au seuil.

## **B/ Station côtière**

### Situation actuelle du sujet:

A notre connaissance, les observations de température et de salinité de surface systématiques actuellement réalisées dans les territoires français du Pacifique ont été implantées par l'ORSTOM. La première date de 1958 à l'Anse Vata, une des baies de la presqu'île de Nouméa, où un observateur du centre faisait chaque matin une mesure de la température. Plus tard, en 1977 les océanographes physiciens du Centre ORSTOM ont ajouté un prélèvement journalier pour la mesure de la salinité.

D'autres observations furent lancées en d'autres points en Nlle Calédonie au Phare Amédée, (1967) à Belep (1978), à l'Aquarium de Nouméa (1989) et également en Polynésie Française à Papeete (1979), Rapa (1986), Uapou (1986).

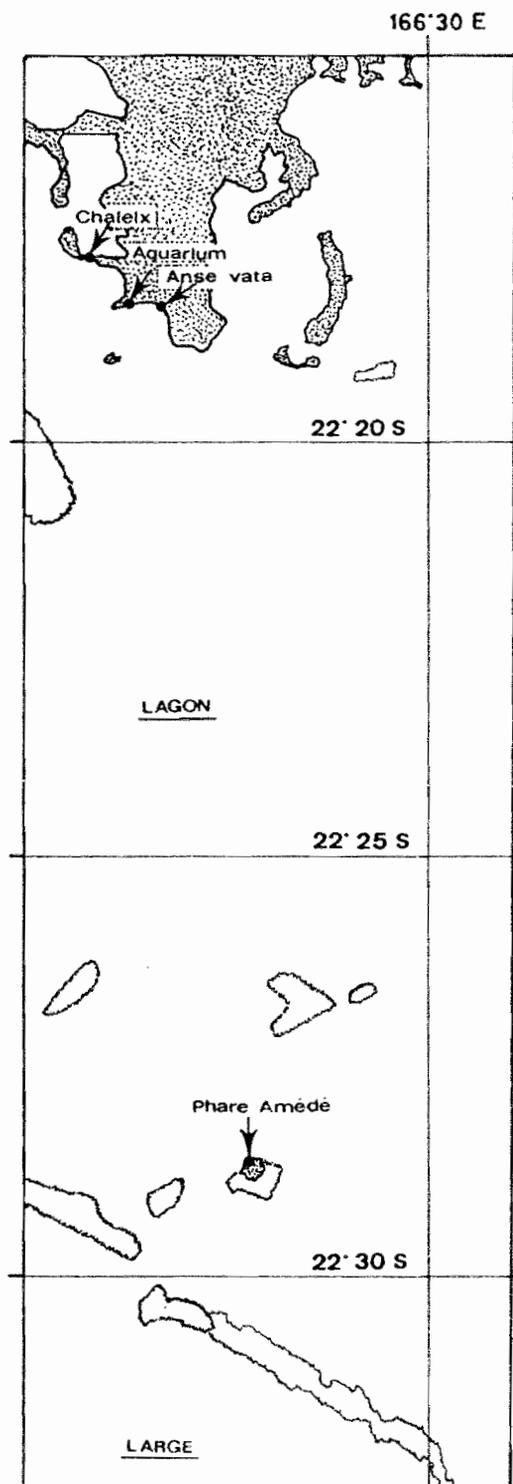
Citons également quelques tentatives réalisées au Vanuatu, aux Wallis et sur des atolls de Polynésie qui ont rapidement été abandonnées. Signalons enfin qu'à Belep nous avons été contraints de cesser les observations faute d'observateur. En première analyse on peut parler d'échec relatif des stations côtières manuelles. Seules celles faisant intervenir du personnel de l'ORSTOM Nouméa et Papeete ont pu être poursuivies jusqu'à présent et l'incertitude qui plane sur l'avenir des personnels de notre institut laisse entrevoir une fin prochaine de ce dispositif d'observation qui est, il faut le dire, assez archaïque. Ainsi le départ à la retraite du responsable des observations à Tahiti risque de marquer la fin de la station côtière de Papeete.

Le développement de ces mesures par observateur non ORSTOM bénévole ou rétribué n'a pas été poursuivi dans les autres sites pour la simple et unique raison de la difficulté de trouver un observateur fiable et durable.

La précision et la continuité de ces observations étant mise en question, le second volet du financement CORDET était destiné à étudier la possibilité d'installer un système de mesures automatiques plus fiable et limitant au maximum l'intervention humaine.

Le projet initial prévoyait d'installer une station côtière à Tahiti, à l'extérieur du récif sur la digue du Port autonome de Papeete, construite sur le récif barrière. C'était, à notre avis le meilleur emplacement, très représentatif de l'eau océanique. L'équipe financée par la CORDET étant basée au centre ORSTOM de Nouméa, un minimum de coopération avec l'équipe du centre ORSTOM de Papeete était nécessaire. A notre grand regret cette coopération qui avait pourtant bien débuté avec des océanographes qui se disaient concernés n'a pu se concrétiser et nous avons choisi le second site retenu, celui du lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie grâce à un accord passé entre l'ORSTOM et la Marine Nationale (Mission Océanographique du Pacifique).

Le choix de cet emplacement est le résultat d'une réflexion tenant compte des avantages et des inconvénients de plusieurs sites envisagés. dans le lagon néo-calédonien Il n'est pas dépourvu d'inconvénients mais semble assez bien représentatif du lagon en face de Nouméa.



*Fig 8: Localisation des diverses stations cotières autour de Nouméa pendant l'année 1991*

Sur la fig8 sont indiqués l'emplacement de l'appareil SBE-16 à la pointe Chaleix, la station cotière de l'anse vata, celle de l'aquarium de Nouméa et celle du phare Amédée à proximité du récif barrière. Ces différents sites fournissent des données que l'on comparera dans la suite de ce rapport.

### Calibration:

Le 02 juillet 1991 une comparaison a été faite pendant deux heures de 13 h 44 à 15 h 42. entre les données de la sonde SBE16 et des observations faites au seau météo.

Le pas d'échantillonnage a été fixé à 2 minutes et trois séries de températures et de salinité ont été obtenues

- 1) température et salinité SBE 16
- 2) température et salinité prises au seau et immédiatement lues et mises en flacon. (To,So)
- 3) température lue et salinité de l'échantillon mis en flacon 1,5 minutes après la prise au seau. (T\*,S\*)

Pour les séries 2 et 3 les analyses de salinité ont été faites au laboratoire de l'ORSTOM avec un salinomètre Yéo-kal dont la précision est estimée à environ 0,01 usp (unité de salinité pratique)

Une statistique simple est présentée table 5.

paramètre	Température (°C)	
	moyenne	Ecart type
To - Tsbe16	0,07	0,13
To - T*	-0,34	0,11
T*- Tsbe16	0,27	0,09
Tsbe16	22,75	0,10
To	22,69	0,16
T*	23,02	0,11

## Salinité (usp)

paramètre	moyenne	Ecart type
So - Ssbe16	0,134	0,062
So - S*	0,030	0,057
S* - Sbe16	0,104	0,042
Sbe16	35,246	0,023
So	35,380	0,054
S*	35,350	0,022

*Table 5: Ecart en température et en salinité entre la sondes Sbe16, les mesures immédiates au seu (0) et les mesures différées (\*) du 2 juillet 1991.*

La température des trois séries évolue de façon à peu près similaire pendant les deux heures de mesure avec cependant une dispersion des écarts assez faible (0,09°C) entre la série T\* et la série sbe16. En revanche l'écart moyen des différence est plus faible entre To et sbe16 (0,07°C) qu'entre T\* et sbe16 (0,27°C). La mauvaise calibration du thermomètre météorologique peut être responsable de cette différence.

En salinité il est surprenant que les variations temporelles des séries au seu soient opposées à l'évolution à la sonde. Signalons également que l'eau échantillonnée au seu météo est l'eau de surface alors que la sonde sbe16 est à une certaine profondeur ( 50 cm à 1m )Il y a également une très forte dispersion de la mesure de salinité échantillonnée immédiatement au seu (0,054) alors que celle à la sonde sbe16 et celle au seu échantillonnée avec 1,5 mn de délai sont bien moins dispersées (0,022 et 0,023 respectivement).

Cette fois ci ce sont les deux séries au seu météo qui sont assez homogènes (0,030 usp en moyenne ) alors qu'elles sont respectivement de 0,134 et 0,104 entre le seu immédiat et la sbe16 et le seu différé et la sbe16. La mauvaise calibration du salinomètre Yeo-kal peut expliquer cette différence avec toujours comme pour la température une dispersion bien plus forte pour la mesure immédiate (0,054) en écart type que pour la mesure différée (0,022) et la mesure à la sonde (0,023).

### Comparaison stations cotières manuelle et automatique

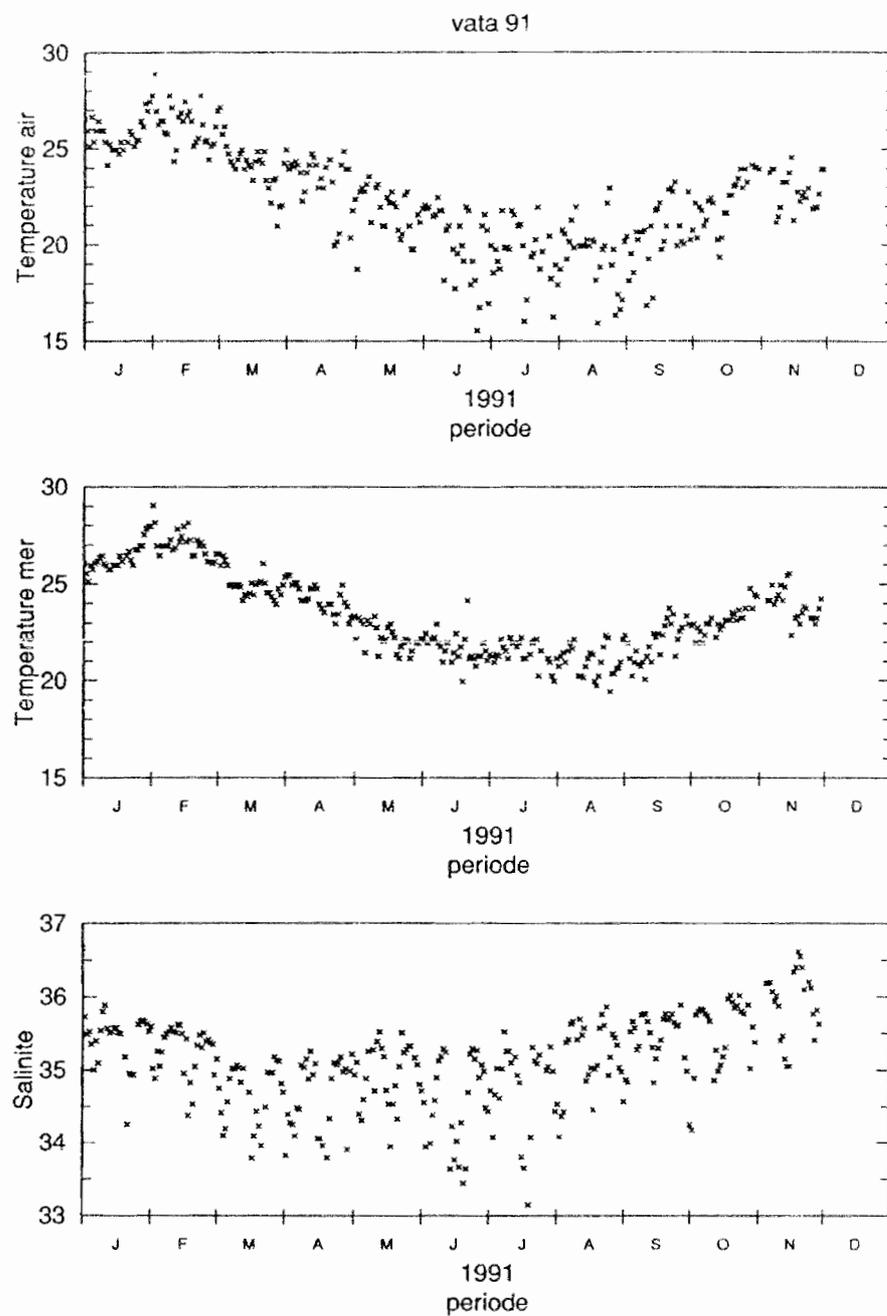
Les observations nouvelles réalisées à la Pointe Chaleix peuvent être comparées aux observations quotidiennes réalisées par des observateurs dans le lagon de Nouméa en trois sites distincts (Fig 9, 10, 11)

Afin de pouvoir comparer les données nous avons extrait les données journalières instantanées observées vers 7 heures locales des fichiers des stations manuelles et calculé les moyennes journalières du fichier de la station cotière automatique.

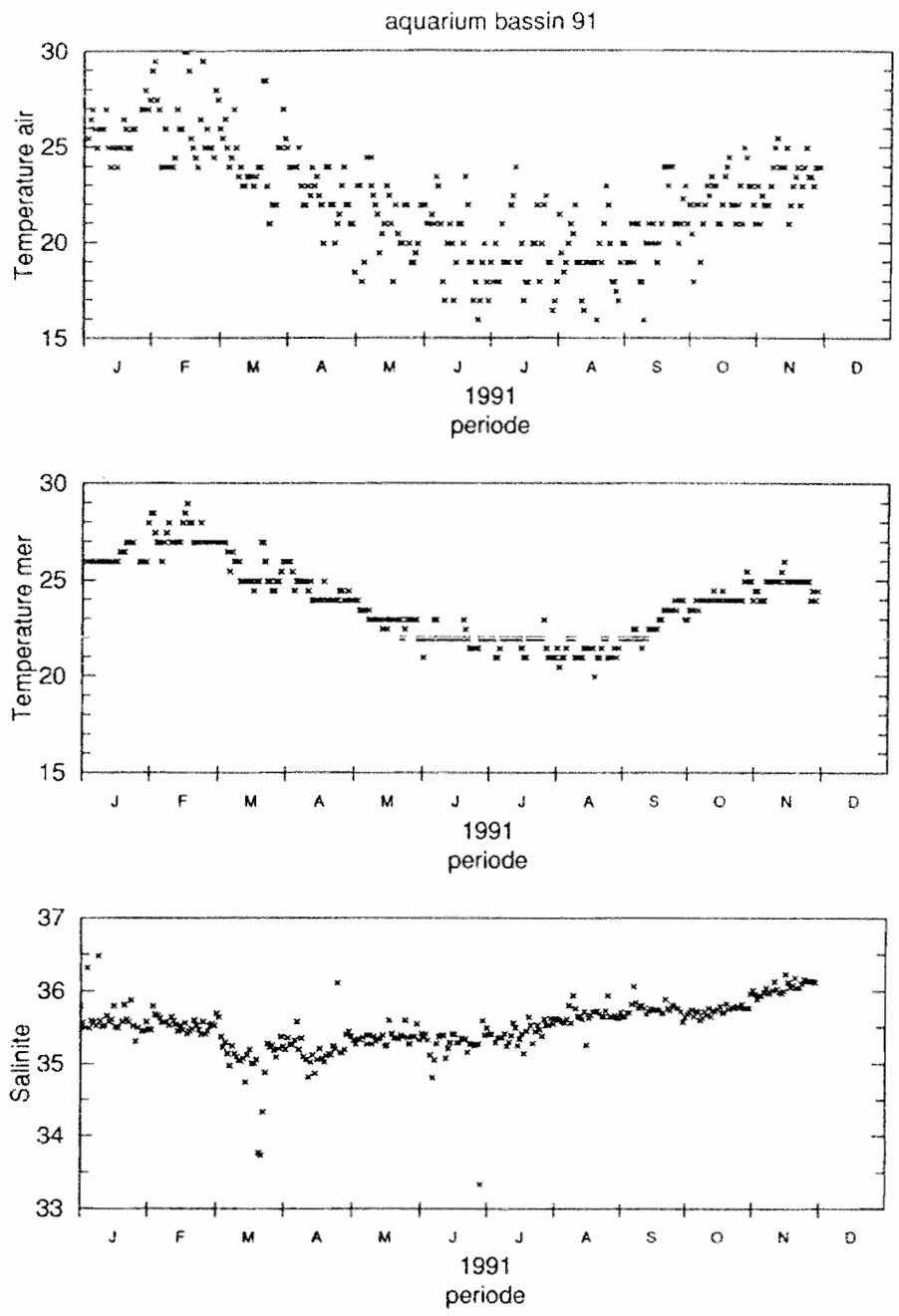
La comparaison des trois stations manuelles montre l'importance du choix du matériel et de l'emplacement pour la mesure de la température et de la salinité de surface.

*Stations manuelles cotières:*

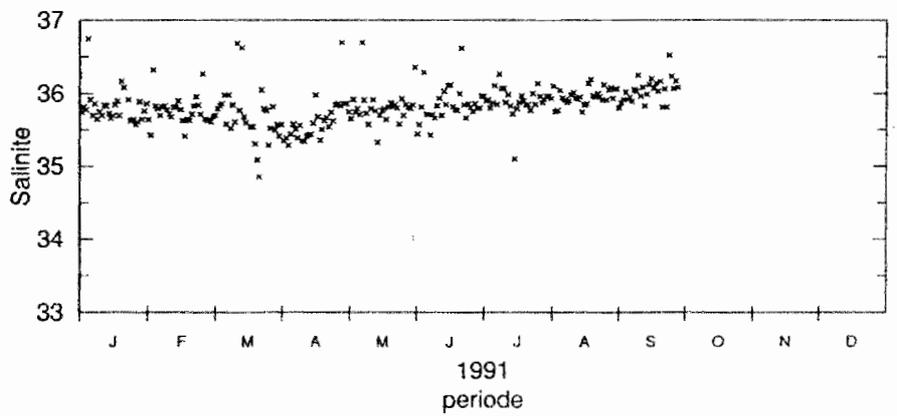
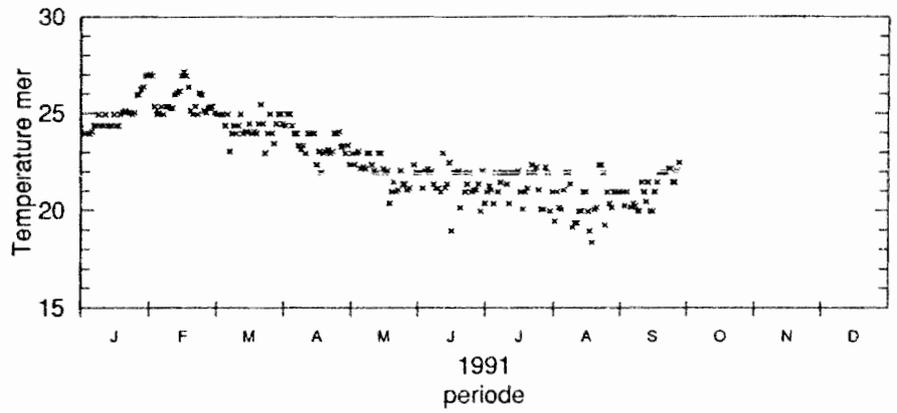
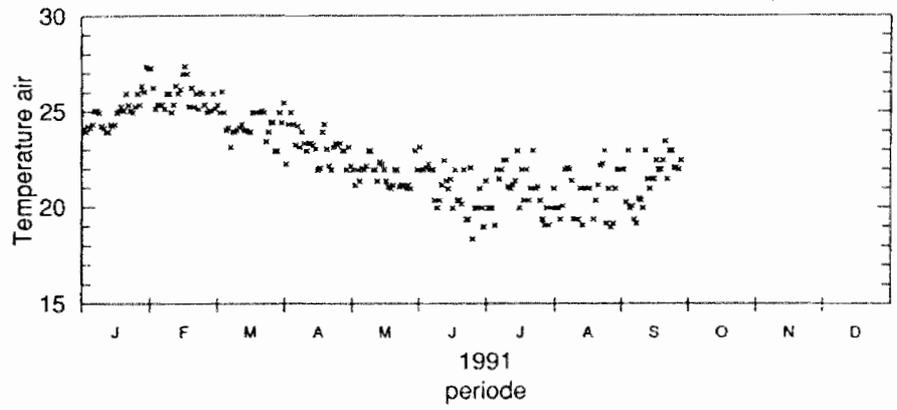
a) Salinité



*Fig 9: Température et Salinité superficielles mesurées à 7 heures locales à l'Anse Vata en 1991*



*Fig 10: Température et Salinité superficielles mesurées à 7 heures locales à l'Aquarium (Baie des Citrons) en 1991*



*Fig 11: Température et Salinité superficielles mesurées à 7 heures locales au Phare Amédée en 1991*

La salinité est mesurée avec le même salinomètre ce qui limite l'effet du matériel même si au cours de l'année l'étalonnage du salinomètre peut hélas différer en raison d'une mauvaise manipulation d'une analyse à une autre groupées par deux à trois mois de prélèvement

A l'Anse Vata l'échantillonnage en bordure de plage dans quelques décimètres d'eau est soumis aux eaux de ruissellement de l'environnement très urbanisé et à des courants de fond de baie. Des pics isolés dessalés (1 à 2 usp) apparaissent très souvent. D'autre part l'évaporation par mer calme doit être relativement forte par très faible profondeur. Dans la baie voisine, la Baie des Citrons, la prise d'eau de la station de l'aquarium se fait en bordure de platier, plus loin de la plage et sur un tombant de 2 à 3 mètres. Les mesures de salinité sont beaucoup ainsi moins bruitées.

Au Phare Amédée très près de la passe, ouverte sur le large, ce n'est plus la même eau qui est mesurée mais une eau océanique qui est plus salée, ce qui semble assez logique, les effets des précipitations sur les reliefs étant beaucoup moins importants au large que sur le lagon. La différence peut être de l'ordre de 0,5 usp. Malheureusement les mesures ont cessé au mois de septembre 1991 à la suite du décès de l'observateur qui n'a pas été remplacé avant plusieurs mois.

#### b)Température

Les mesures de température sont faites avec des thermomètres différents ce qui pose tout de suite le problème du facteur d'étalonnage des appareils relativement rustiques et peu précis.

Le plus grand écart de température est observé entre l'Anse Vata et le Phare Amédée et diffère selon la saison. On peut supposer que les processus de réchauffement du lagon peu profond et de l'eau du large dépendent de la saison. Le lagon serait plus froid en hiver et plus chaud en été que les eaux océaniques de fort volant thermique.

#### *Station automatique Sbe16:*

Cette station automatique Sbe16 a permis une amélioration certaine des observations grâce d'une part à une meilleure stabilité, d'autre part à un plus grand nombre de cycles de mesures conduisant à apprécier entre autres le cycle diurne en T et en S.

La comparaison avec une référence ou supposée telle n'a pu être réalisée, comme ce fut le cas pour les mesures du thermosalinographe de surface embarqué sur des navires de recherche disposant d'une sonde ctd

Seules ont été possibles des comparaisons entre deux stations. Par exemple les données moyennes journalières (figure 12) de la station automatique Sbe16 ont été comparées avec celles des stations manuelles de l'Anse Vata, de l'Aquarium et du Phare Amédée en des périodes différentes. Les moyennes et les écarts types sont présentés dans le tableau suivant.

	Moyenne	Ecart Type	Période
T16-Tvata	0,571	0,537	janv à nov 91
T16-Taqua	0,333	0,661	janv à mars
T16-Tpham	1,821	0,390	janv à mars
S16-Svata	0,169	0,553	janv à nov
S16-Saqua	-0,181	0,679	janv à mars
S16-Spham	-0,504	0,210	janv à mars

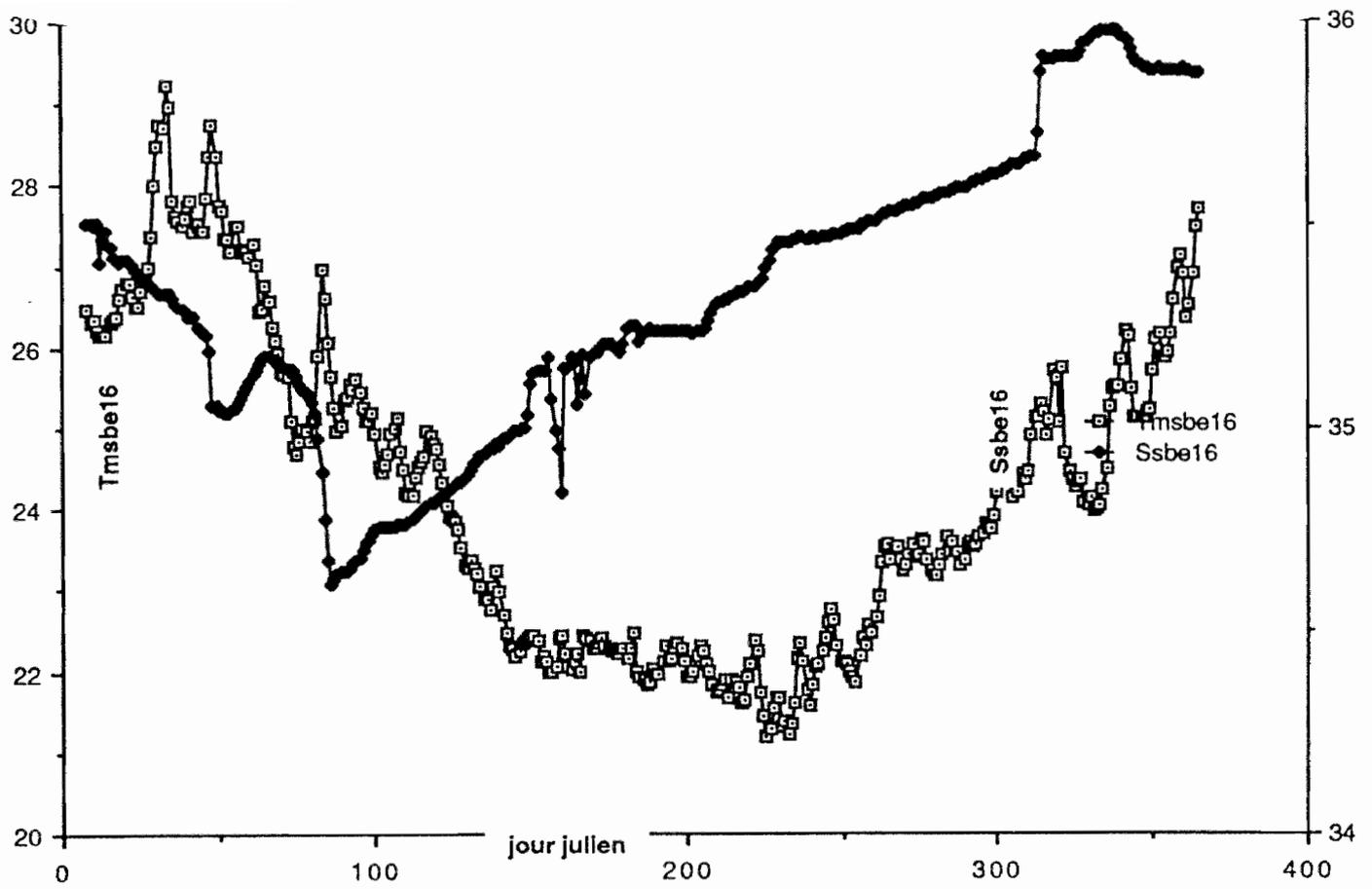


Fig 12: moyenne journalière de Température et de Salinité à la station côtière automatique de la Pointe Chaleix en 1991.

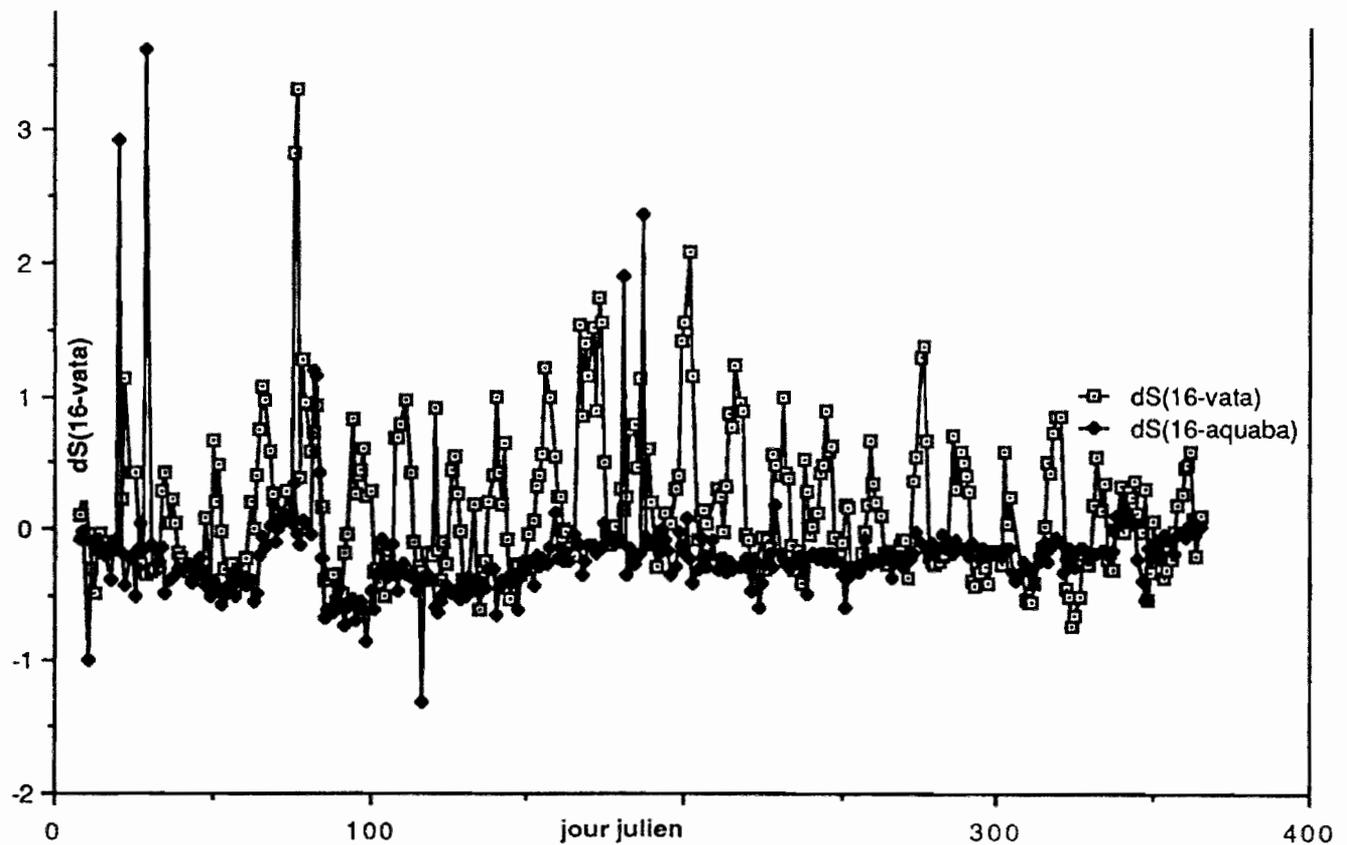


Fig 13: Ecart en salinité entre Chaleix et Anse Vata et entre Chaleix et Aquarium

On voit que la variabilité est la plus faible entre la sonde Sbe16 et le Phare Amédée aussi bien en température qu'en salinité. par contre l'écart est fort en température (lagon plus chaud de 1,8°C que les eaux quasi du large) et en salinité (lagon moins dessalé de 0,5 usp que les eaux du large). Il faut noter que la période de comparaison se trouve pendant 2 à 3 mois d'été austral. En hiver les écarts des valeurs moyennes sont différents (lagon plus froid et salinité plus fortes)

La fig 13 nous présente, pour l'année 1991, les différences entre les données moyennes journalières de salinité de la Sbe16 et celles instantanées à l'Anse Vata d'une part et celles de l'Aquarium d'autre part vers 7 heures locales. Un cycle de l'onde de marée de 14,4 jours est spectaculaire à l'Anse Vata, laissant supposer qu'un courant côtier superficiel est modulé par cette onde de marée.

Seule la comparaison avec des mesures au seau du 2 juillet 91 pendant deux heures décrite ci-avant nous a conduit à une conclusion partielle: Un décalage en température et en salinité existe mais en l'absence de mesure de référence toute conclusion est prématurée. Au cours de cette intercomparaison on a pu tout de même conclure qu'il y a une meilleure stabilité aussi bien en température qu'en salinité avec la Sbe16 qu'avec l'échantillonnage au seau.

	Moyenne	Ecart type
Tsbe16 (°c)	22,75	0,10
Tseau (°c)	22,69	0,16
Ssbe16 (usp)	35,246	0,023
Sseau (usp)	35,380	0,054

La comparaison entre les différentes stations cotières manuelles et la station automatique montre une dispersion des mesures très nette aux stations cotières manuelles aussi bien en salinité qu'en température surtout à celle de l'Anse Vata où l'effet de petit fond joue. Même au Phare Amédée bien que l'eau océanique soit présente, on observe une dispersion plus forte qu'à l'aquarium où les mesures sont faites en un point où la colonne d'eau est plus épaisse.

### **Etalonnage:**

Après 13 mois de mesures (janvier 91 - janvier 1992) le capteur de conductivité a été réétalonné chez le fabricant de la sonde SeaBird et les électrodes ont été replatinisées. Une dérive en salinité de l'ordre de -0,013 psu à T=25°C et S=35,0 usp entre octobre 1990 date de la fabrication du matériel et mars 1992 a été mise en évidence, ce qui particulièrement faible. On peut donc considérer que les mesures de salinité de l'année 1991 comprises, en moyenne journalière, dans la gamme 34,6 et 36,0 sont de bonne qualité.

Lors de l'étalonnage chez le fabricant le capteur de température a été détérioré et nous n'avons pas pu avoir une estimation de la dérive de ce capteur. Le constructeur estime la dérive potentielle en température à environ 0,005°C par an.

### Le cycle diurne:

La fréquence élevée de l'échantillonnage à la station automatique (toutes les 15 minutes c'est à dire 96 observations par jour) au lieu d'une mesure par jour vers 7 heures aux stations manuelles nous permet d'observer le cycle diurne. La figure 13 montre que ces variations diurnes sont particulièrement marquées en température, le minimum se produisant vers 5-6 heures locales et le maximum vers 13-14 heures locales. Le signal journalier est donc disymétrique avec un réchauffement rapide sur 8-9 heures et un refroidissement lent sur 15-16 heures; la température journalière peut varier ainsi de 0,3°C à 1,5°C en fonction de la saison, de la couverture nuageuse, du vent etc... Après filtrage on peut également déceler un cycle diurne en salinité avec un minimum vers 12 heures locales et un maximum vers 23-24 heures. Des écarts de l'ordre de 0,02 à 0,03 usp entre ces deux valeurs extrêmes sont couramment observés pendant notre année de mesure. D'autres paramètres fournis par le Service de la Météorologie Nationale en Nouvelle-Calédonie sont utilisables pour une étude complète du cycle diurne SSS et SST du lagon notamment le vent, l'ensoleillement, la couverture nuageuse la température de l'air sec et humide etc...aussi bien sur la presqu'île de Nouméa que sur l'îlot Amédée à l'entrée de la passe de Boulari .

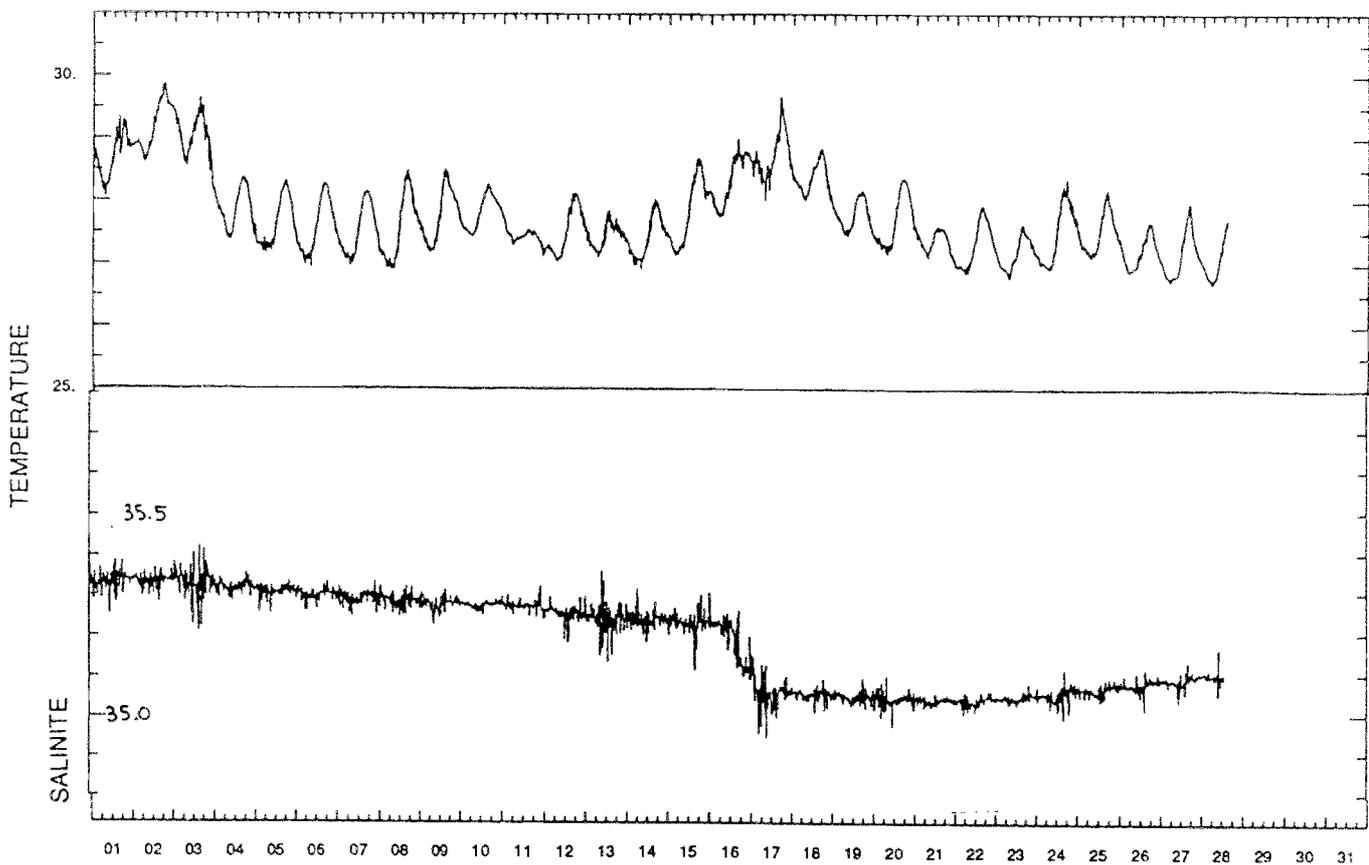


Fig 14: température et salinité au cours du mois de février 1991 à la Pointe Chaleix.(Echantillonnage toutes les 15 minutes)

## **Conclusion:**

Le financement de cette étude a permis de démontrer la faisabilité d'une part, l'amélioration de la qualité d'autre part des mesures de la température et de la salinité de surface grâce à des systèmes automatiques.

Cette technique est tout à fait transposable à d'autres lieux et d'autres océans.

L'expérience a duré environ une année et demie et les mesures ont été réalisées plus aussi bien à partir de navires de commerce que de recherche et également en une station côtière.

Des projets complémentaires à cette automatisation sont en cours de formulation. En particulier l'adjonction de capteurs supplémentaires (direction et vitesse du vent, température sec et humide, pluviomètre optique) et la transmission en temps réel des données par système Argos

Il appartient désormais aux différents laboratoires concernés et aux responsables des réseaux d'observations d'améliorer la surveillance thermohaline de surface. Nous espérons que notre expérience leur sera profitable.

## **Bibliographie:**

Delcroix Th , C.Hénin, 1989: Mechanisms of subsurface thermal structure and sea surface thermohaline variabilities in the southwestern tropical Pacific during 1979-85. *J. Mar Research*, 47, 777-812

Delcroix Th, C.Hénin, 1991: Seasonal and interannual variations of Sea Surface Salinity in the Tropical Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*, Vol 96, N° C12, 22135-22150

Donguy JR., C.Hénin, 1978: La salinité de surface dans l'océan Pacifique tropical sud ouest. *Cahiers ORSTOM, série Océanogr.*, 16-2, 107-136.

Grelet J, B.Buisson, C.Hénin, 1992: Installation et utilisation d'un thermosalinographe à bord d'un navire marchand. Notes techniques. *Sciences de la Mer. Océanographie Physique*. N°7, ORSTOM. Centre de Nouméa. 99 pp.

Hires R and R.Montgomery, 1972: Navifacial temperature and salinity along the track from Samoa to Hawaii, 1957-65. *J.Mar.Res.*, 30, 177-200

Kessler W. and B.Taft, 1987: Dynamic heights and zonal geostrophic transports in the central tropical Pacific during 1979-84. *J.Phys.oceanogr*, 17, 97-122.

Rochford D.J., 1977: The surface salinity regime of the Tasman and Coral Seas. CSIRO Division of Fisheries and Oceanography report N°84., 34 pp

## BUDGET:

Budget total accordé: 275 KF (5 000 000 cfp)

1er versement	12 /11/90	2 100 000 cfp
2ème versement	06/02/91	2 900 000 cfp

### Materiel acquis:

Sbe21 n°1	850 000
Sbe21 n°2	850 000
Sbe16	500 000
GPS-Pronav 1	280 000
GPS-Pronav n°2	280 000
PC-XT BMI	150 000
Zénith 286	380 000
Mac LC 4-40	420 000
Carte et Kit Ethernet	60 000
Pompes,	95 000
Moteurs pompes	90 000
Total équipement:	3 955 000 cfp

### Fonctionnement:

Fret campagne Alizé 2	97 000
Canalisations	60 000
Cotrans douane	50 000
Mission Nlle-Zélande	170 000
calibration capteurs	30 000
rapport final-reprographie	75 000
manuel technique	80 000

Frais publication divers	138 000
Papeterie, cartes	50 000
Logiciels divers	150 000
Supports informatiques	40 000
Missions lagon	30 000
Vacations observateurs	45 000
Téléphone, telex, fax	30 000
<b>Total fonctionnement:</b>	<b>1 045 000 cfp</b>

