

UTILISATION ET INTERPRETATION DES IMAGES EN INFRA ROUGE THERMIQUE DU  
SATELLITE METEOSAT APPLICATION AUX UPWELLINGS DU SENEGAL ET DES COTES  
OUEST AFRICAINES EN 1983

C. DUPOUY

Stage effectué du 1 avril au 30 septembre 1983

Bureau de Télédétection. Services Centraux Bondy  
Antenne ORSTOM Centre Météorologique de Lannion

## PLAN

Avant Propos

I INTRODUCTION

II MATERIEL ET METHODES

- II 1 1 - Météosat
- II 1 2 - Fichiers images
- II 2 1 - Extraction et stockage
- II 2 2 - Obtention d'images claires
- II 2 3 - Calibrations
- II 2 4 - Présentation des scènes

III L'UPWELLING - 1983

- III 1- Mécanisme général
- III 2- Description par Météosat
- III 2 1 - Période d'upwelling faible
- III 2 2 - Période intermédiaire
- III 2 3 - Période d'upwelling actif
- III 2 4 - Période d'extinction

IV COMPARAISON DES UPWELLINGS DE 82 ET 83

- IV 1- A l'aide de N.W.S.
- IV 2- A l'aide de Météosat

V INTERPRETATIONS

- V 1- Vents
  - B.M.E.
  - Dakar
  - Vents de sable
- V 2- Influence du climat global

VI EVOLUTION DE L'UPWELLING EN MARS 83

VII IMPLICATIONS BIOLOGIQUES

- VII 1- Mécanisme général
- VII 2- Répartition spatiale
- VII 3- Documents C.Z.C.S.
- VII 4- Implications pour 1983

VIII CONCLUSION

ANNEXE I. Fonctions Péricolor

ANNEXE II. Calibration radiométrique

Bibliographie

## AVANT PROPOS

L'utilisation de la télédétection, et en particulier du satellite Météosat pour l'étude des champs thermiques marins n'est pas une technique nouvelle à l'O.R.S.T.O.M. La présente étude des upwellings de la côte Ouest-Africaine poursuit les objectifs de nombreux chercheurs océanographes ( Domain, 1979, Citeau et Noël, 1979). Elle s'inscrit dans le cadre de la veille satellitaire engagée depuis 1981 ( opération Listao) à l'Antenne ORSTOM de Lannion ( Citeau et Guillot, 1982).

Ce travail est axé sur l'année 1983. Il a été effectué à partir des archives Météosat de Bondy, grâce aux possibilités de traitement développées au Bureau de Télédétection.

Je remercie toute l'équipe de l'Atelier de Télédétection de Bondy pour leur participation à la réalisation de cette étude ainsi que les chercheurs de l'Antenne ORSTOM pour leur aide précieuse.

Je remercie tout particulièrement Monsieur G.R.G. Berrit sans qui ce stage n'aurait pu se réaliser.

## I INTRODUCTION

L'étude de l'upwelling de la côte ouest-africaine s'inscrit à l'intérieur d'un projet plus vaste impulsé par le C.R.O.D.T. et le Gouvernement Sénégalais en collaboration avec Ispra, Centre Joint de Recherches d'Ispra (A.S.E.), le Centre de Météorologie Spatiale de Lannion ( Antenne ORSTOM). Le but du projet est de comprendre les mécanismes qui amènent une production élevée dans les zones de l'upwelling du Sénégal.

Le satellite Météosat nous permet dans un premier temps de suivre l'évolution des champs thermiques de surface.

Le satellite CZCS (.expérience Coastal Zone Color Scanner sur Nimbus 7) doit nous apporter la connaissance des lieux où la production de phytoplancton est effective dans la couche de surface (images de la couleur de l'océan).

Les données de Météosat II permettent une vision synoptique indispensable et de plus une répétitivité que ne possèdent pas les autres satellites. La présente étude répond donc à un double objectif:

- dresser des cartes de la température et établir ainsi une sorte d'atlas des températures sur la zone en saison froide 1983
- déterminer les zones favorables à une production primaire et prédire les périodes de richesse trophique pour l'ensemble de la chaîne alimentaire (les données CZCS permettant de valider les prédictions).

### EXTENSION DE LA ZONE D'ETUDE

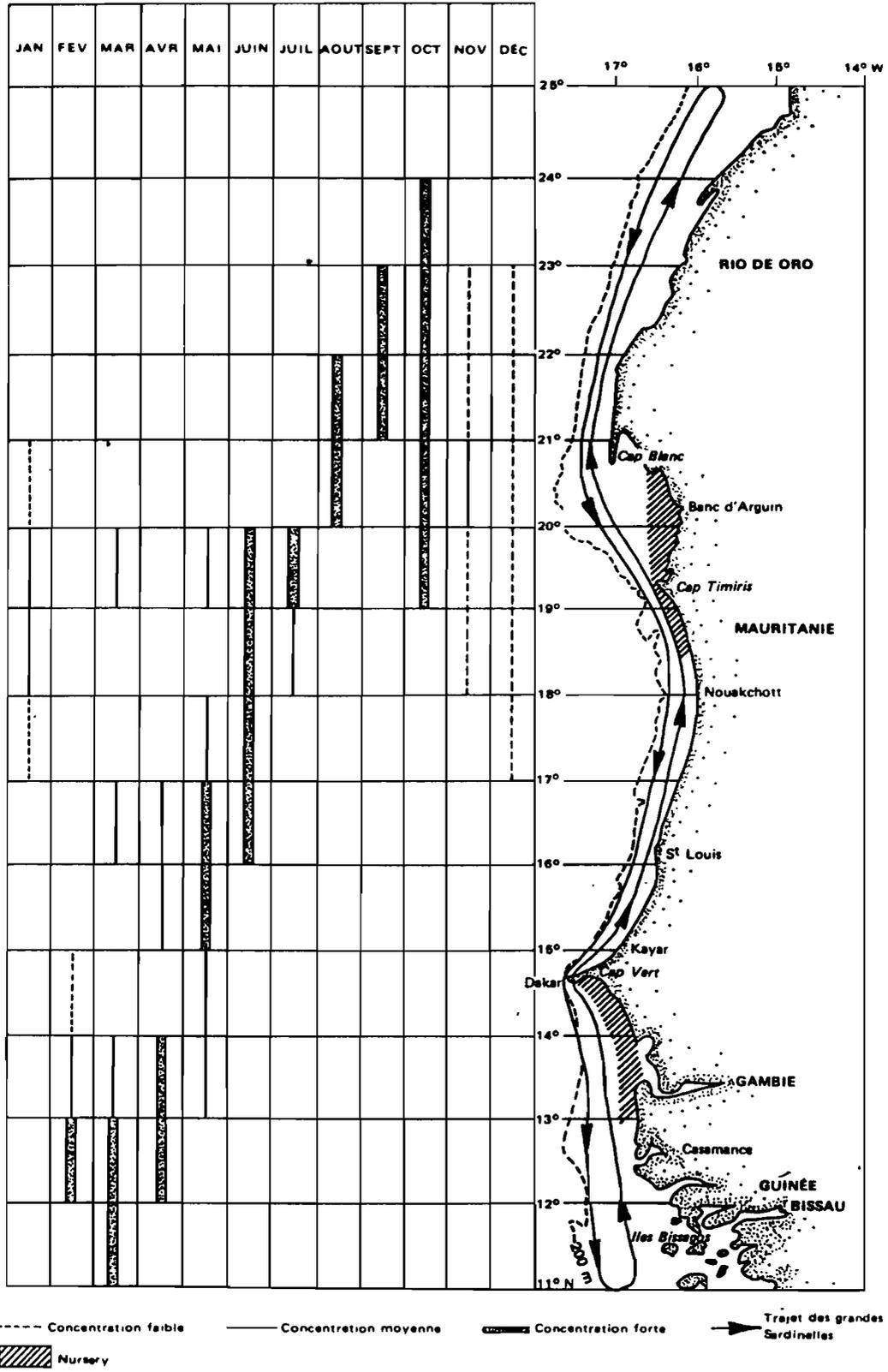
La zone d'étude a été étendue de la côte sénégalaise à l'ensemble de la côte ouest-africaine. En effet, il est difficile de dissocier les champs thermiques des eaux côtières sénégalaises de ceux des eaux côtières du Cap Timiris, ou du Maroc. On a donc conservé pour l'étude une zone située entre les latitudes 12°N et 25°N ( voir carte : figure 1).

### CHOIX DE LA PERIODE D'ETUDE

Les saisons froides marines, ou saisons d'upwelling de la côte ouest-africaine s'étendent généralement de décembre à mai, pour la zone sud (Sénégal), tout au long de l'année pour la zone nord ( Maroc).

Les années 1978 et 1979 ont été étudiées de façon détaillée ( Domain, 1979; Citeau et Domain, 1981) à l'aide des données de Météosat I. Les années 1980-1981 correspondent à une période sans satellite ( lancement de Météosat II effectué en juillet 1981). L'année 1982 coïncide avec le début de la veille satellitaire et la fourniture de cartes des champs thermiques pour l'opération LISTAO (Stretta et al. 1980).

Il était donc intéressant de comparer la saison froide 1983 avec la précédente ( pour cette année, étude des documents archivés à l'Antenne ORSTOM de Lannion).



: Cycle migratoire et localisation mensuelle des principales concentrations de *Sardinella aurita* (d'après BOELY et al., 1978).

Fig. 1 : Carte de la région étudiée à l'aide de Météosat en 82-83 et indications sur la répartition de l'espèce *S. aurita* (Boely et al. 1978).

La période 1982-1983 présente un intérêt supplémentaire car elle est caractérisée par des anomalies climatiques qui se répercutent sur les températures marines. Il s'agit du phénomène El Nino qui a atteint en 1982 - 1983 une amplitude exceptionnelle pour ce siècle. Les conséquences de ce réchauffement important, observé dans le Pacifique puis dans l'Atlantique ont été décrites ( Rebert et al. 1983; Hisard et Hénin, 1983).

Le satellite Météosat II représente l'outil idéal pour décrire la répartition spatiale, l'évolution temporelle des champs thermiques et pour quantifier dans la mesure du possible ces variations intersaisonniers et interannuelles de température.

On présentera brièvement le matériel et les méthodes employées pour obtenir des images claires de Météosat.

On décrira la période d'upwelling 1983 en effectuant la comparaison avec "l'upwelling 1982".

On tentera d'expliquer les différences observées, en étudiant notamment les données de vent recueillies dans les différentes stations réparties sur la côte.

On présentera enfin les implications attendues d'après nos connaissances sur la production primaire de la zone.

## II MATERIEL ET METHODES .

### II 1 - MATERIEL

#### Le satellite Météosat II

Le satellite Météosat II, lancé par l'Agence Spatiale Européenne, appartient à la série des satellites géostationnaires, est placé sur une orbite équatoriale à 36000 km de hauteur au-dessus d'un point de 0° en longitude et en latitude.

Il fournit une image du globe toute les demi-heures.

Ses différents radiomètres mesurent l'énergie émise par la surface de la terre simultanément dans trois fenêtres du spectre électromagnétique:

- le canal visible : (0.4-1.1  $\mu$  )

Deux détecteurs mesurent l'énergie solaire reçue et réfléchiée par la terre ; le champ de vue instantané ou pixel est de (2.5 km)<sup>2</sup>.

- le canal vapeur d'eau : (5.7-7.1  $\mu$  )

Un détecteur mesure le rayonnement émis par la couche de vapeur d'eau contenue dans la haute atmosphère; pixel de (5 km)<sup>2</sup>.

- le canal thermique : (10-12.5  $\mu$  )

Deux détecteurs mesurent le rayonnement émis par la surface de la terre ( température radiométrique) ; pixel de (5km)<sup>2</sup>. Pour la surface marine, l'émission provient d'une épaisseur de quelques microns d'eau.

Seules les données du canal thermique seront utilisées ici.

#### Les données brutes

Les données brutes de Météosat enregistrées et prétraitées à Darmstadt (A.S.E., R.F.A.) sont transmises à la Station de Réception de Lannion où elles sont étudiées par les chercheurs de l'Antenne ORSTOM ( Mrs Citeau et Guillot). Elles sont ensuite archivées à Bondy (Téléthèque du Bureau de Télédétection, Services Centraux) et peuvent à nouveau être utilisées.

Les données numériques journalières du canal IRT ont été traitées, à l'heure d'acquisition 15h30. Cette heure a été choisie car elle permet d'observer un meilleur contraste terre/mer et d'éviter la présence des brumes se formant en matinée ou en soirée sur la côte.

Pour le canal visible, seuls les quick looks ont été utilisés pour repérer des perturbations atmosphériques peu détectables sur le canal thermique.

### II 2 2- METHODES

#### II 2 1 - Extraction des fichiers et stockage

La lecture des données au format AI disséminé a été effectuée sur un ordinateur MINI 6 au Bureau de Télédétection de Bondy . Pour ce faire, on a utilisé le programme Met 2 qui extrait de l'image du globe entier archivé

sur bande magnétique, un fichier réduit correspondant à notre zone d'étude : on passe d'une image de 2500,2500 pixels à un fichier de 256,256 pixels. Ce fichier pourra être visualisé immédiatement sur l'écran du Péricolor 1000 connecté au Mini 6. Tous les traitements appliqués sur les fichiers seront effectués à l'aide des fonctions du Péricolor 1000.

A la visualisation, on élimine d'emblée les images trop nuageuses. Pour chaque date, on extrait deux zones de 256,256 pixels:

- zone 1 : "Sénégal": de latitude 12°N à 23°N, de l'archipel des Bissagos au Cap Blanc
- zone 2 : "Mauritanie": de latitude 23°N à 30°N, du Cap Timiris au Maroc.

Les zones 1 et 2 se chevauchent de manière à conserver le plus grand nombre d'images de la zone 1 et donc le maximum d'informations sur le Sénégal, indépendamment de la couverture nuageuse de la zone 2.

L'échelle des comptes numériques fait correspondre aux températures les plus basses les comptes numériques les plus forts.

Le stockage de tous les fichiers extraits a été réalisé sur 2 types de supports, de façon à pouvoir réutiliser aisément les données:

- sur bande magnétique ( 1600 bpi)  
au total, 5 bandes magnétiques contenant la totalité des 200 fichiers
- sur disquettes ( double densité, double face)  
au total, 50 disquettes.

La liste de tous les fichiers créés et disponibles est indiquée par le tableau 1

## II 2 2 -Obtention des images claires Météosat

### Bref aperçu des conditions climatiques

L'Afrique Occidentale est soumise à un régime climatique général lié aux mouvements de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ITCZ). Celle-ci atteint sa position la plus au sud en janvier, la plus au nord en juillet. Bien que cette tendance saisonnière soit respectée, il existe des perturbations à l'échelle d'une journée qui rendent la couverture d'une région cible très variable et qui affecte donc de façon imprévisible les températures de la scène.

On trouve généralement:

- des brumes côtières dues au gradient thermique air/terre
- des nuages froids aisément reconnaissables sur le canal IRT
- des cirrus fins, en voiles, plus facilement reconnaissables sur le canal visible en raison de leur forte absorption et qui refroidissent légèrement les températures
- l'influence du fort taux d'humidité atmosphérique très variable d'une région à l'autre
- les vents de sable, (ou lithométéores) résultant du soulèvement du sable ou de particules très fines par l'Harmattan qui est un vent chaud et sec, orienté NE/SW et qui est renforcé par les hautes pressions atmosphériques sahariennes.

Jour	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1	-	-	S/M	S/M	S/M	S/M
2	-	-	S/M	S/M	S/M	S/M
3	-	S/M	S	S/M	S/M	S
4	-	-	-	S	S/M	S
5	-	-	-	M	S/M	S
6	-	S/M	S/M	M	S/M	-
7	-	S/M	S/M	S/M	S	
8	-	S/M	S/M	S/M	S	
9	-	-	S	-	S/M	
10	S/M	S/M	-	S/M	S/M	
11	S/M	-	-	S		
12	S/M	-	-	S	S/M	
13	S/M	-	S/M	S	S/M	
14	S/M	-	S	S/M	S/M	
15	S	-	S	S/M	S/M	
16	S	-	S/M	S/M	S/M	
17	S/M	-	S	S/M	S/M	
18	S/M	-	S	-	S/M	
19	S/M	-	S	-	S/M	
20	S/M	-	S	-	S	
21	S/M	S/M	S	-	S/M	
22	S/M	S	S	S/M	S/M	
23	S/M	S/M	-	S/M	S/M	
24	-	S/M	S	S/M	S	
25	S/M	S/M	-	S/M	S	
26	S/M	S/M	S	S/M	M	
27	S/M	-	-	S/M	S/M	
28	S/M	S/M	S	-	S/M	
29	-	-	S	S	S/M	
30	S/M	-	S/M	S/M	S/M	
31	S/M	-	S/M	-	-	

Tab. 1 : Liste des images journalières extraites des fichiers Météosat pour la saison froide 1983

S: zone 1 :Sénégal

M: zone 2 : Mauritanie

Sur la bordure méridionale du Sahara, les poussières prises en charge par l'Harmattan sont ainsi expulsées vers l'océan où elles rencontrent l'alizé maritime humide, plus frais et plus dense orienté NNE/SSW qui longe la côte africaine. L'air chaud sec et poussiéreux a alors plusieurs milliers de mètres d'épaisseur. L'air saharien s'élève au-dessus de cet air maritime et continue son déplacement vers l'ouest sur des milliers de kms, entre 1500 et 3000 mètres d'altitude, (Goudé-Gaussens, 1983).

#### Méthode employée pour l'analyse de Météosat

Les images seules sont rarement utilisables telles quelles en raison des difficultés à différencier les champs thermiques marins des effets atmosphériques.

La méthode d'obtention d'images claires utilisée ici a été conçue au Bureau de Télédétection ( logiciel CALMET, (Noël 1978), Citeau, Berrit et Vercesi, 1980) et est employée en routine pour le traitement d'images Météosat à Lannion et à Brest. Pour les besoins de cette étude, cette méthode a été transcrite sur le Péricolor 1000 en utilisant les fonctions logiques existantes. Elle nous permet ainsi de traiter les fichiers mis sur diskette, de façon automatique et dès leur création à partir du fichier source.

Le traitement est décrit par une suite courte de fonctions logiques résumées en annexe I. Il dure en moyenne 3 minutes, suivant le nombre d'images à traiter

#### Le principe d'une TMAX

De façon à éliminer les phénomènes atmosphériques sur une série d'images de la température de la mer, on utilise le fait que ces derniers varient plus rapidement que les champs thermiques. On crée donc une image nouvelle claire à partir de plusieurs, en ne conservant pour chacune que les températures maximales (comptes numériques les plus faibles). L'image composite ainsi créée ne combine que les champs thermiques puisque ceux-ci sont le plus souvent plus chauds que l'atmosphère.

- les erreurs provenant du fait que l'on rassemble plusieurs champs thermiques de jours différents ne sont pas importantes, car ceux-ci varient assez lentement

- l'erreur provenant du fait que l'on sélectionne à priori les températures les plus élevées, est réduite à la condition de superposer des champs thermiques proches ( peu de variations sur peu de jours).

On doit donc veiller à sélectionner les images de départ et ne regrouper que des images semblables.

- sur cette zone géographique, on suppose le degré d'humidité de l'air constant.

#### Cas particulier des vents de sable

Sur le domaine géographique qui nous intéresse, les vents de sable peuvent être la source d'erreurs importantes dans les résultats des TMAX. Une TMAX sera réchauffée artificiellement par les vents d'Harmattan sans que l'on puisse détecter les limites exactes de leur effet (fig.2), d'où la nécessité d'examiner les quicklooks du canal visible.

Dans ce cas, on a créé des TMAX sur des séries courtes d'images (3 jours au plus quand le champ thermique varie peu). On a éliminé les images exceptionnellement chaudes en recensant les dates des jours de vent de sable à partir des B.M.E. (Bulletin Météorologique Européen) . Ceux-ci se sont avérés être très nombreux pour la saison froide 83 (voir tableau 6).

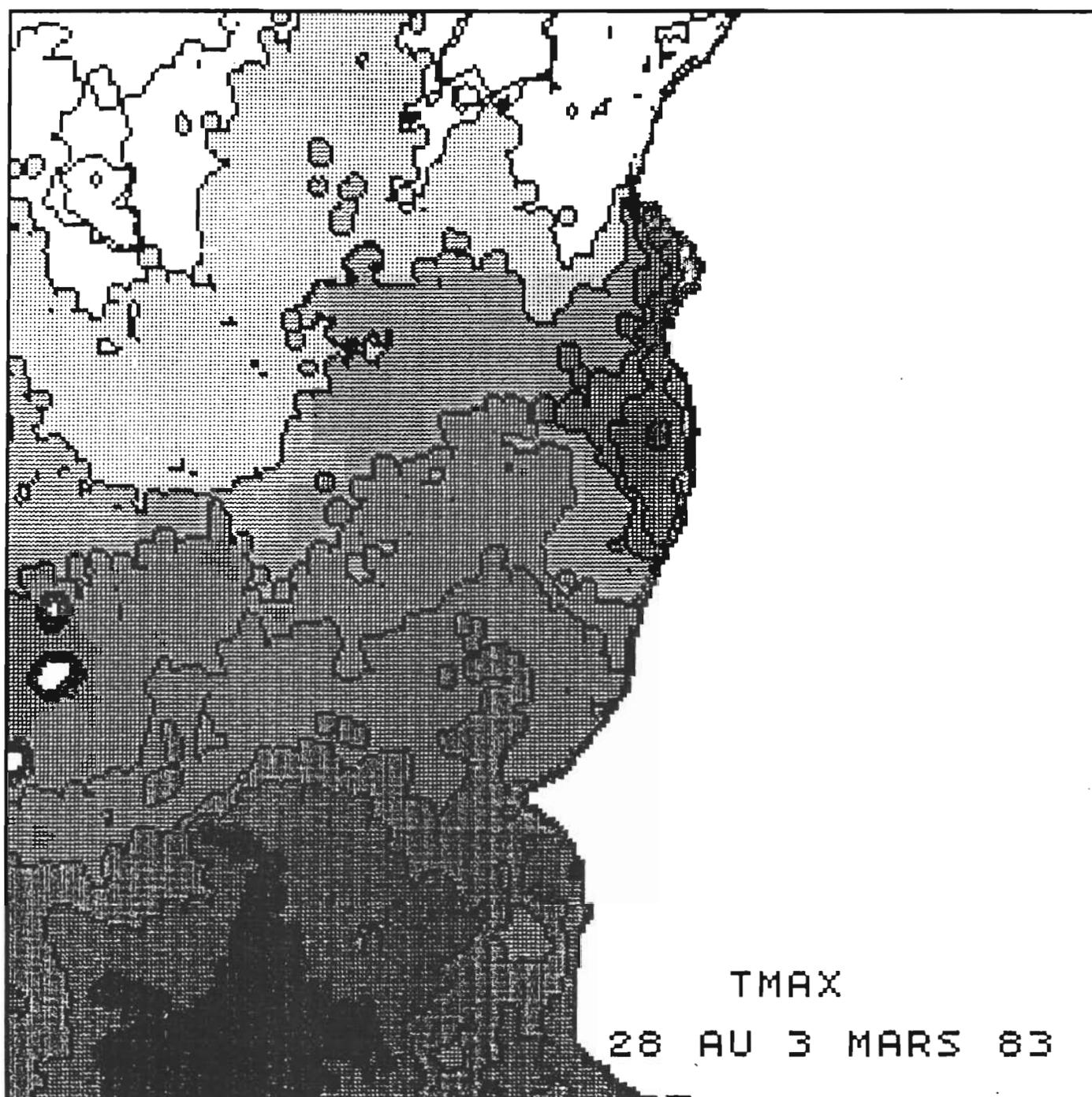


Fig.2: Exemple de Tmax montrant des températures trop élevées à la latitude de Nouakchott, dues à la présence sur la zone d'un vent de sable. Les températures les plus chaudes apparaissent en noir.

### Résultats des TMAX

La liste des TMAX créés pour l'année 1983 est donnée au tableau 2. Toutes les TMAX ne peuvent combiner le même nombre d'images. D'autre part, soit par manque de données soit en raison de masses nuageuses persistantes, on n'obtient pas une série complète de TMAX. L'ensemble des images créées, du fait des précautions décrites ci-dessus fournit néanmoins la représentation la plus proche possible de l'évolution réelle des champs thermiques.

### II 2 3 - Calibration des images

On désire comparer plusieurs images successives. Pour cela, nous avons besoin de données calibrées. Les problèmes de calibration géométrique et radiométrique ont fait l'objet de nombreuses études (Domain, 1979; Citeau et Guillot, 1982). Dans cette étude, nous avons appliqué les différentes approches développées par ces auteurs.

#### (a) Calibration géométrique

Météosat II n'est pas rigoureusement stationnaire (stabilisation effective en janvier 83). D'autre part, les tops de l'enregistrement des images peuvent varier. La superposition correcte des images s'obtient par recalage à partir de points fixes tels que les Caps de la côte.

#### (b) Calibration radiométrique

Les images extraites ne sont pas comparables entre elles, c'est à dire que, d'une image à l'autre, à un même compte numérique donné ne correspond pas la même température.

En effet, le capteur IRT n'est pas stable, soit par vieillissement, soit à cause d'influence du milieu ambiant du satellite.

Des solutions à ces problèmes ont été développées par le Centre de Traitement Européen de Darmstadt (ESOC):

- le sens de la dérive du radiomètre peut être testé théoriquement par les variations du compte numérique normalisé correspondant à la température d'un corps noir embarqué situé près des capteurs (courbe A, annexe II): ces données ne doivent malheureusement pas être utilisées sans comparaison avec des données d'une autre provenance.

- les données radiométriques doivent alors être comparées aux températures des bateaux marchands, méthode utilisée depuis les premiers résultats obtenus dans le Golfe de Guinée (Berit, 1961, 1962). Celles-ci, fournies par la Météorologie Nationale peuvent être utilisées immédiatement et de façon régulière (ce qui est réalisé à l'Antenne de Lannion en routine depuis l'opération Listao).

On peut également utiliser les cartes tracées par le National Weather Service toutes les semaines sur la zone d'intérêt. Ces cartes ont été utilisées pour étudier les deux années 1982 et 1983.

### Analyse des cartes N.W.S

A l'étude des cartes du N.W.S. (exemples figure 3), on note que les isothermes 20°C et 25°C sont des indicateurs privilégiés des masses d'eau. Au cours du temps, la position de l'isotherme 20°C oscille de part et d'autre de la latitude du Cap Blanc, tandis que celle de l'isotherme 25°C varie du nord au sud de l'Archipel des Bissagos.

	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin
1	*		1	1	1	1
2	*	.				
3	*	3	3			
4	*			4	4	
5	*			+	5	5
6	*		6			
7	*			7		
8	*				8	
9	*		9		9	
10	10	10	+			
11			o	11		
12			+	*		
13			13	*	13	
14	14			14	14	
15	15					
16			16			
17	17	*	17	17	17	
18	18	*		+	18	
19	19		19	+		
20	20	20	o	+		
21		21		+	21	
22			22		22	
23				23		
24						
25				25		
26		26	26	26		
27	27	*		27		
28	28	+	28	+	28	
29				+	29	
30						
31	31		31			

Tab.2 - Liste des TMAX constituées à partir de dates successives:

- 1 - \*\*\*\* pas de données ou données non lisibles
- 2 - ++++ nuages trop intenses et permanents
- 3 - oooo vents de sable: réchauffement.

La figure 3 indique les positions extrêmes de ces deux isothermes au cours de l'année, en saison marine chaude (5 décembre 1982) et en saison d'upwelling (8 mai 1983).

Evolution générale des isothermes 20° et 25°C.

Ces deux isothermes représentent les limites nord et sud des champs thermiques étudiés et constitueront les éléments essentiels de la calibration des données radiométriques de Météosat.

En effet:

- l'isotherme 20°C marque la limite-sud des eaux froides provenant de l'upwelling mauritanien. Il représente la zone frontale entre les deux masses d'eau distinctes: l'ETNA et l'ETSA (Eaux Tropicales Nord et Sud Atlantiques), (Minas et al., 1982). La variation spatiale et temporelle de cet isotherme est importante.

- l'isotherme 25°C marque la limite-nord des eaux tropicales et libériennes chaudes pendant la saison d'upwelling au Sénégal (Rossignol, 1973, dans Domain, 1979).

#### Méthode de calibration utilisée

Suivant les recommandations de Mrs Citeau et Guillot on recherche une correspondance entre deux isothermes des cartes NWS et deux isocontours des images Météosat. On parvient ainsi à définir l'intervalle de températures couvert par le champ thermique.

Les isothermes 20° et 25°C paraissent convenir comme bornes fixes du gradient des températures et ceci tout au long de la saison froide. La correspondance entre ces isothermes et les isocontours a été en effet testée plusieurs fois. On aboutit à l'échelle des températures représentée par la table des niveaux de gris indiquée figure 4 avec une incertitude de 1°C.

#### II 2 4- Présentation des données

Les images TMAX sont traitées en vue de l'impression de façon à ce que les champs thermiques apparaissent clairement délimités (double lissage et isocontours). En contrepartie, de nombreux détails sont perdus: continuité de certaines isolignes, tourbillons isolés...

Les opérations suivantes sont effectuées par le P1000 (annexe I):

- réduction des 256 niveaux de gris à 8 (impression)
- masque de la terre
- double lissage
- isolignage

L'échelle des gris fait correspondre aux températures les plus chaudes les plages noires (figure 4).

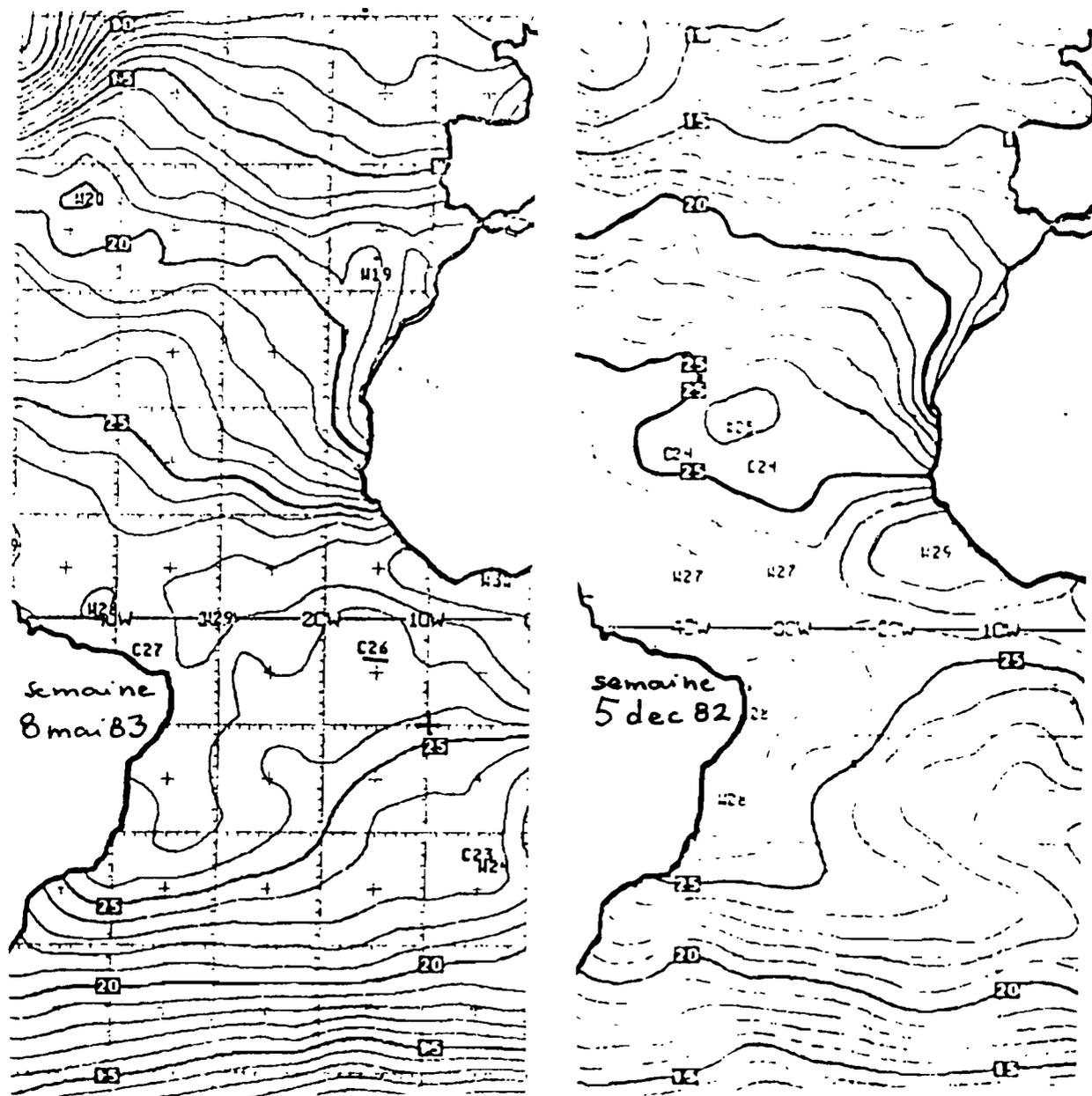


Fig.3 : Exemple de cartes du National Weather Service montrant les positions extrêmes des isothermes 20°C et 25°C ( 8 mai 82 et 5 décembre 83).

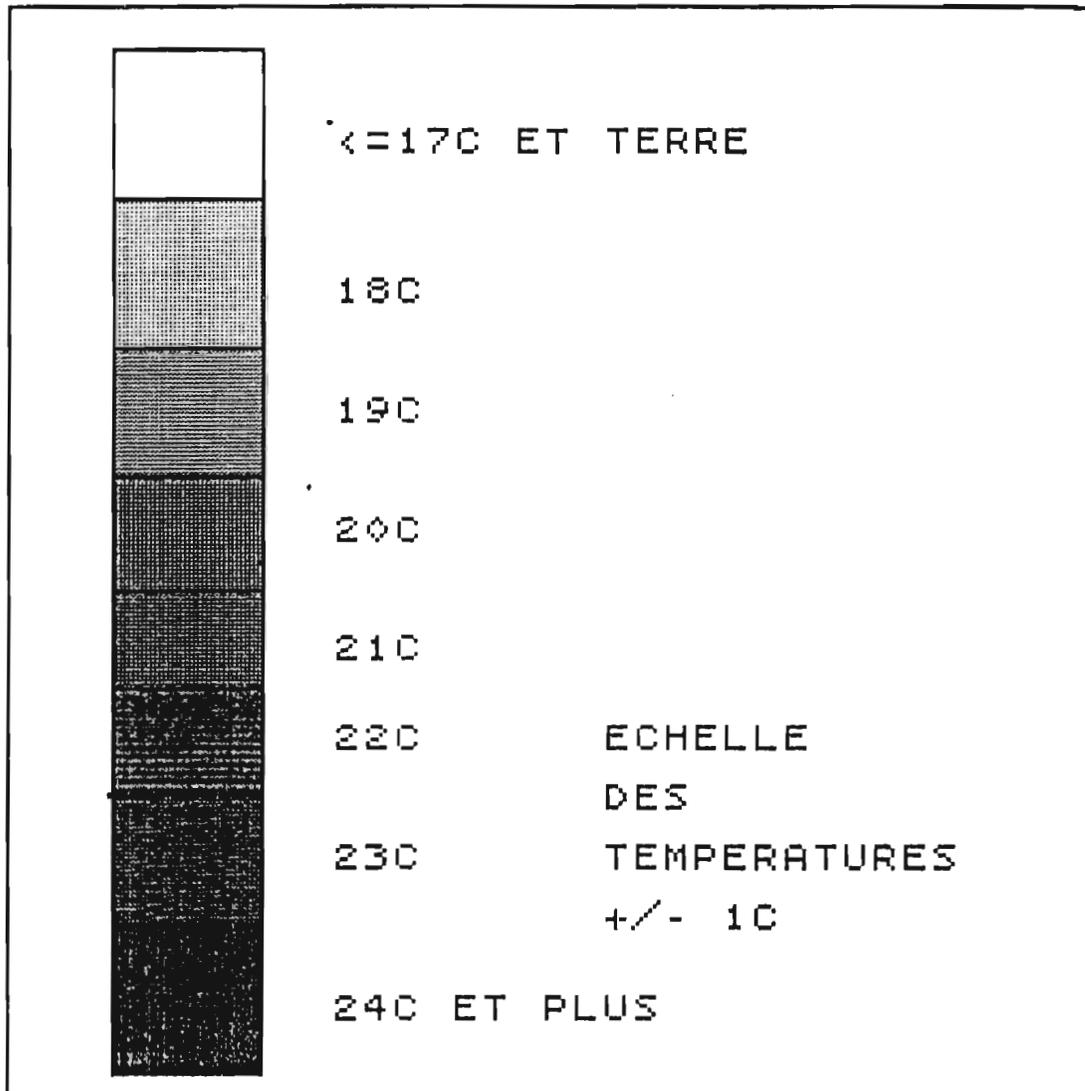


Fig. 4: Echelle des températures construite à partir de l'examen des cartes NWS sur toute la saison froide. Les températures sont données à 1°C près.

### III L'UPWELLING 1983

#### III 1- GENERALITES SUR LE MECANISME

Les mécanismes de cet upwelling ont été étudiés depuis 1950 grâce à une suite très importante de campagnes à la mer ( METEOR, CINECA, JOINT...). Une synthèse des nombreux résultats est consignée dans le Rapport du Symposium sur le Courant des Canaries, tenu à Las Palomas en 1982, et dans Mittels-taedt et al.(1975) et(1983).

##### L'upwelling

Le mécanisme simplifié de l'upwelling est le suivant: les vents dominants de direction NNE provoquent le long des côtes le déplacement des masses d'eau superficielles vers le large, dans une direction perpendiculaire à ces côtes. L'équilibre ainsi rompu doit être rétabli. Pour compenser le déplacement des eaux de surface, il y a remontée d'eaux plus profondes, situées soit au-dessus soit au-dessous de la thermocline (ou pycnocline) par le transport d'Ekman.

##### Les courants et contre-courants

Le courant des Canaries prévaut le long des côtes africaines tout au long de l'année. Celui-ci est dévié des côtes vers l'ouest à 21°N. Sa branche sud, alimentée par les forts vents du nord de la saison froide provoque un processus d'advection vers le sud des eaux froides remontées par l'upwelling Mauritanien ,cet effet apparaissant fréquemment entre le Cap Blanc et le Cap Timiris.

Il existe plus au large des côtes un contre-courant de direction opposée à celle du flot général. On assiste au renforcement de l'un ou l'autre en fonction de la direction dominante des vents.

Leur rencontre peut causer des instabilités horizontales en zone frontale

##### Modifications du schéma général

Au sud du Maroc, la configuration des côtes provoque des modifications du schéma général. Au niveau des Caps (C. Blanc et C. Vert), les eaux d'upwelling peuvent persister longtemps après la disparition de l'upwelling du nord. Au sud du Cap Vert, la répartition des masses d'eau est compliquée par l'existence de courants locaux provenant principalement de l'écoulement très important d'eaux douces des rivières, ainsi que de la bathymétrie (figure 5 ,Rebert et Privé, 1974).

On trouve généralement en période d'upwelling une poche d'eau froide bien individualisée, allongée en direction nord/sud, et décollée de la côte. La presqu'île du Cap Vert est parfois bordée par une poche plus froide ( figure 6) que l'on retrouve sur les thermographies Météosat.

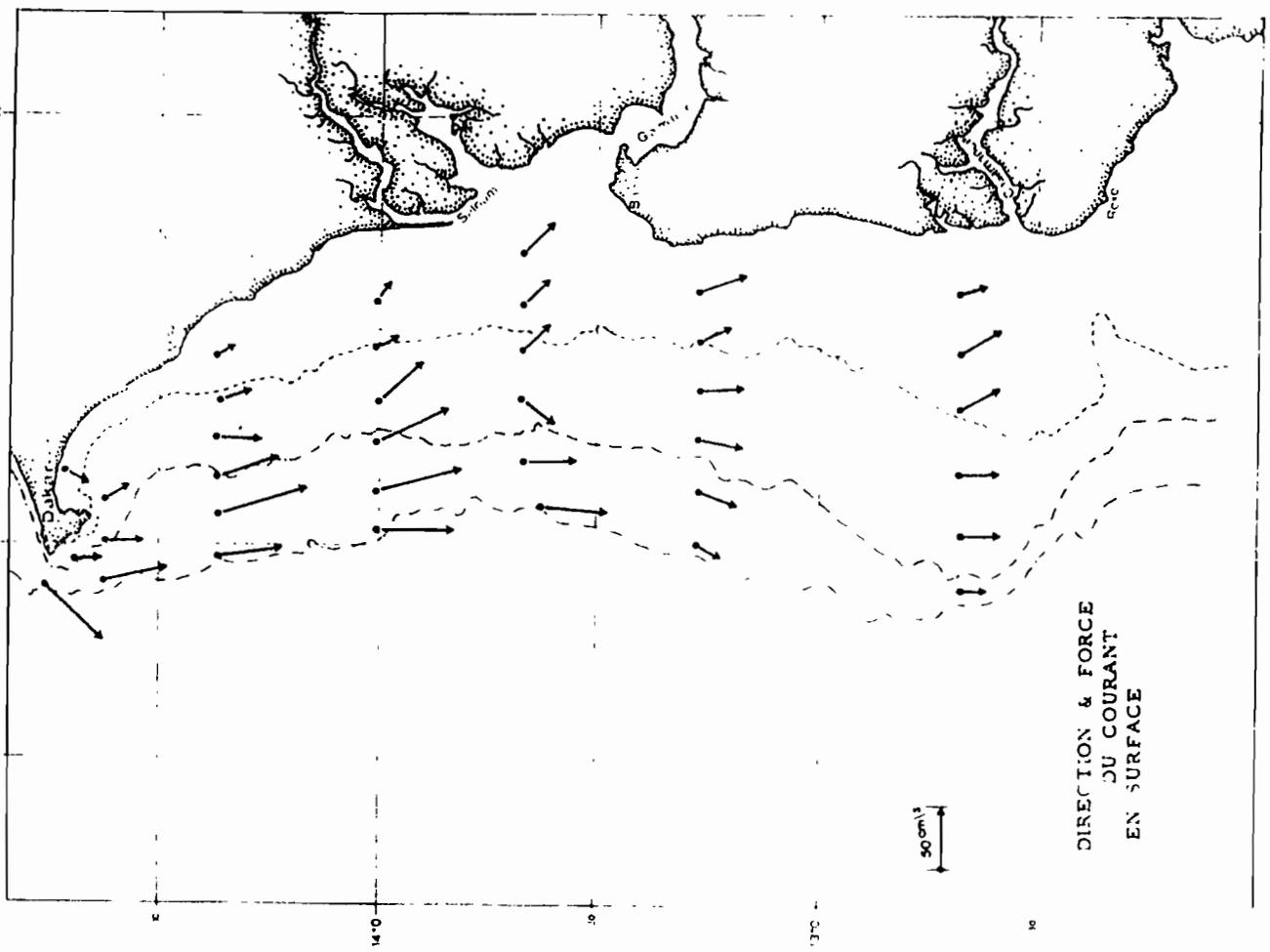
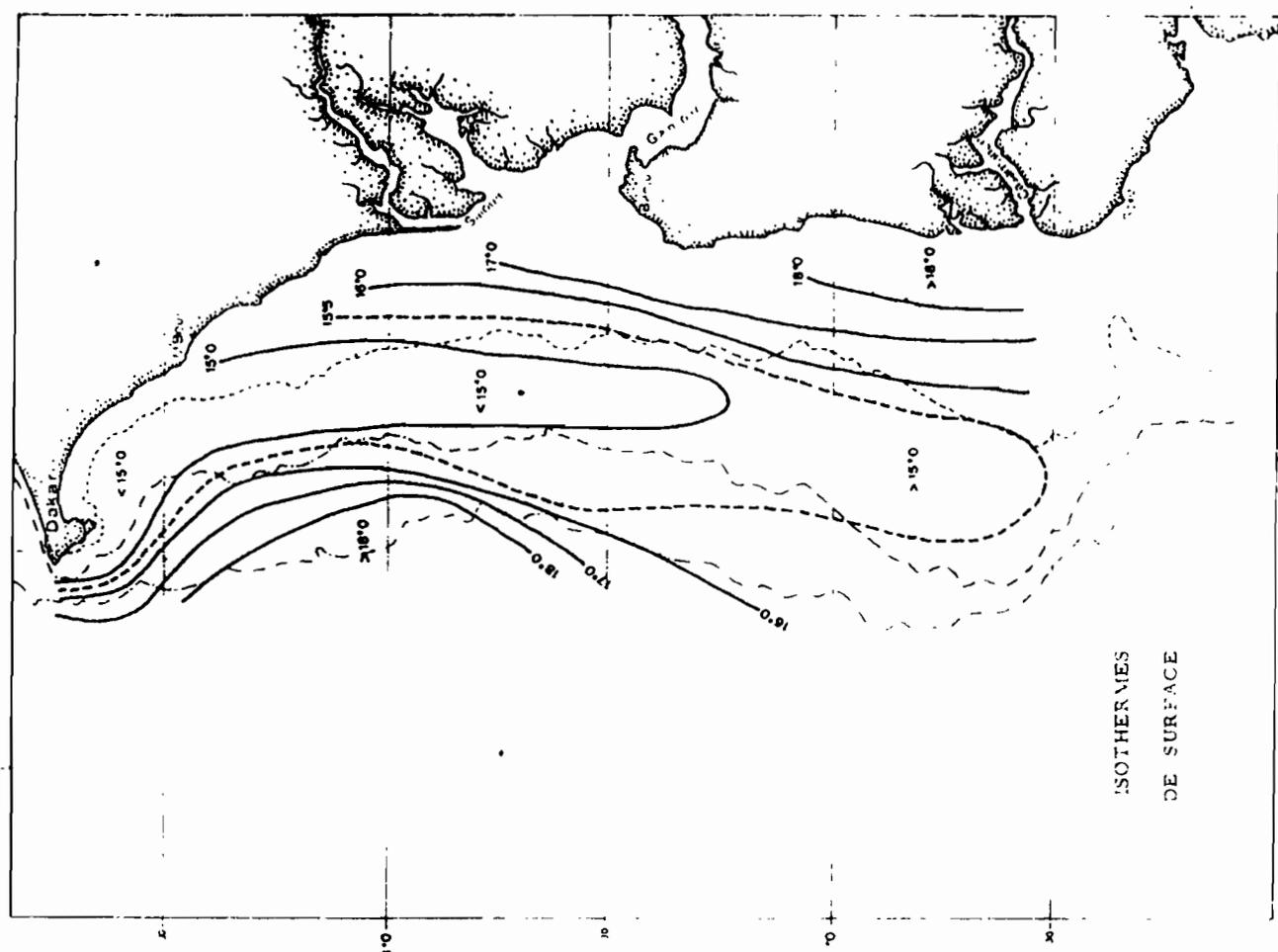


Fig. 5 : Caractéristiques des courants et de la température de surface en saison froide au large du Sénégal (mesures de terrain, Rebert et Privé, 1974).

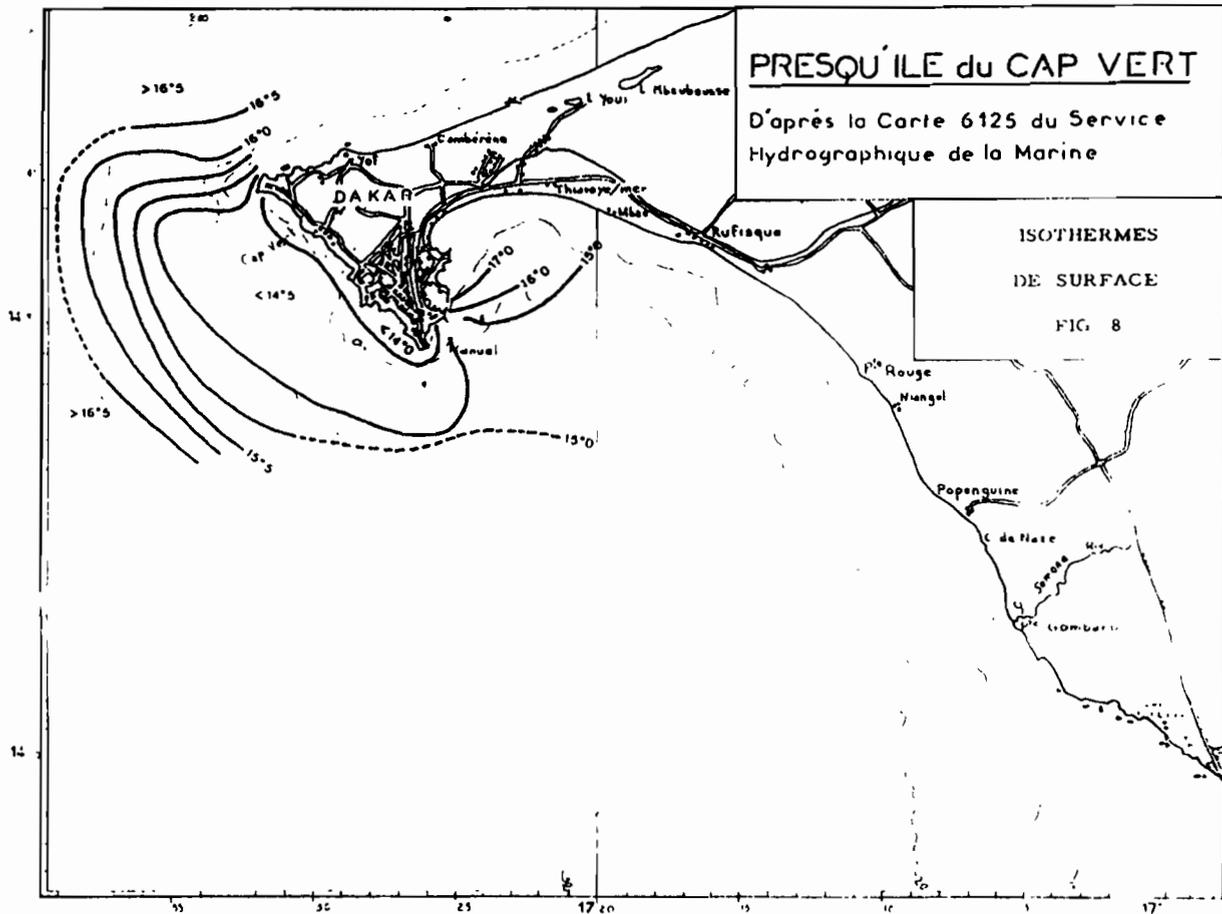


Fig. 6 : Caractéristiques de la température de surface des eaux côtières de la presqu'île de Dakar en saison froide (mesures de terrain, Rebert et Privé, 1974).

### III 2 - DESCRIPTION PAR METEOSAT

On peut distinguer pour l'upwelling 1983 4 phases:

- I/ de janvier à fin février 83: une situation de début d'upwelling au Sénégal, avec des eaux relativement chaudes (23°C)
- II/ de fin février à fin mars 83: une situation intermédiaire où l'upwelling est encore peu présent (21°C)
- III/ de fin mars à mi-mai 83: une situation d'upwelling maximum (18°C) avec des disparitions irrégulières des eaux froides
- IV/ de mi-mai à juin 83: une résorption progressive de l'upwelling du Sénégal en opposition avec le développement de l'upwelling de Mauritanie.

#### III 2 1- Phase I: upwelling faible

La phase I est le début de l'upwelling du Sénégal, celui de la Mauritanie étant déjà développé. On observe la persistance d'eaux chaudes au sud des scènes (Guinée- Bissau). Au sud du Cap Vert, les isothermes qui avaient une direction est-ouest en saison chaude tendent à s'incurver en direction nord-sud. Au nord de ce cap, ils restent perpendiculaires à la côte.

- tmax 1 (10-14 janvier 83): l'isotherme 23°C (+/- 1°C) s'incurve sous le Cap Vert pour former une poche d'eau plus froide bien individualisée.
- tmax 2, 3, 4 (15-17, 20-27, 28-31 janvier 83): la poche d'eau froide augmente de volume (23°C)
- tmax 5 ( 3-10 février 83): l'isotherme 23°C remonte au nord du Cap Vert. La poche d'eau froide est décollée de la côte; l'isotherme 20°C descend à la latitude de Nouakchott.

L' explication du peu d'intensité de l'upwelling en phase I peut être expliquée par les résultats d'une coupe effectuée au large du Cap Vert (Teisson, 1981). En effet, sous l'action d'alizés faibles, la pycnocline remonte à la surface près des côtes, sans qu'il y est remontée d'eaux profondes. Seules les eaux situées au-dessus de la pycnocline atteignent la surface, ce qui provoque un refroidissement modéré ( figure 7a) sur une largeur de 50 km environ au large des côtes, équivalente à la largeur de la poche d'eau froide visible sur les images.

Au cours des phases suivantes, des eaux de plus en plus profondes remonteront en surface, provoquant des refroidissements supérieurs.

#### III 2 2- Phase II: upwelling intermédiaire

La phase II constitue une période intermédiaire car on observe un refroidissement progressif des eaux de remontée du Sénégal, tandis que l'upwelling mauritanien est toujours bien développé. Les isothermes ont une orientation nord/sud, donc parallèle aux côtes.

- mi-février: l'isotherme 21°C passe sous le Cap Vert

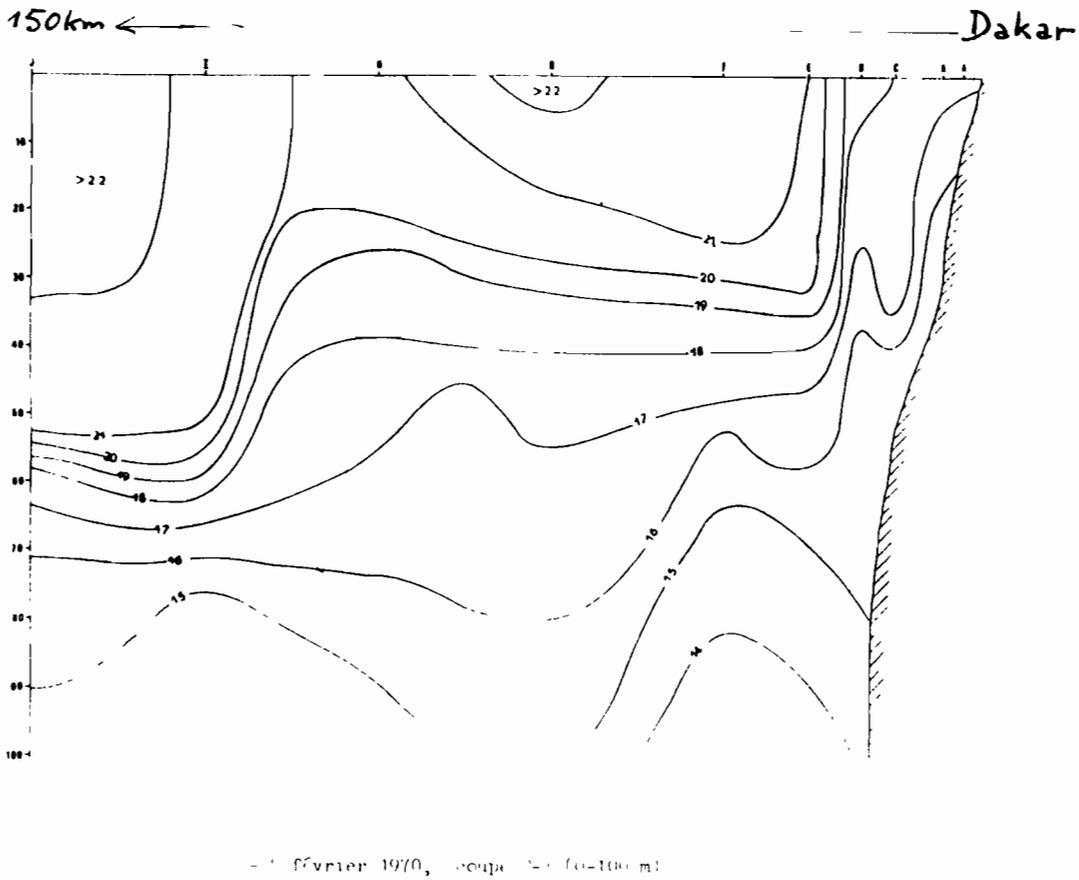
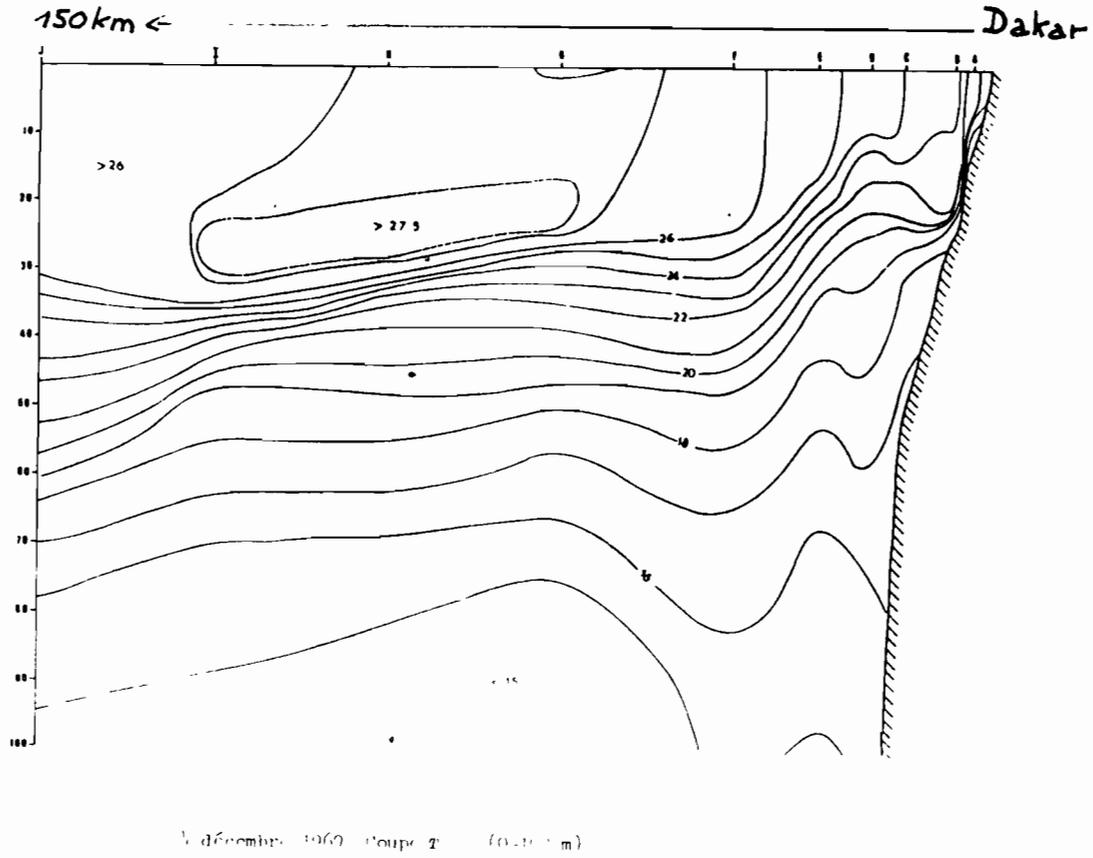


Fig. 7 : Résultats des coupes de température effectuées perpendiculairement de Dakar vers le large (sur 50 km):  
 - a en saison froide (début d'upwelling): 4 décembre 69  
 - b en saison froide (upwelling développé): 5 février 70, (Teisson, 1981).

- tmax 6 ( 21-26 février 83): l'isotherme 20°C est présent sous le Cap Vert. La poche d'eau froide à 22°C est large (150 km) et déformée par un tourbillon en direction du large. Il y a d'autre part descente des eaux froides à la latitude de Saint-Louis (20°C).
- tmax 7 ( 1-3 mars 83): réchauffement des eaux sous le Cap Vert
- tmax 8 ( 6-9 mars 83): refroidissement à 21°C; réchauffement du Banc d'Arguin.
- tmax 9 ( 13-16 mars 83): refroidissement à 20°C; passage de cet isotherme du nord (Cap Blanc) au sud (sous le Cap Vert) en continuité: situation caractéristique de l'upwelling; développement de masses d'eau froide au Cap Timiris. Les eaux chaudes du sud remontent au nord par le large.
- tmax 10, 11 (17-19 mars , 22-26 mars 83): réchauffement apparent de la scène.

### III 2 3 - Phase III: upwelling maximal

L'upwelling est très développé, aussi bien à Dakar qu'au nord de la Mauritanie. Les isothermes froids "descendent" le long des côtes: en effet, des refroidissements côtiers supplémentaires se produisent entre le Cap Timiris et le Cap Vert provenant d' upwellings ou d'une advection des eaux froides superficielles vers le sud par le courant dominant. Des cellules d'eau chaude sont isolées près des côtes.

- tmax 12 (28-31 mars 83): l'isotherme 18°C s'oriente de façon continue depuis le Cap Blanc jusqu'au Cap Vert; une poche d'eau très froide est développée sous ce Cap.
- tmax 13 (1-4 avril 83): situation hydrologique identique mais déformation des champs thermiques par des tourbillons.
- tmax 14, 15 (7-11 mars, 14-17 mars 83): situation de réchauffement avec des isothermes à 20 et 21°C sous Dakar.
- tmax 16 (23-25 avril 83): allongement nord/sud de la poche d'eau froide sous Dakar; descente de l'isotherme 19°C à la latitude de Saint Louis.
- tmax 17 (26-27 avril 83): refroidissement de la scène (influence de brumes?)
- tmax 18 (1-4 mai 83): upwelling bien développé, marqué par la forme tourbillonnaire de la masse d'eau froide au Sénégal et par la descente au sud des eaux froides de Mauritanie.

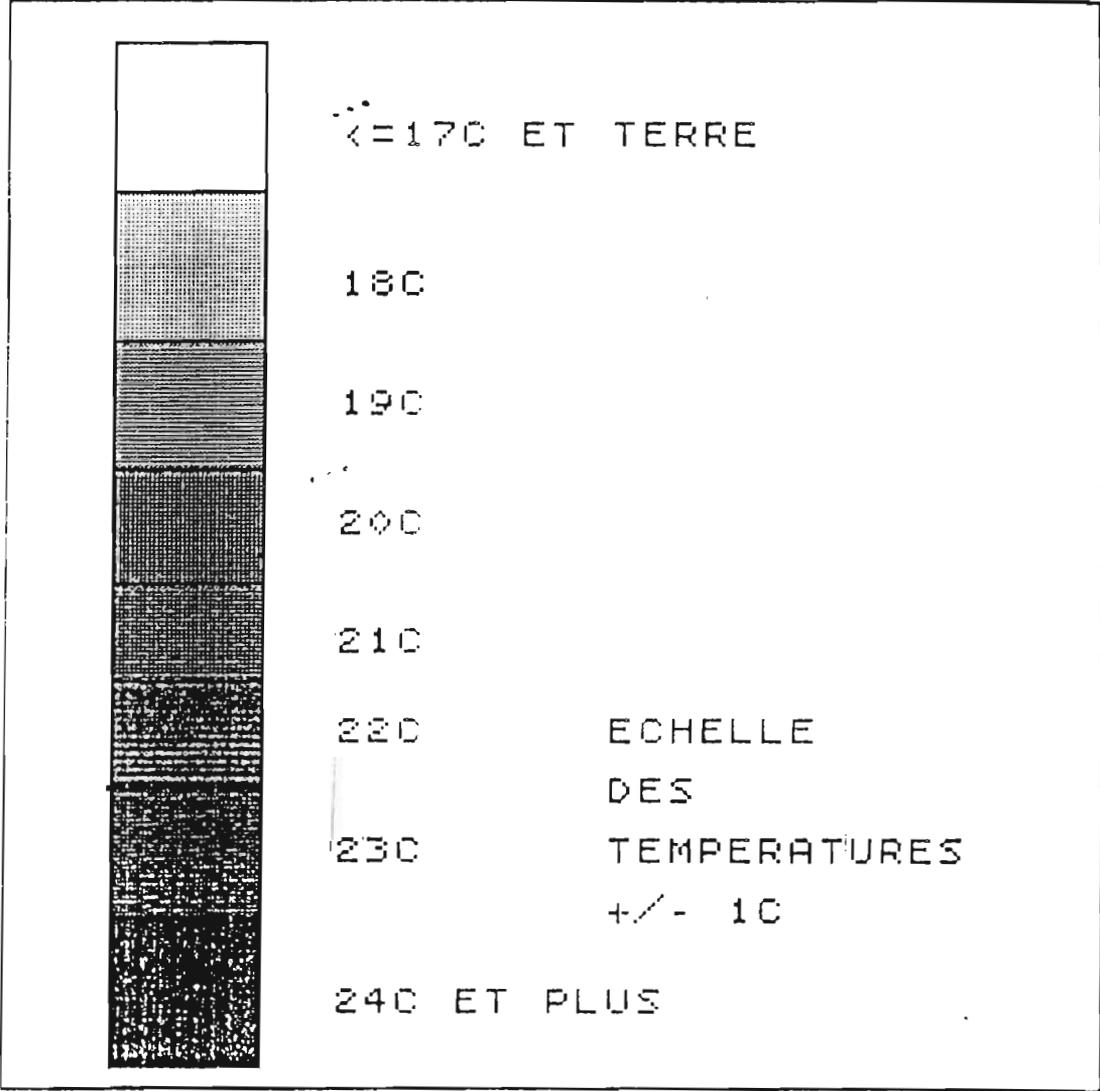
Le mécanisme de l'upwelling en phase optimum est expliqué par la deuxième coupe effectuée sur la radiale Cap Vert/ large et commentée par Teisson (1981), et présentée en figure 7b.

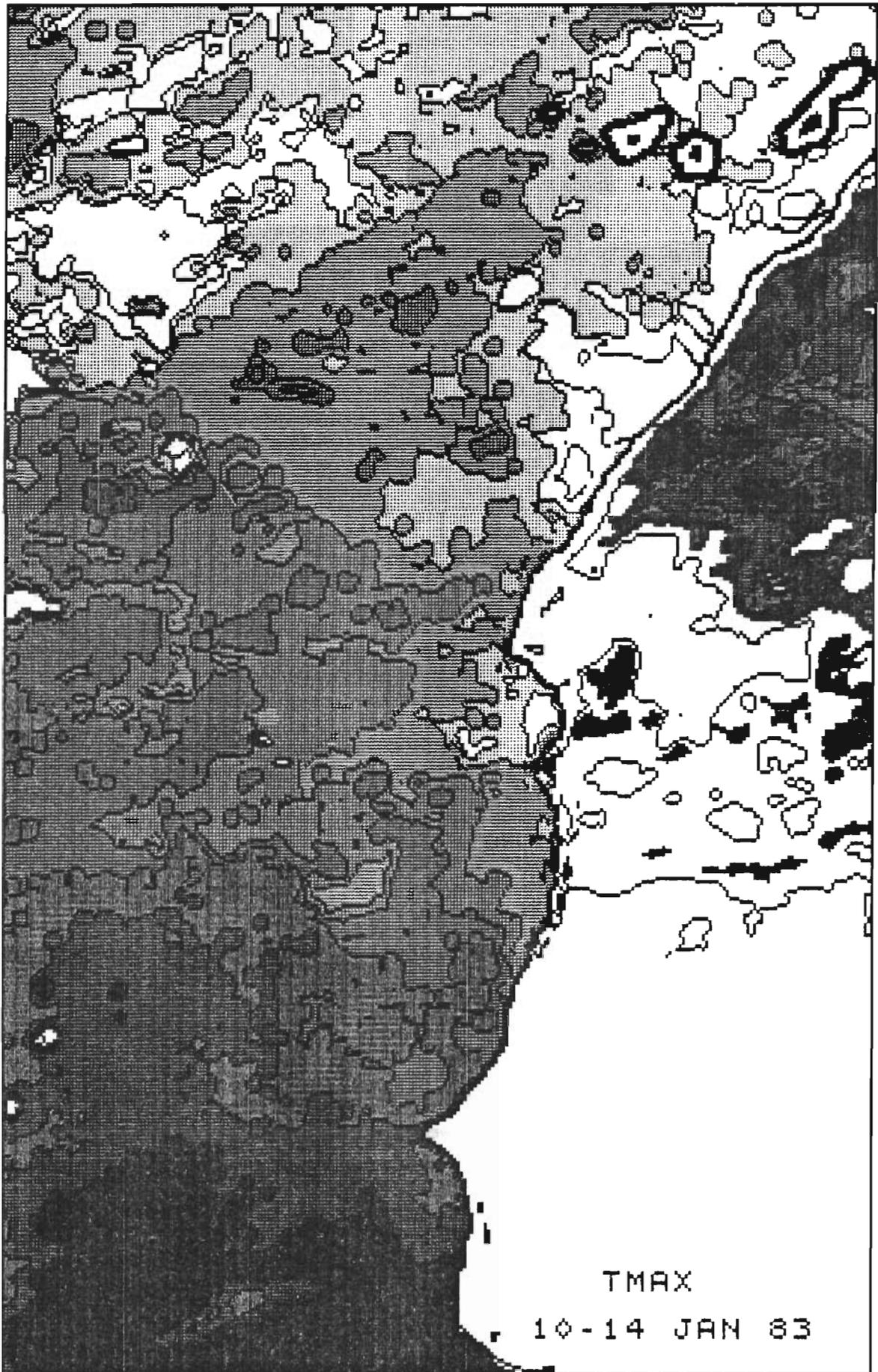
En effet, en période d'alizés forts, la remontée de la pycnocline en surface s'accompagne de l'arrivée d'eaux profondes situées sous la thermocline, et donc très froides. La remontée de ces eaux à la surface a lieu à une distance élevée des côtes, correspondant à la rupture du plateau continental (soit la limite des 100m). Les tmax de la phase III illustrent donc la phase finale du modèle de Hagen ( figure 7b).

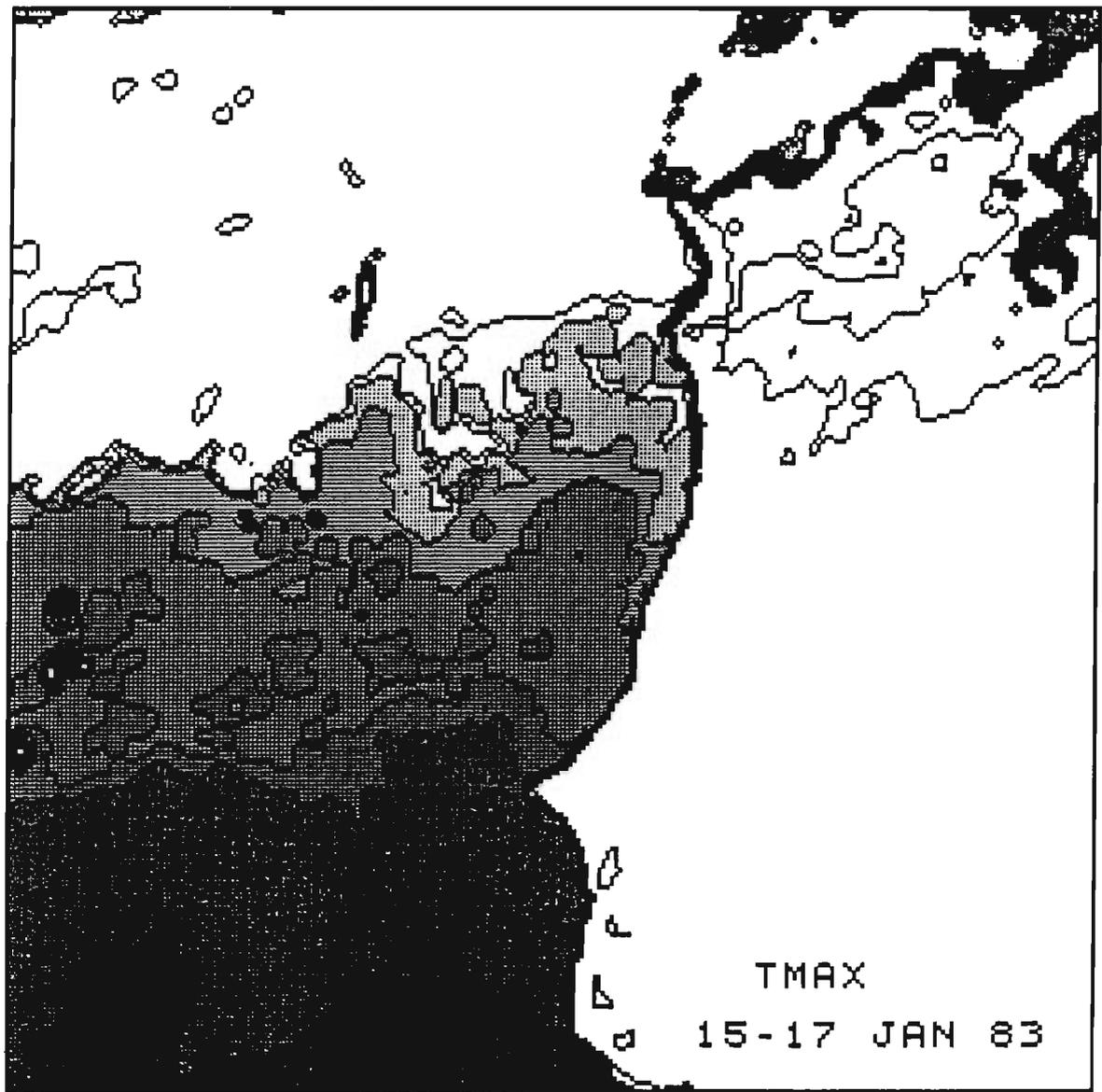
#### III 2 4- Phase IV: disparition de l'upwelling

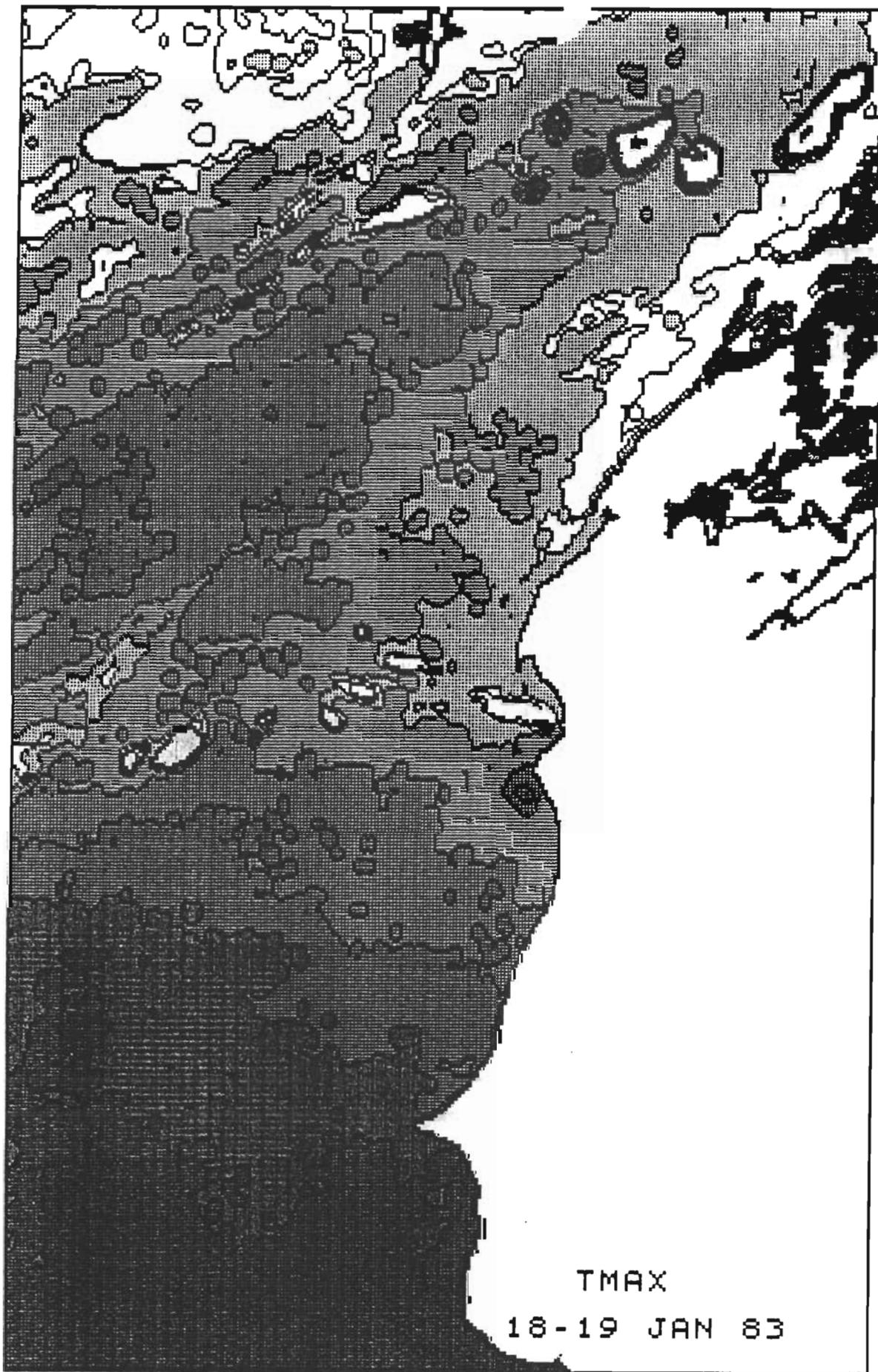
A partir de mai 83, on assiste à la régression de l'upwelling du Sénégal jusqu'à sa résorption en juin 83. L'upwelling mauritanien se développe pendant cette même période: il y a descente des eaux froides très au sud et extension de ces eaux vers le large.

- tmax 19 (5-8 mai 83): upwelling développé (sous brumes); températures minimales au nord.
- tmax 20 (14-17 mai 83): réchauffement des eaux (20°C sous Dakar); extension des eaux froides vers le large au Cap Blanc.
- tmax 21 (14-17 mai 83): extension des plages d'eau froide côtières vers le large et déformation par tourbillons ( eaux à 17°C) à la latitude de Saint Louis; upwelling sénégalais en régression (eaux à 20°C).
- tmax 22, 23 (18-21, 22-26 mai 83): réchauffement des masses d'eau situées sous le Cap Vert où les isothermes reprennent leur orientation est/ouest caractéristiques de la saison chaude( eaux à 22°C); upwelling mauritanien toujours développé.
- tmax 24 (29-5 juin 83): envahissement par les eaux chaudes de l'ensemble des zones côtières de latitude inférieure à celle du Cap Blanc.

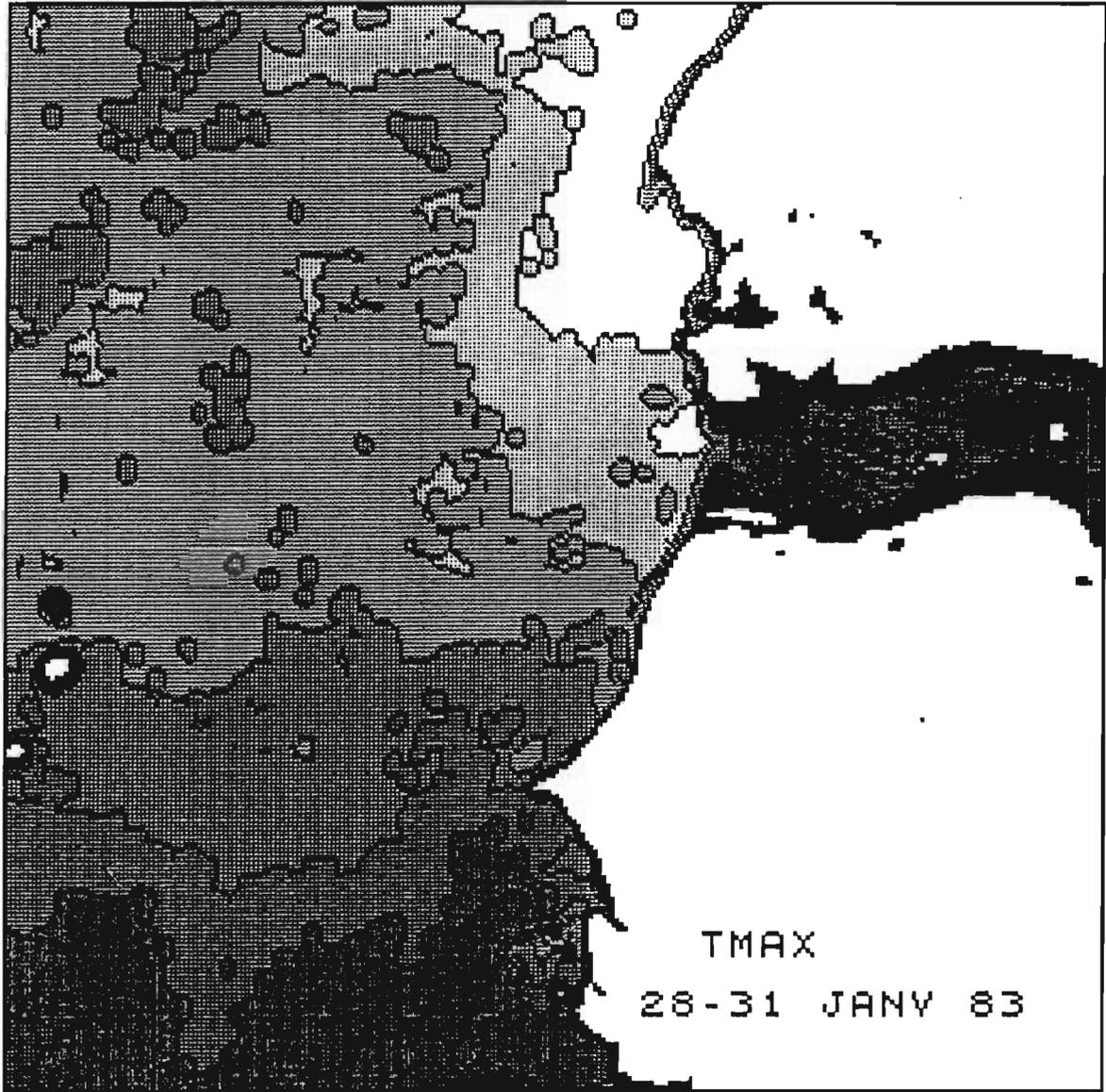


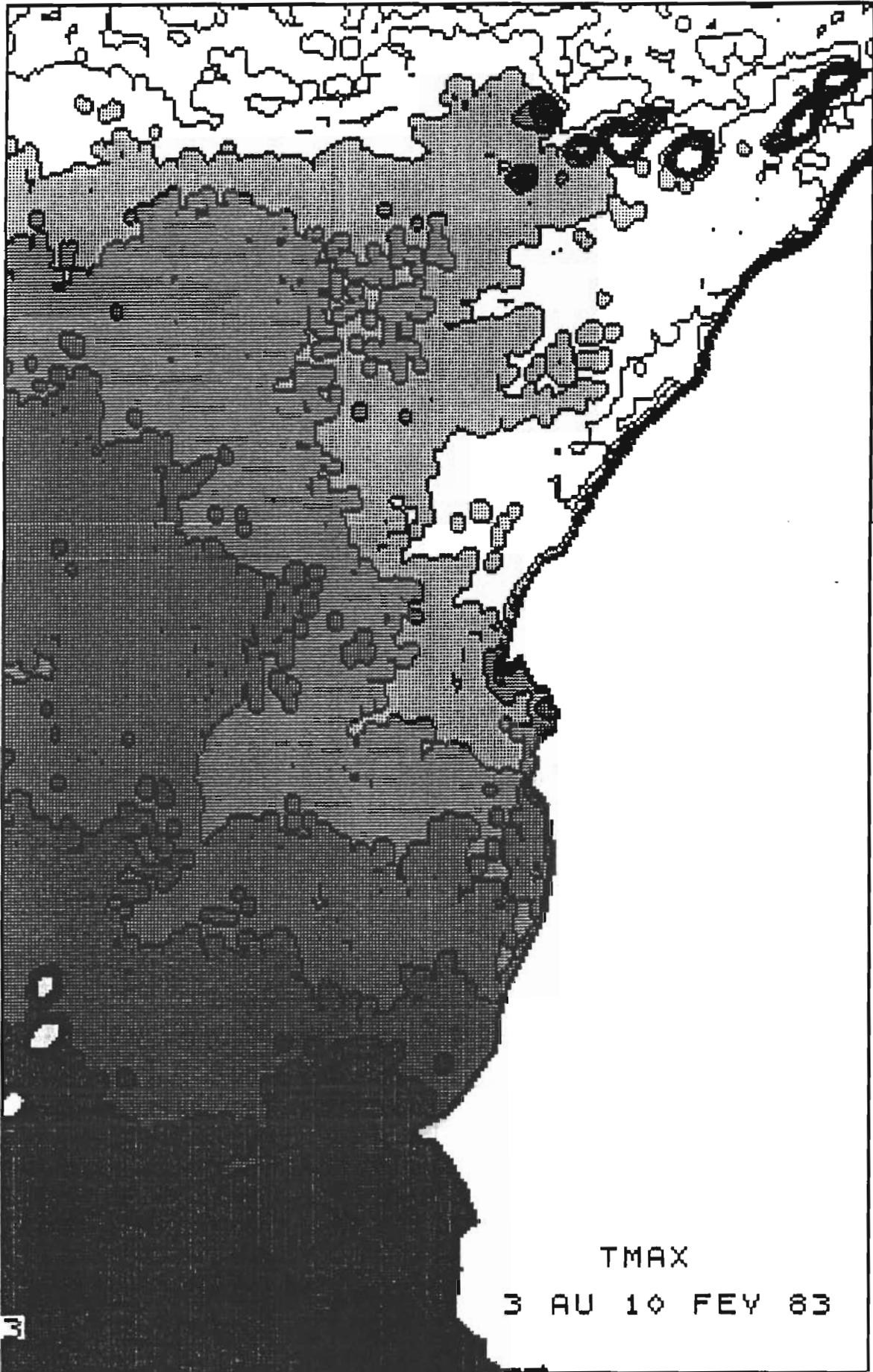




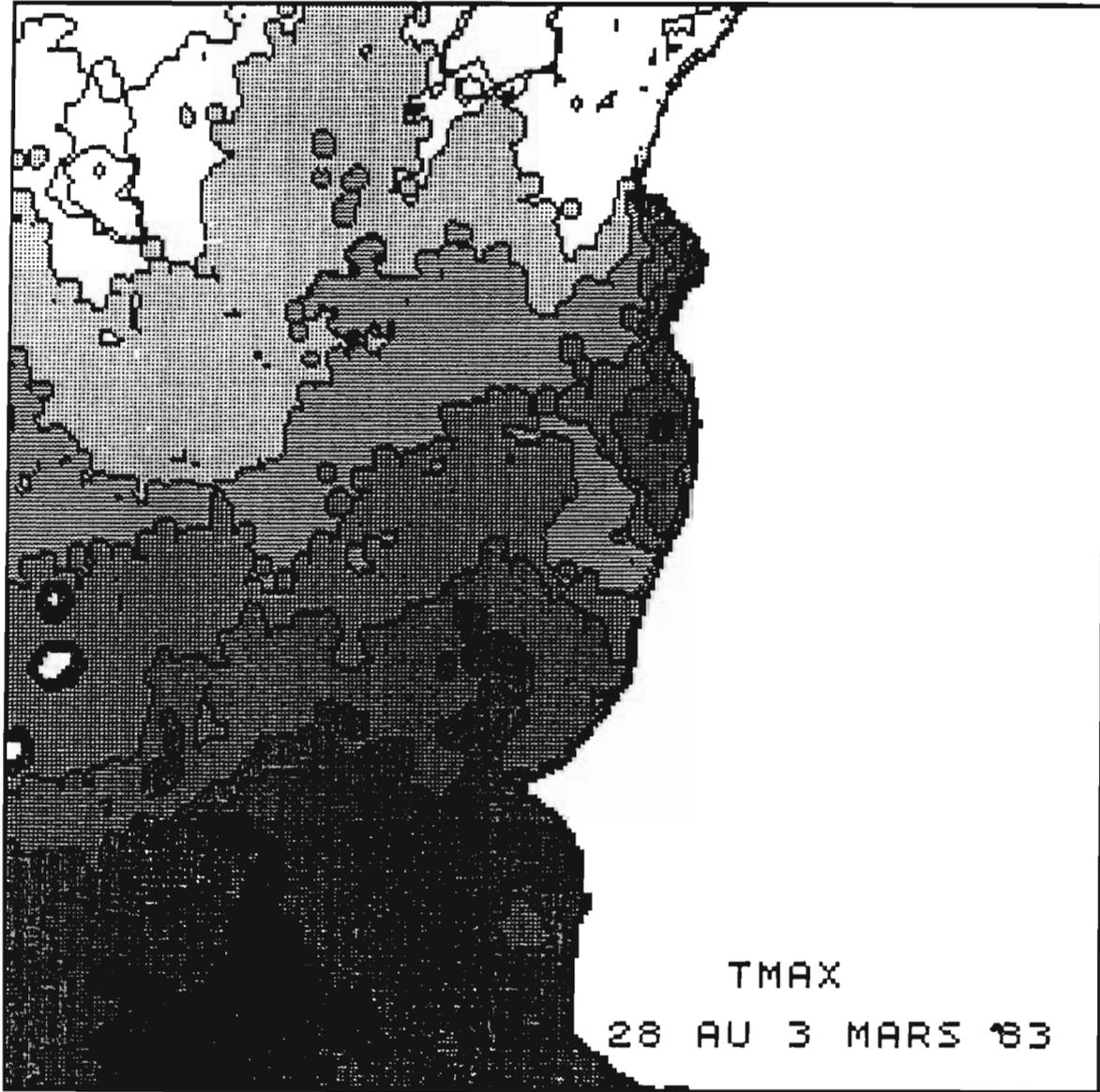


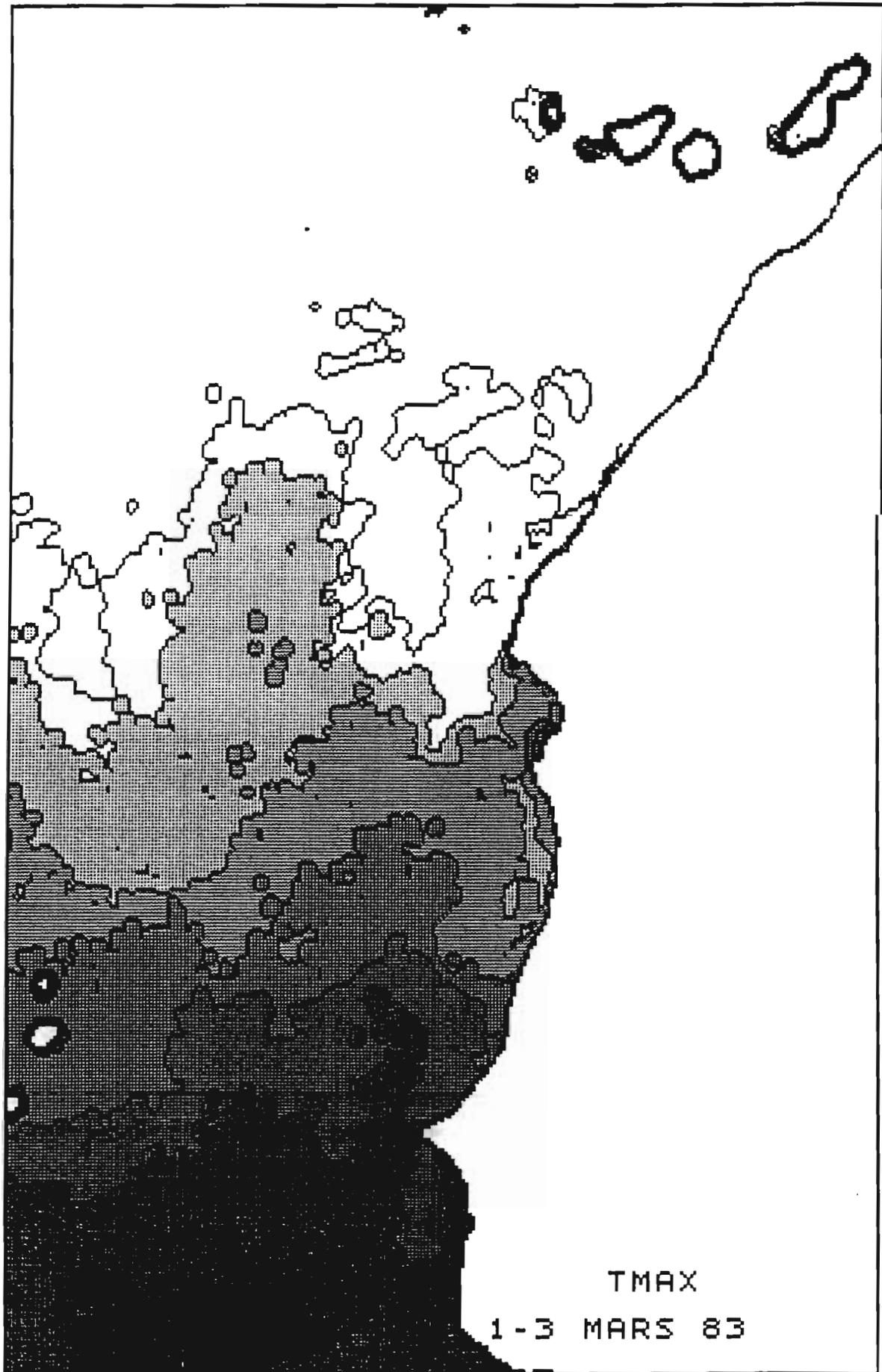




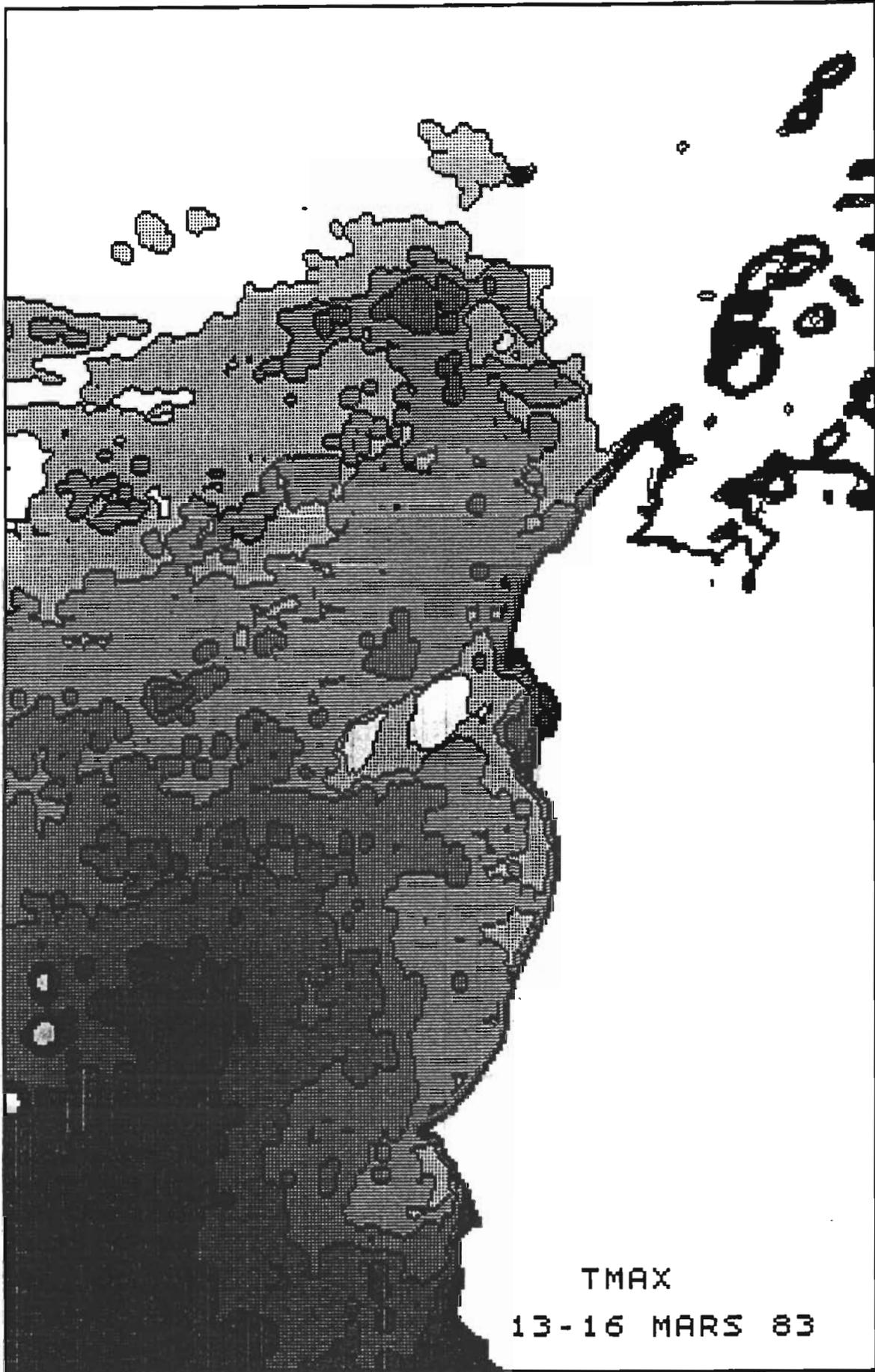


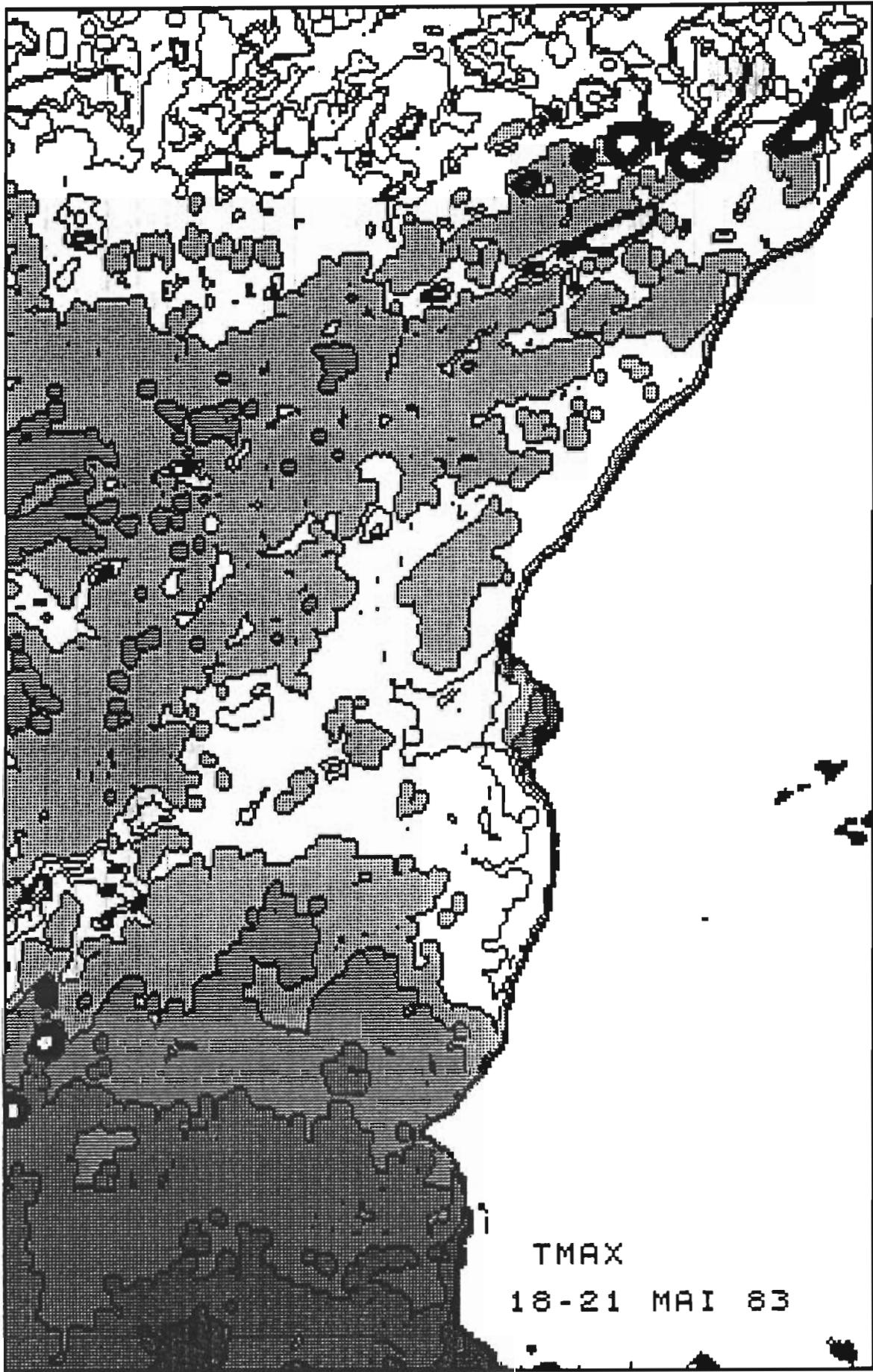




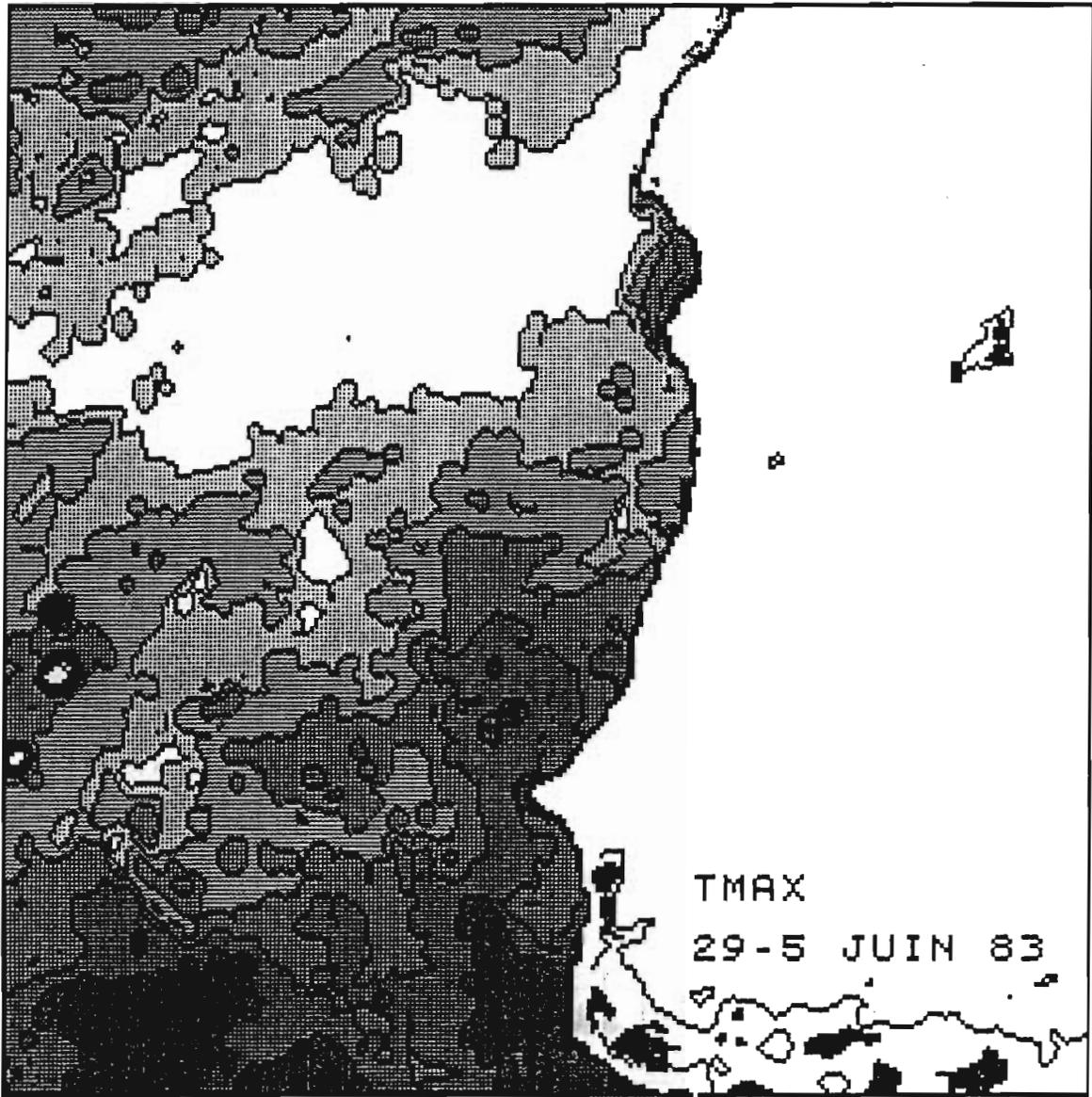












#### IV COMPARAISON DES UPWELLINGS DE 1982 ET 1983

##### IV 1 - Analyse comparative des images de Météosat 82 et 83

Les évolutions des températures pour 1982 et 1983 sont synthétisées de façon comparative aux tableaux 4A et 4B.

Pour rendre compte de l'évolution des champs thermiques en 1982, on a étudié les cartes des T<sub>max</sub> réalisées par l'Antenne ORSTOM de Lannion. Les exemples présentés sous forme d'interprétation des ces cartes permettent d'illustrer les descriptions ( Cartes A,B,C,D,E,F).

D'après le tableau 4, il apparaît que:

- l'upwelling 1982 est déjà développé en janvier au Sénégal alors qu'il n'apparaît nettement qu'au mois de mars en 1983.

les deux premiers mois de la saison froide correspondant à la mise en place de cet upwelling.

l'upwelling 1982 est terminé au mois de juin, alors qu'en 1983, il est en diminution progressive à cette date.

On note donc que la puissance de l'upwelling est diminuée pour la deuxième année.

##### IV 2- Etude comparative des cartes N.W.S.

Sur les cartes du National Weather Service, on sélectionne la zone des côtes ouest africaine correspondant à notre étude (carré de 20° de latitude et de longitude ). On reporte uniquement sur ce carré les isothermes 20 et 25°C, et ceci pour chaque semaine ( figures 8 et 9). On schématise de cette façon le déroulement de l'upwelling, et on compare aisément les deux saisons froides 1982 et 1983.

Année 1982 (début janvier 82)

L'isotherme 20°C descend dès le mois de janvier du Cap Blanc sous le Cap Vert. Du mois de février au mois de mars, il oscille de part et d'autre de cette position extrême. A la mi-avril, il remonte au nord à la latitude de Saint Louis et ne retourne à sa position initiale qu'en juin 82. L'upwelling est donc très développé et persistant.

L'isotherme 25°C descend très au sud, au-dessous de la latitude de 8°N.

Année 1983 (début décembre 82)

En observant le déplacement de l'isotherme 20°C, on note que l'isotherme 20°C ne descend pas au sud de la Presqu'île du Cap Vert, mais reste à la latitude de Saint-Louis ou Kayar.

L'isotherme 25°C ne descend pas au-dessous de la latitude 10°N.

L'analyse des cartes NWS réalisée de façon rapide montre que les années 1982 et 1983 diffèrent: par la date d'apparition de la saison froide, par l'évolution des isothermes au cours de cette période. D'après ces cartes, on ne note pas d'upwelling en 1983.

Les observations tirées des images Météosat coïncident avec celles du NWS en ce sens que les cartes ne montrent pas de refroidissement marqué en 1983 (l'isotherme 20°C reste constamment au-dessus du Cap Vert). Le seul signe de l'upwelling en 1983 est la descente des eaux chaudes à leur limite sud en milieu de saison froide. Par contre, l'isotherme 20°C en 1982 est représenté au-dessous du Cap Vert pour l'ensemble de la période froide.

1982

---

JANVIER	Période d'upwelling Sénégal (fig A 5 janvier 82) 1 ère semaine : isotherme 20°C 2 ème semaine : isotherme 21,5°C 3 ème semaine : isotherme 19°C L'isotherme 19°C passe sous Dakar en fin de mois avec continuité depuis le Cap Blanc. Upwelling mauritanien bien développé.
FEVRIER	Période d'upwelling maximal Sénégal (fig B 26-28 février 83) Isotherme 19°C sous Dakar avec advection côtière Peu de changements au cours du mois
MARS	1 ère semaine : pas de changement/ Février puis réchauffement Isotherme à 20°C sous Dakar. Isolement de la poche d'eau froide (fig C 6 mars 82) 3ème semaine : upwelling maximal
AVRIL	Upwelling maximal (fig D 17-21 avril 82) Isotherme 19°C sous Dakar Advection ou upwelling supplémentaire au Cap Timiris Réchauffement à la fin du mois
MAI	Upwelling continu Isothermes 20-21°C sous Dakar avec continuité depuis le Cap Blanc Isolement de la poche d'eau froide (fig E 13-19mai 82)
JUIN	Période de fin d'upwelling Réchauffement par les eaux tropicales: isotherme 25°C sous Dakar (fig F 3-9 juin 82).

---

Tableau 4 A : Synthèse de l'évolution de l'upwelling pendant la saison froide en 1982.

1983

JANVIER	<p>Période d'upwelling faible (isothermes parallèles, est/ouest Formation de la poche d'eau froide à 23°C Situation inchangée au cours du mois Upwelling mauritanien développé</p>
FEVRIER	<p>1 ère semaine : situation inchangée Période d'upwelling intermédiaire Isotherme 22°C , puis 21°C sous Dakar. Advection d'eaux froides au nord</p>
MARS	<p>1 ère semaine : situation inchangée / Février Refroidissement progressif: isotherme 20°C sous Dakar 4 ème semaine : période d'upwelling maximal Isotherme 18-19°C sous Dakar</p>
AVRIL	<p>Période d'upwelling maximal Isotherme 18°C sous Dakar. Advection d'eaux froides au Cap Timiris puis diminution d'intensité Pleine intensité à la fin du mois</p>
MAI	<p>Upwelling maximal au début du mois (isotherme 18°C sous Dakar) puis réchauffement sous le Cap Vert "Descente" importante des eaux froides du Cap Blanc jusqu'à Saint-Louis Persistance de la poche d'eau froide ( à 22°C)</p>
JUIN	<p>Période de diminution de l'upwelling Isothermes 22°C et 23°C sous Dakar Fin de saison froide mi-juin</p>

Tableau 4 B: Synthèse de l'évolution de l' upwelling pendant la saison froide en 1983.

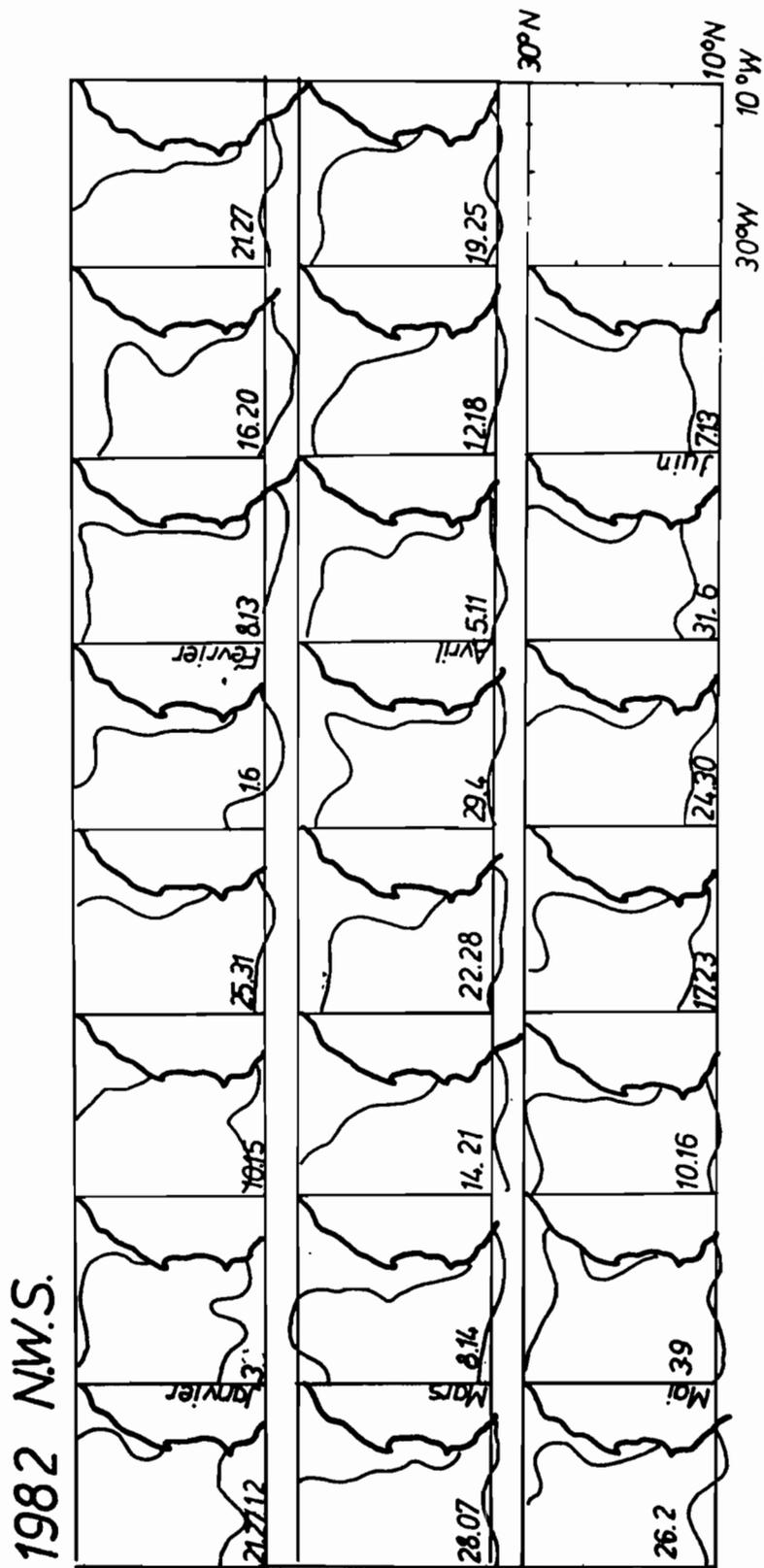


Fig. 8: Evolution schématisée des isothermes 20°C et 25°C d'après les cartes NWS pour la zone d'étude : carré de 20° en latitude et en longitude.

ANNEE 1982

1983 NWS.

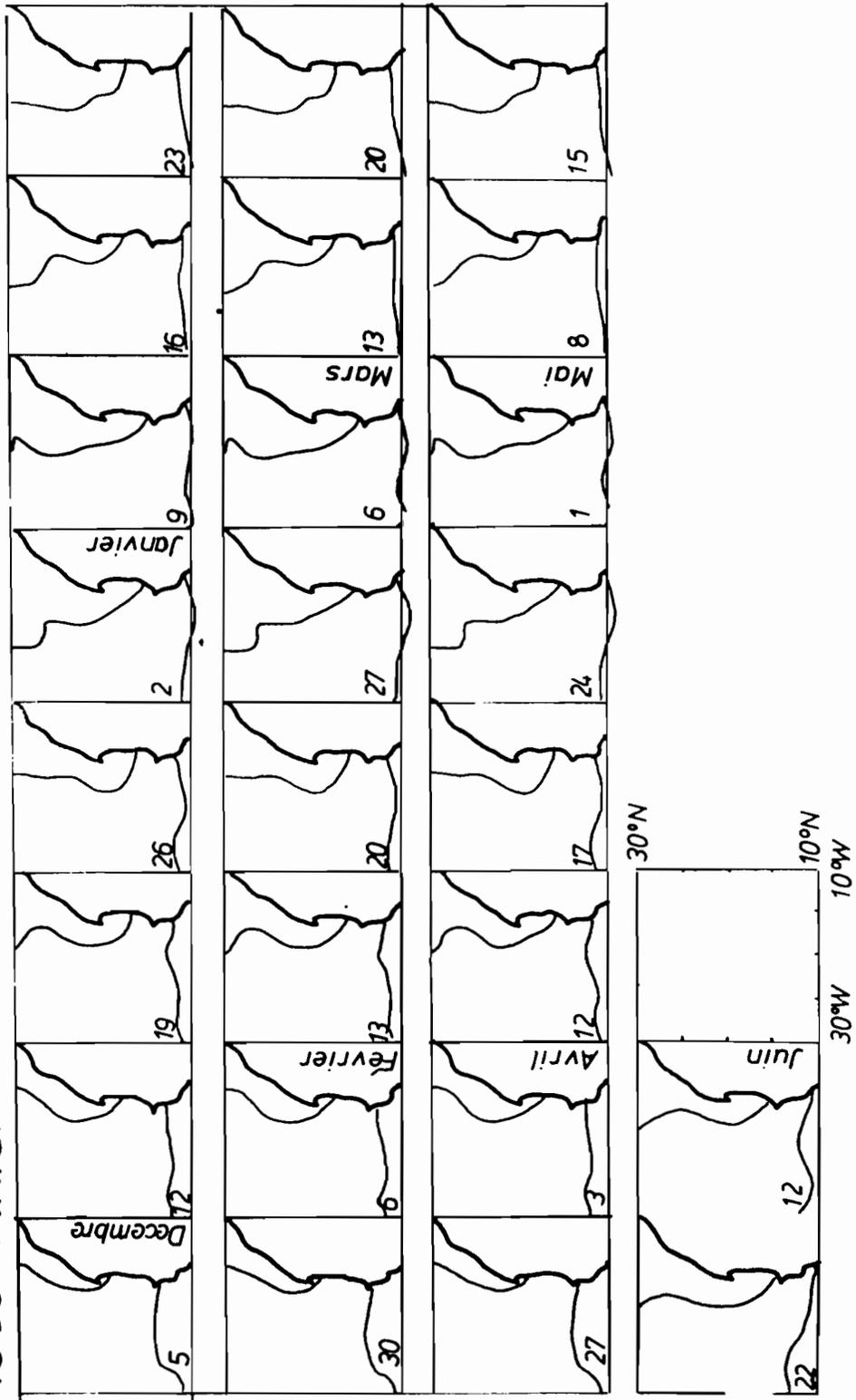
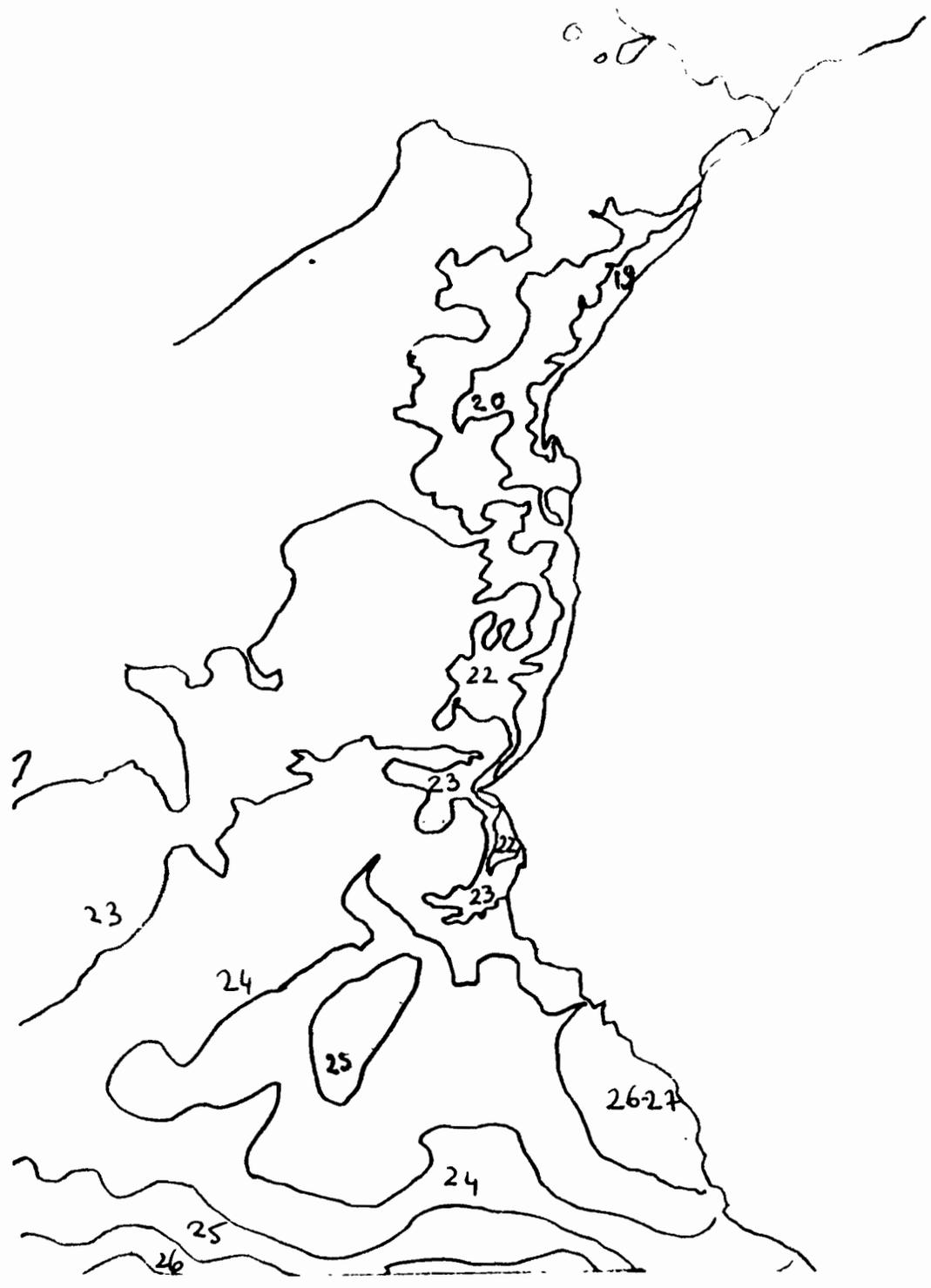


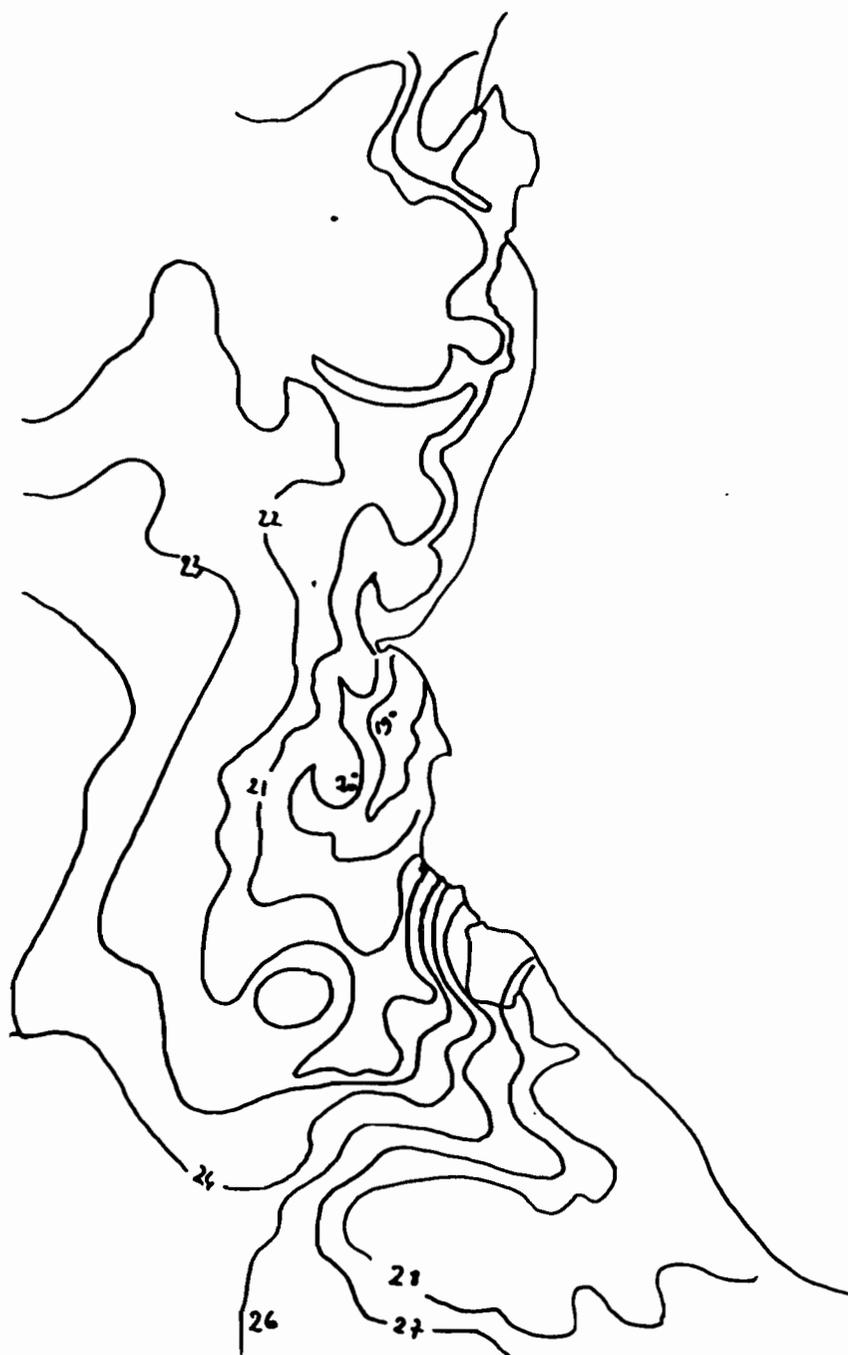
Fig. 9: Evolution schématisée des isothermes 20°C et 25°C d'après les cartes NWS pour la zone d'étude: carré de 20° en latitude et en longitude.

ANNEE 1983



Carte A: Champs thermiques (Document ORSTOM -LANNION) calibrés d'après les températures relevées par les navires marchands (Météorologie Nationale).

5 JANVIER 1982



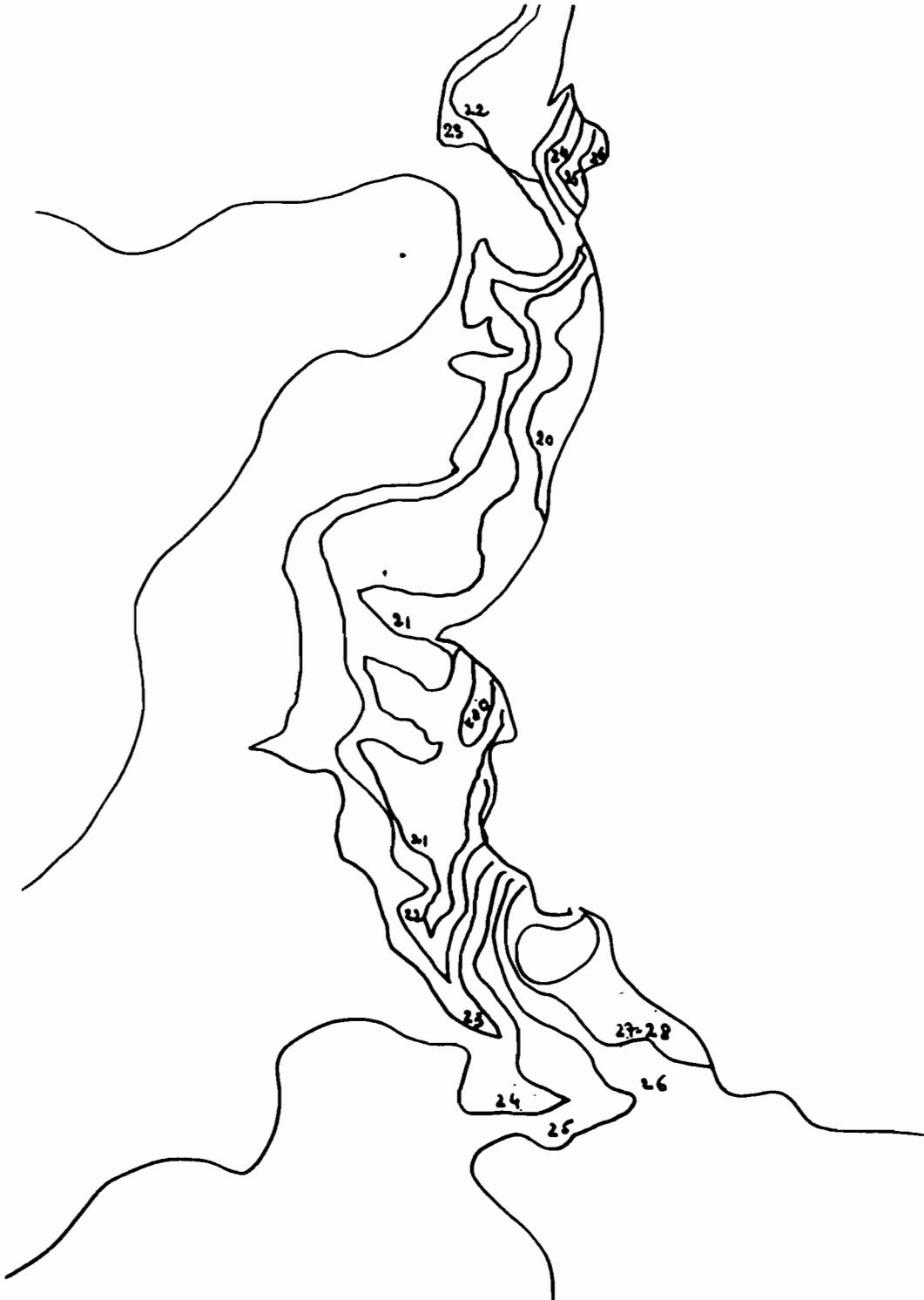
Carte B: Champs thermiques (Document ORSTOM-LANNION) calibrés d'après les températures relevées par les navires marchands (Météorologie Nationale)

TMAX 26-28 FEVRIER 1982



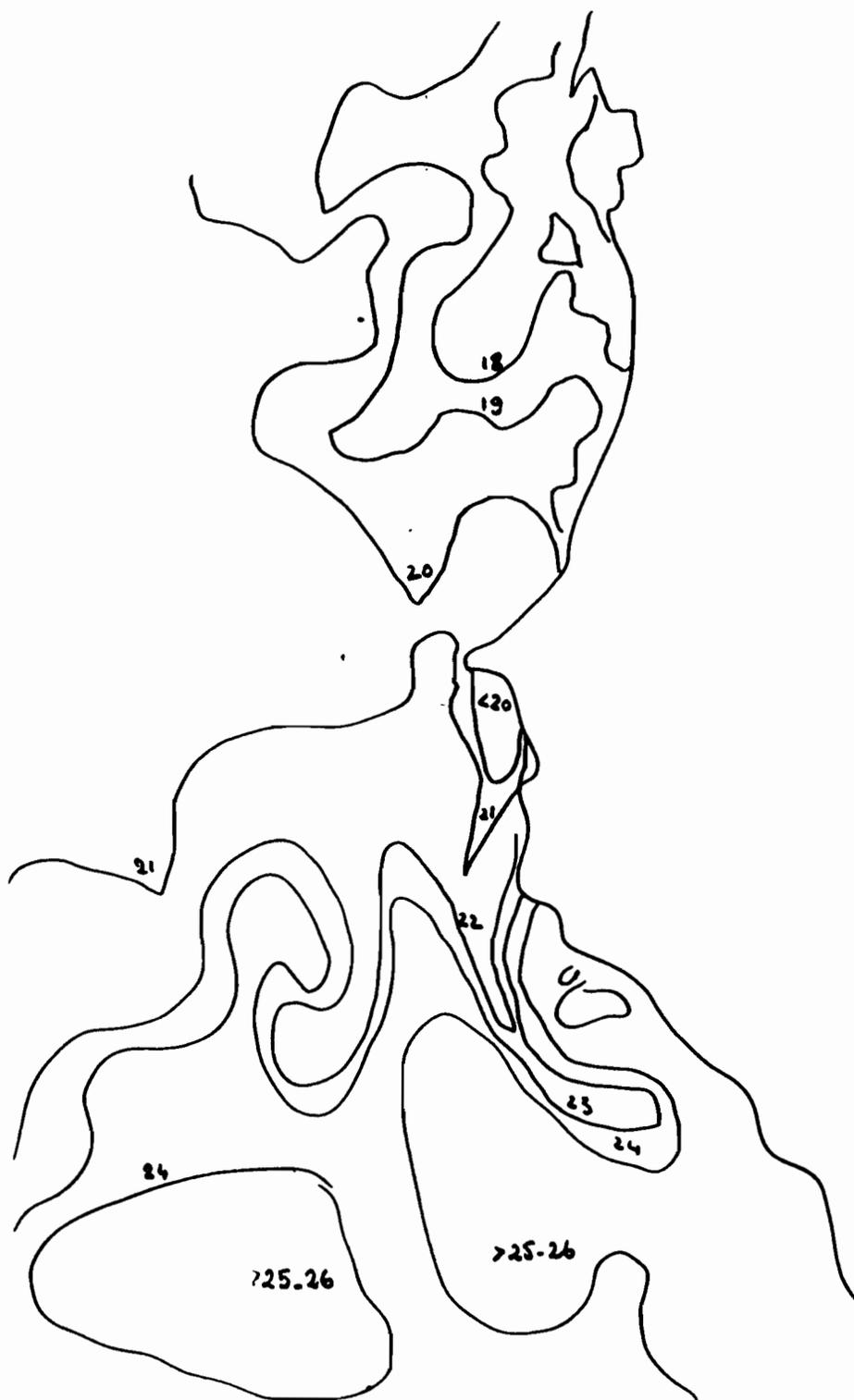
Carte C: Champs thermiques (Document DRSTOM-LANNION) calibrés d'après les températures relevées par les navires marchands (Météorologie Nationale)

6 MARS 1982



Carte D: Champs thermiques (Document ORSTOM-LANNION) calibrés d'après les températures relevées par les navires marchands (Météorologie Nationale).

TMAX 17-21 AVRIL 1982



Carte E: Champs thermiques (Document ORSTOM-LANNION) calibrés d'après les températures des navires marchands (Météorologie Nationale).

TMAX 13-19 MAI 1982



Carte F: Champs thermiques (Document ORSTOM-LANNION) calibrés d'après les températures relevées par les navires marchands (Météorologie Nationale).

TMAX 3-9 JUIN 1982

#### IV 3 -Comparaison avec les autres années

L'évolution de la température à Dakar a été mesurée depuis 1968 par le CRODT et est présentée en figure 10 ( Hisard et Hénin, (1983), à paraître). Les variations interannuelles sont très importantes. Les années 1981,1982 et 1983 appartiennent à une période de saison froide peu marquée, contrairement à la série des années 1968.

D'après Mittelstaedt (1983), la situation typique de l'upwelling développé correspond à celle décrite en 1973 (Fig.11). L'isotherme 18°C descend largement au sud de la presqu'île de Dakar. L'isotherme 16°C descend jusqu'à Saint-Louis.

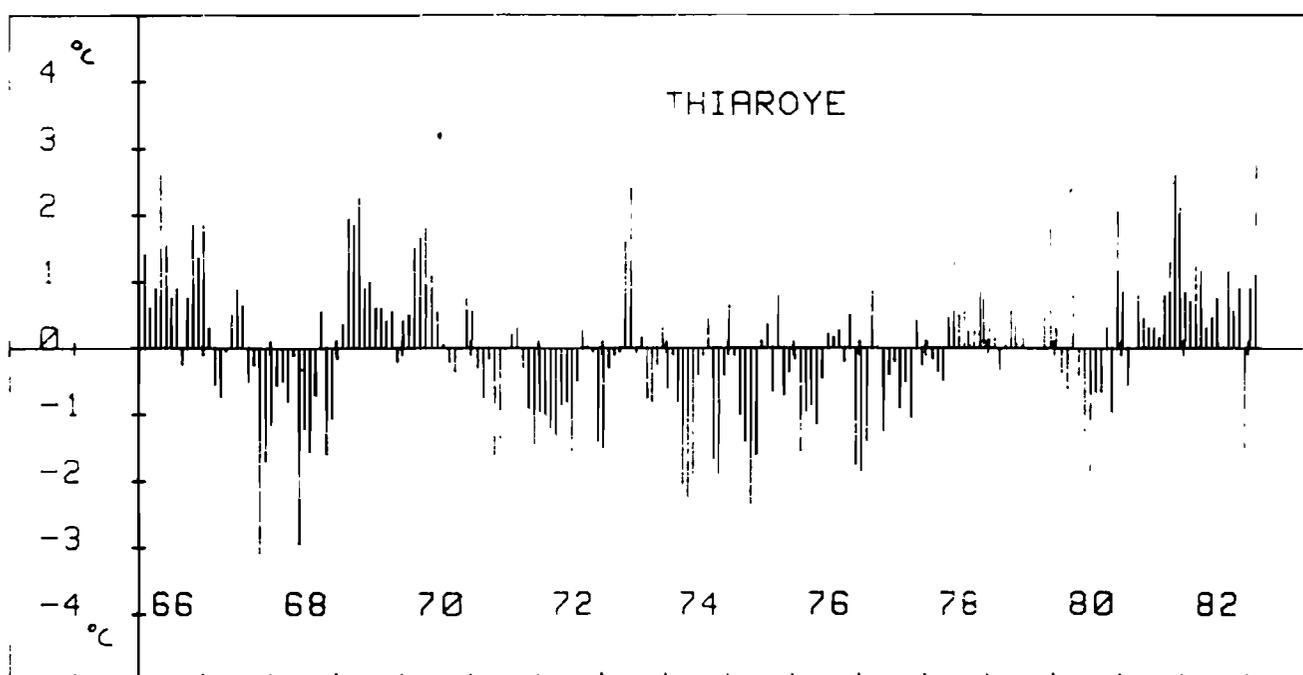


Fig. 10: Evolution de la température de surface, mesurée à la station océanographique de Dakar-Thiaroye (CRODT), Hisard et Hénin, (1983).

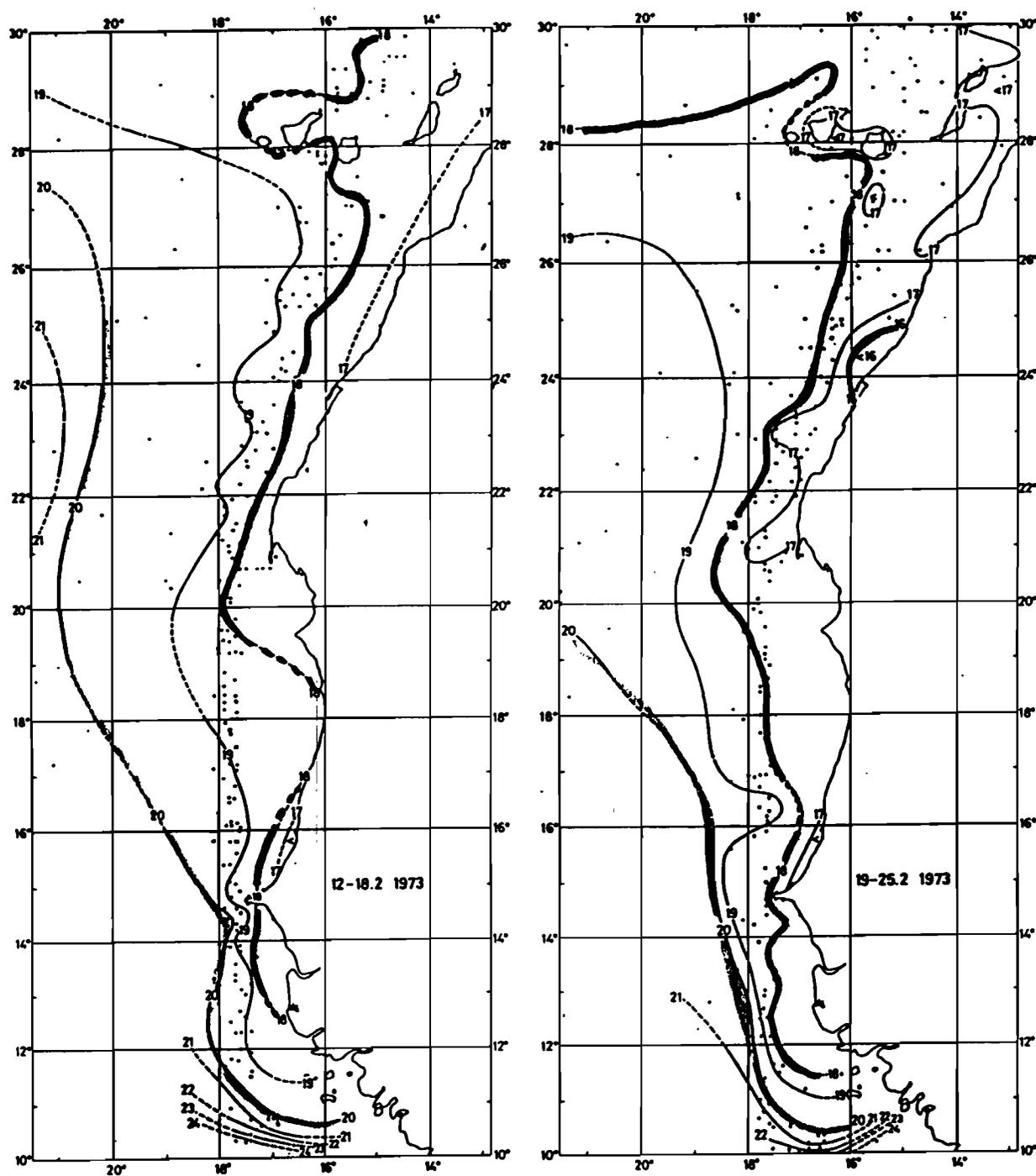


Fig. 11: Situation typique de la période d'upwelling développé: isotherme 18°C sous le Cap Vert (Mittelstaedt et al. 1983).

## V TENTATIVES D'INTERPRETATION

On analysera deux critères permettant d'expliquer les différences observées pour les deux années consécutives 1982 et 1983:

- le régime des vents
- le contexte climatique

### V 1- Les influences du vent

Théoriquement, le phénomène d'upwelling est couplé aux variations de la vitesse et de la direction du vent intervenant au cours de l'année, de la saison et de périodes plus petites telles que la dizaine de jours.

Sur la zone mauritanienne, une corrélation significative a été mesurée entre les périodes typiques de vent fort (5 à 10 jours) et les variations de température des eaux de surface de l'upwelling (Grall et al., 1982), les paramètres physico-chimiques (Voituriez et Herbland, 1982), de façon générale (Mittelstaedt, 1975).

Il est plus difficile de retrouver de telles corrélations aux latitudes sud, et ceci d'autant plus que les Caps affectent les régimes de vent local et de circulation des eaux à la côte.

Néanmoins, une telle différence entre les deux upwellings 1982 et 1983 devrait pouvoir s'expliquer en fonction des caractéristiques des vents mesurées sur l'ensemble de la côte ouest-africaine.

#### V 1 1- Observation des B.M.E.

Les Bulletins Météorologiques Européens sont la seule source d'information disponible sur la côte africaine, chaque jour, sur trois stations côtières situées généralement au:

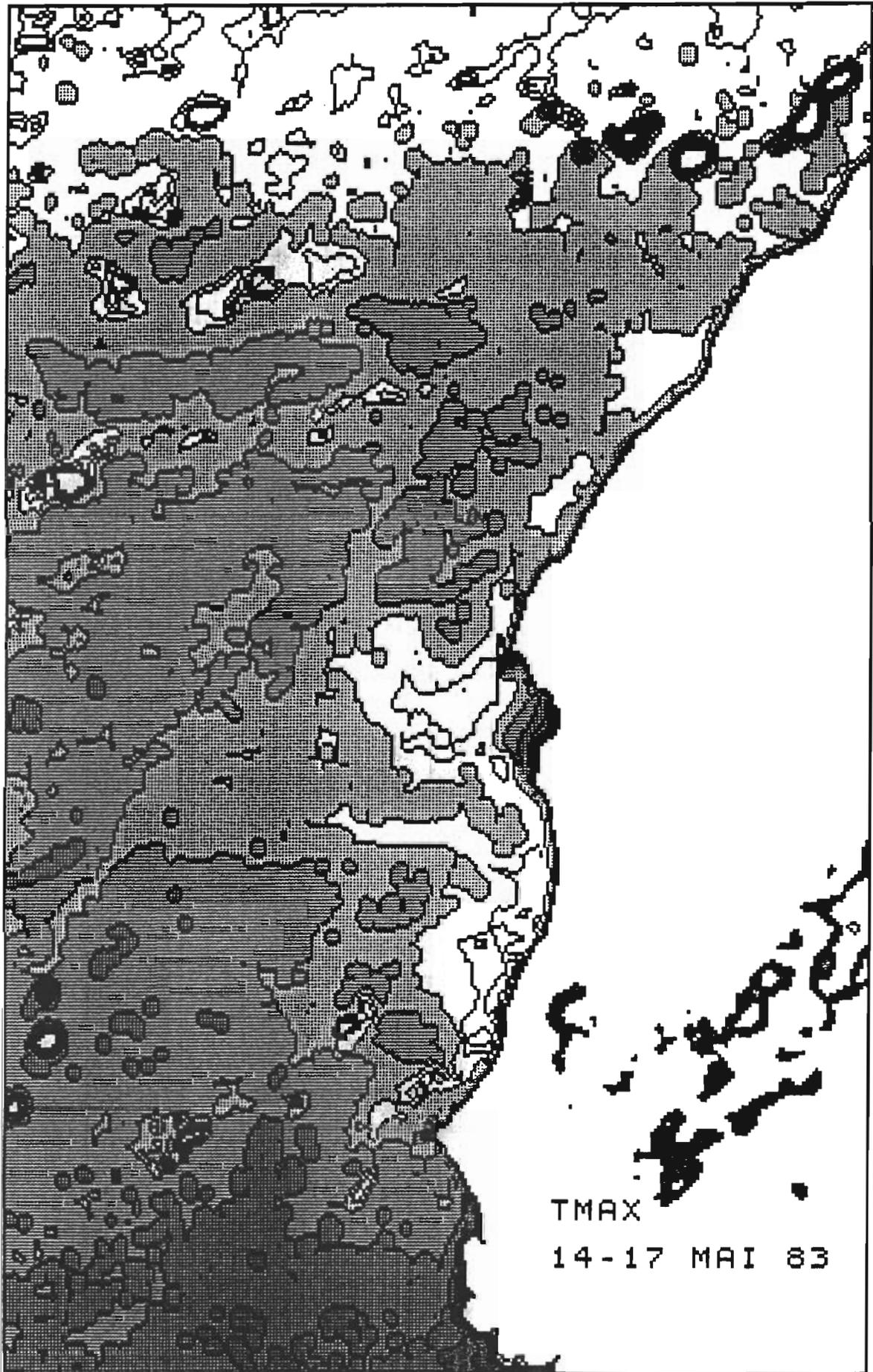
- nord de la Mauritanie = latitude de Nouadhibou
- nord de la Mauritanie = latitude du Cap Timiris ou de Saint-Louis
- sud du Sénégal ou Gambie = latitudes des Cap Vert au Cap Roxo

Les observations sont synthétisées aux figures 12 A-B-C:

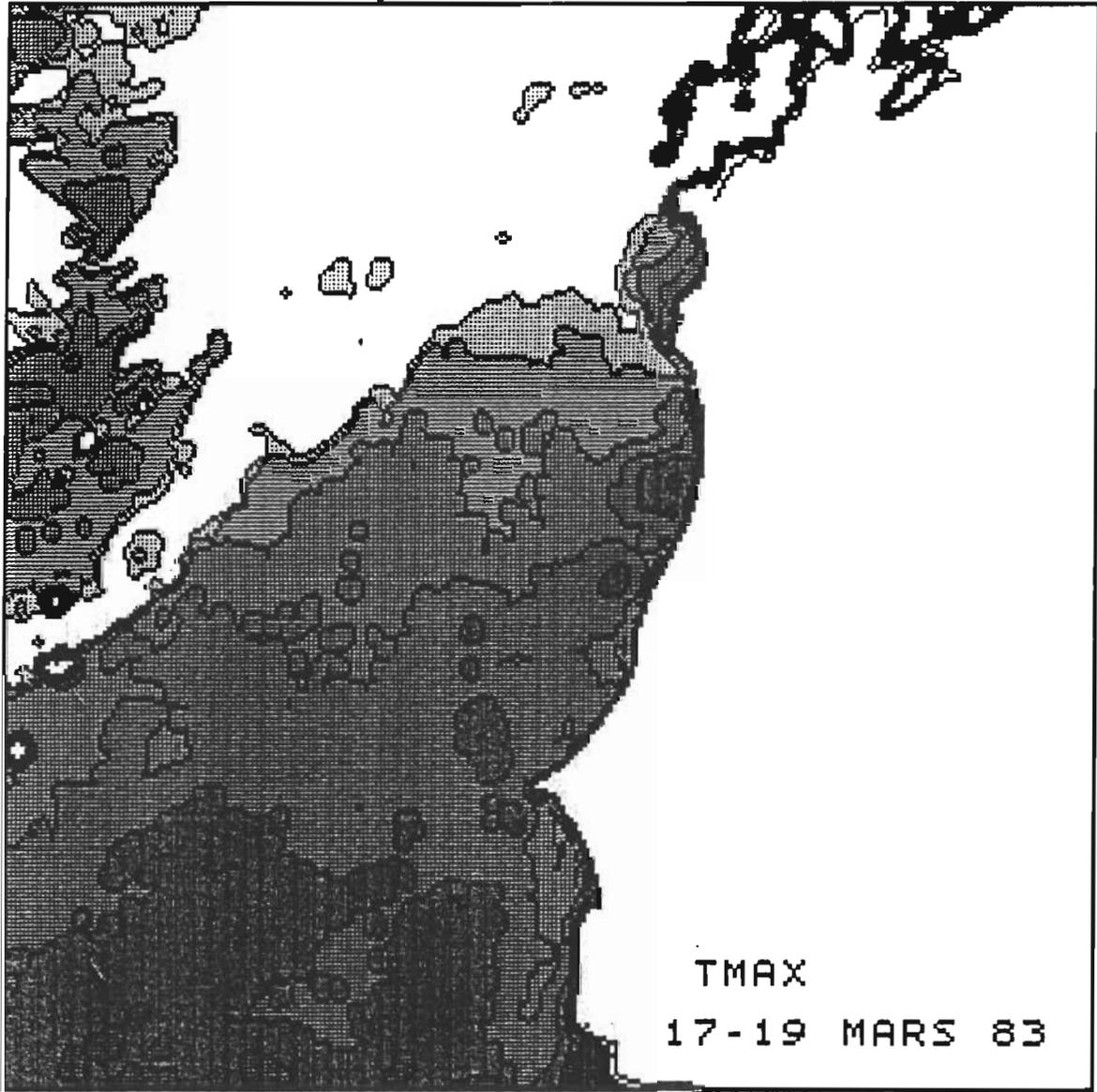
- 12-A Mauritanie Nord 1982  
Mauritanie Nord 1983
- 12-A Timiris Saint Louis 1982  
Timiris Saint Louis 1983
- 12-C Sénégal Bissagos 1982  
Sénégal 1983

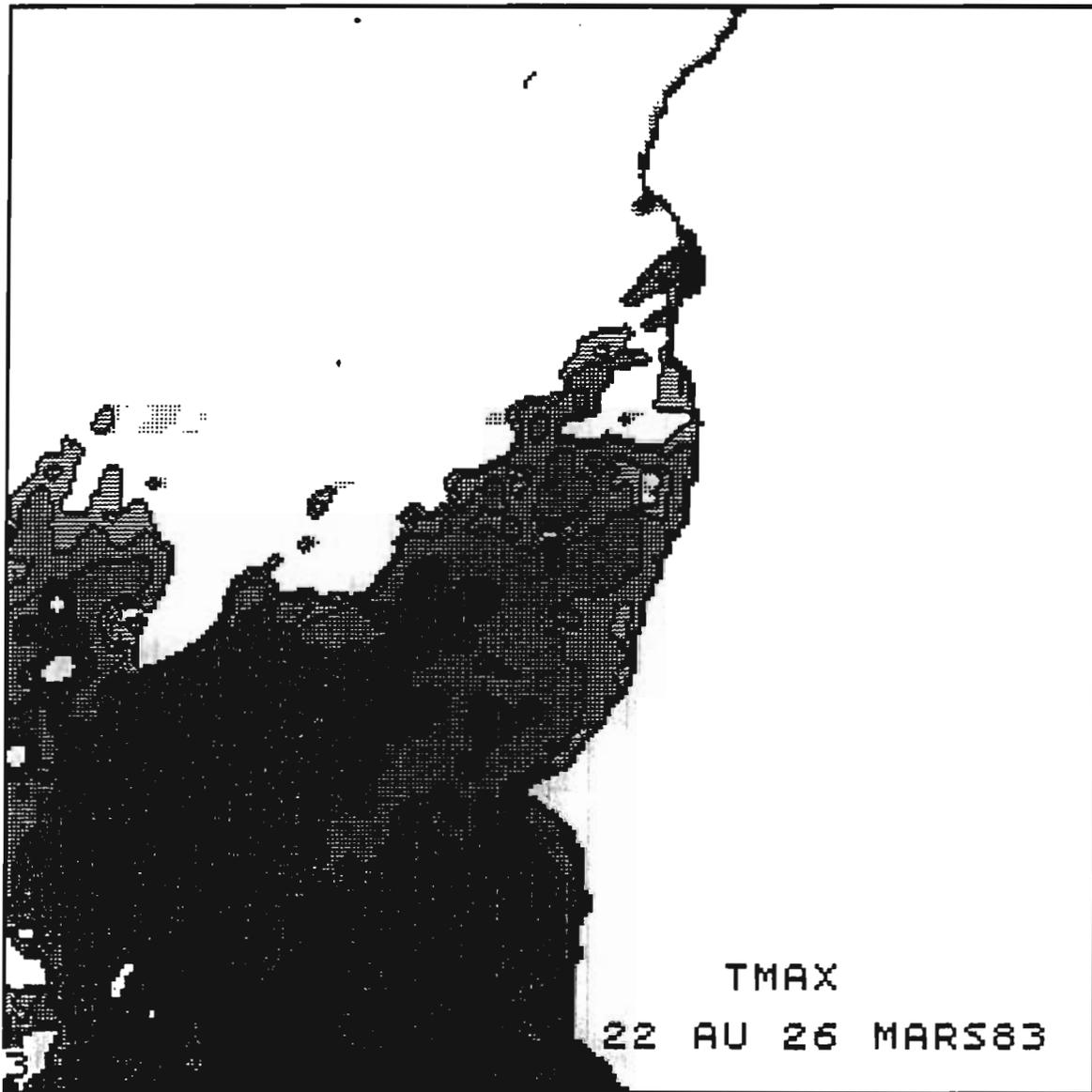
L'heure de mesure (la seule disponible) est 00.00 heure.

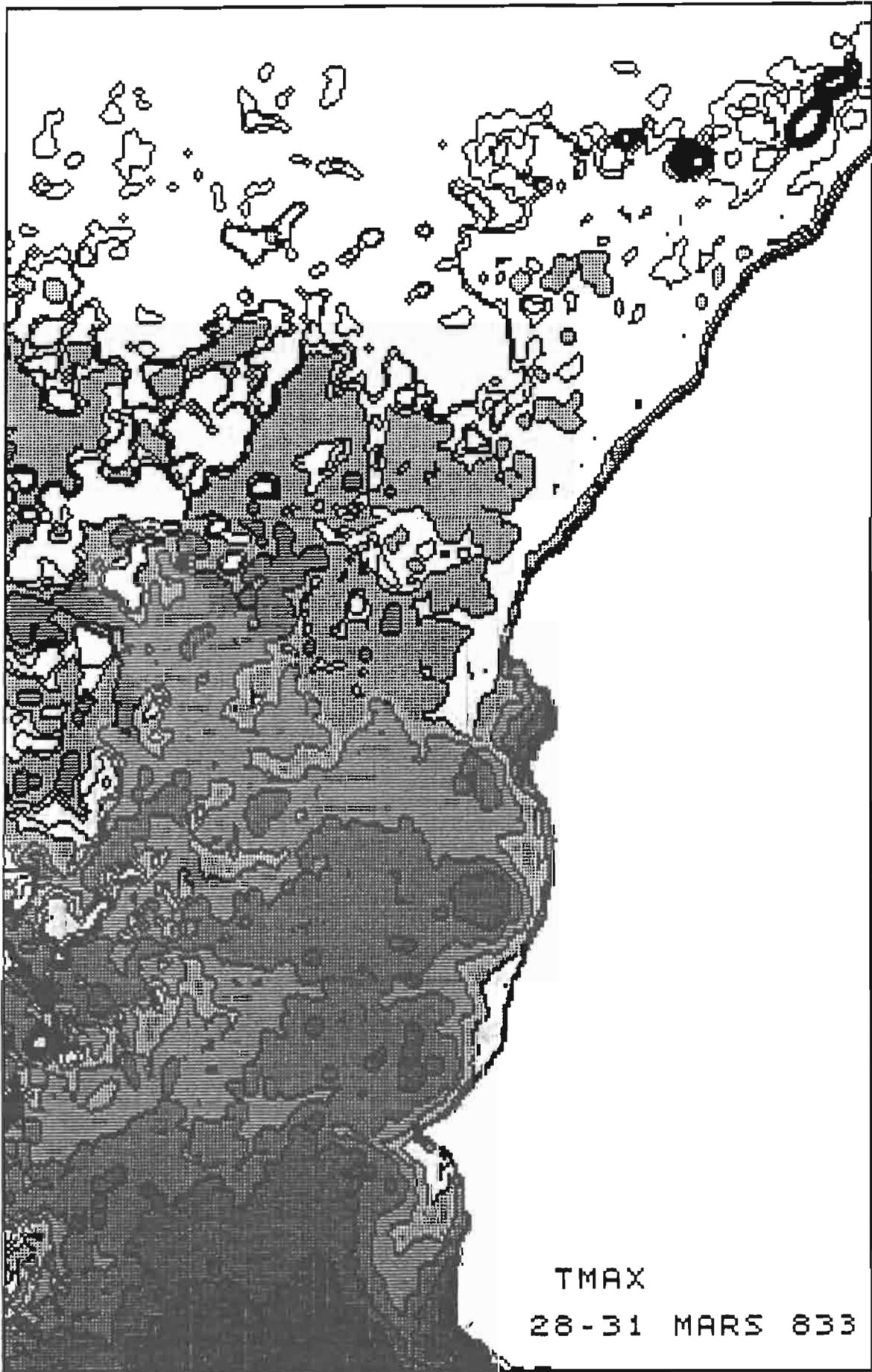




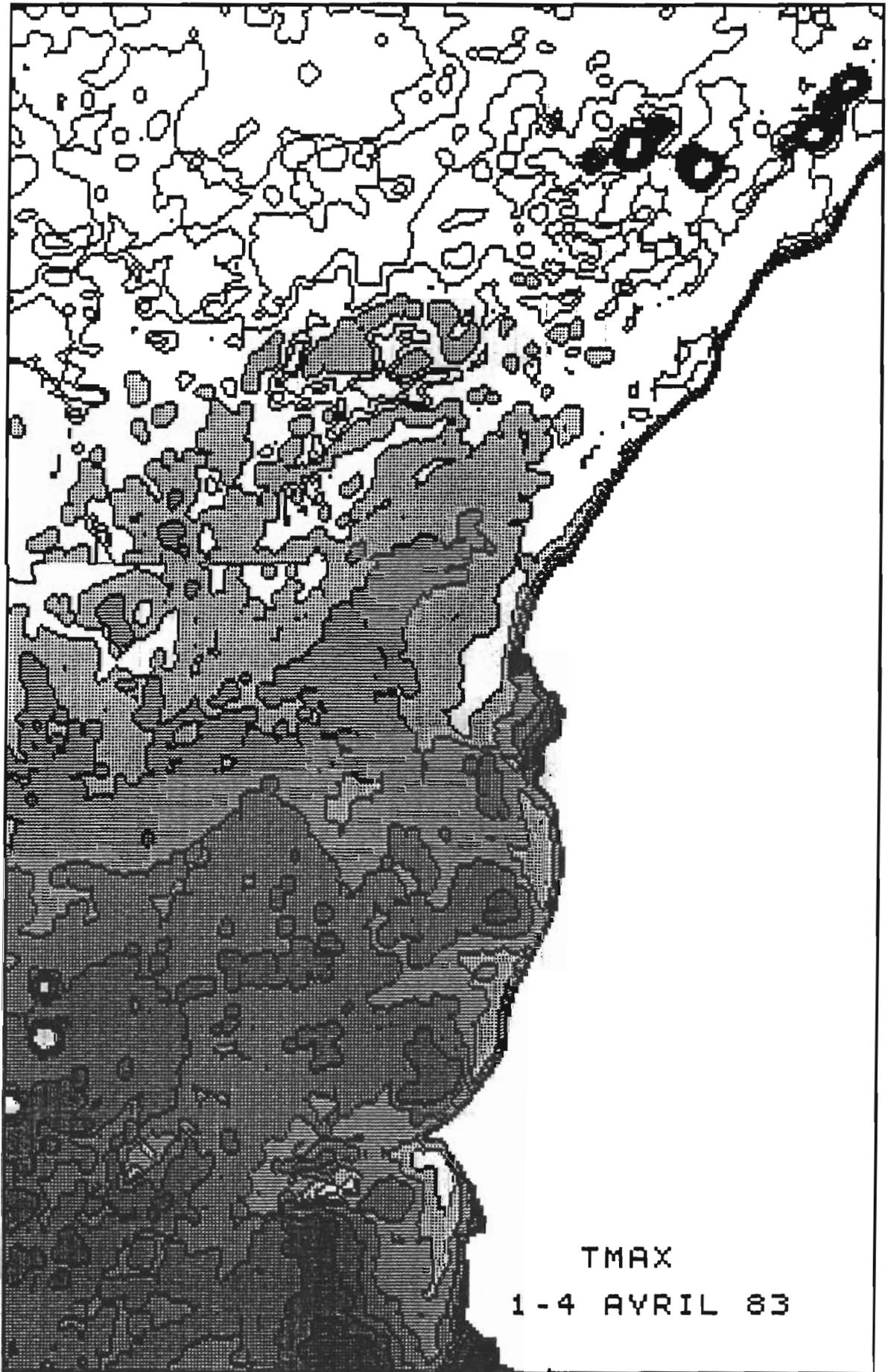
TMAX  
14-17 MAI 83



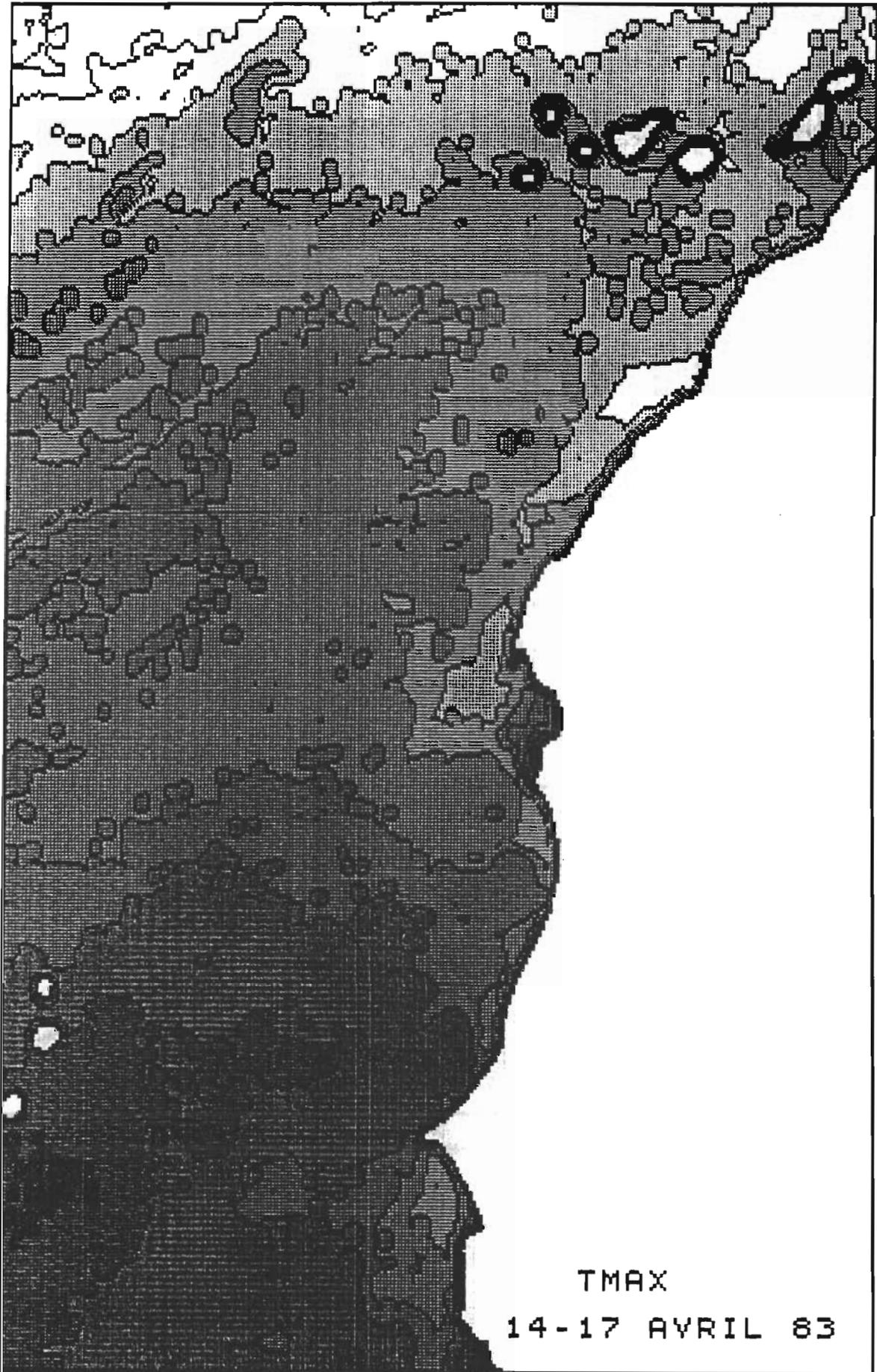




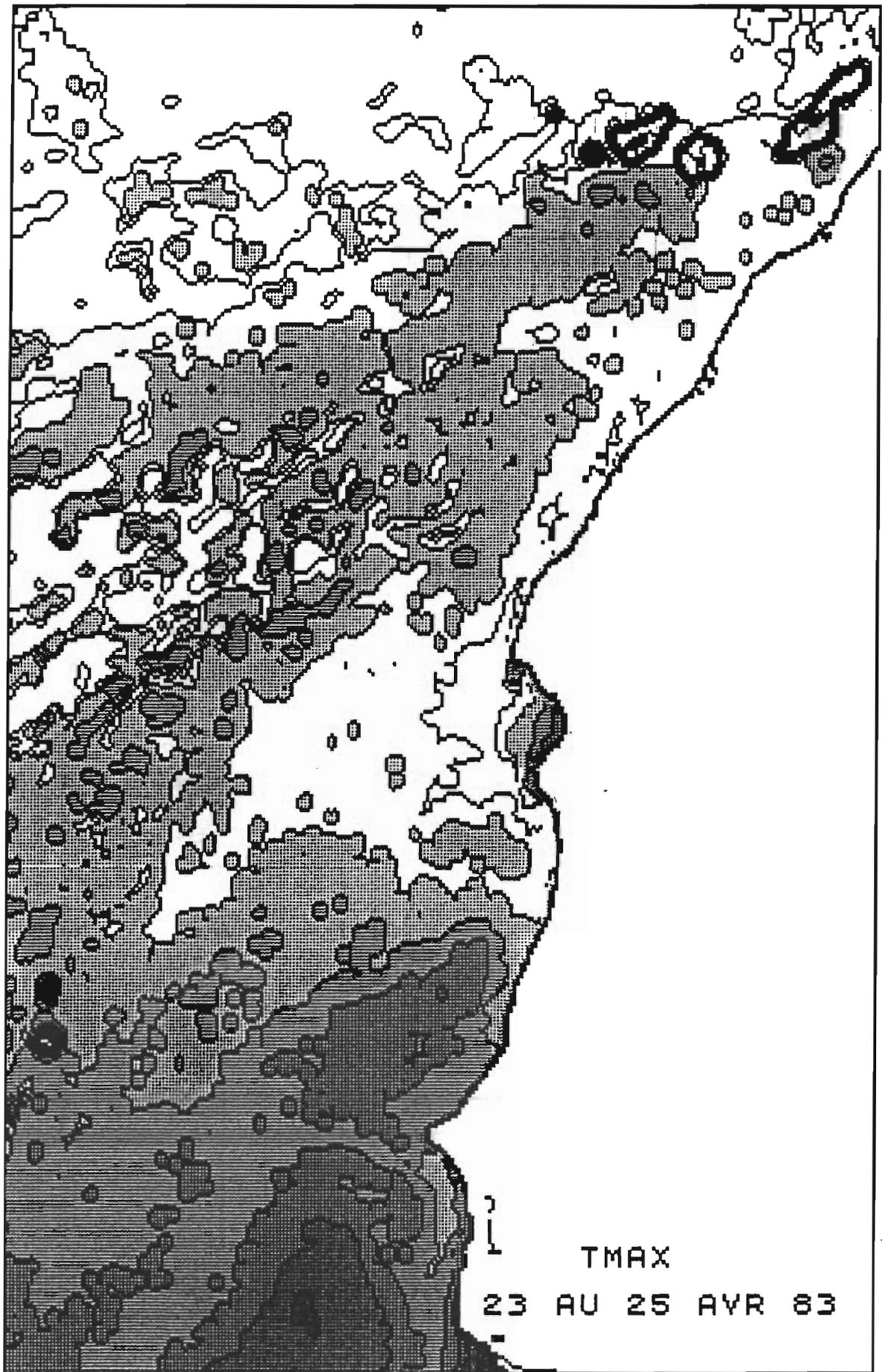
TMAX  
28-31 MARS 833

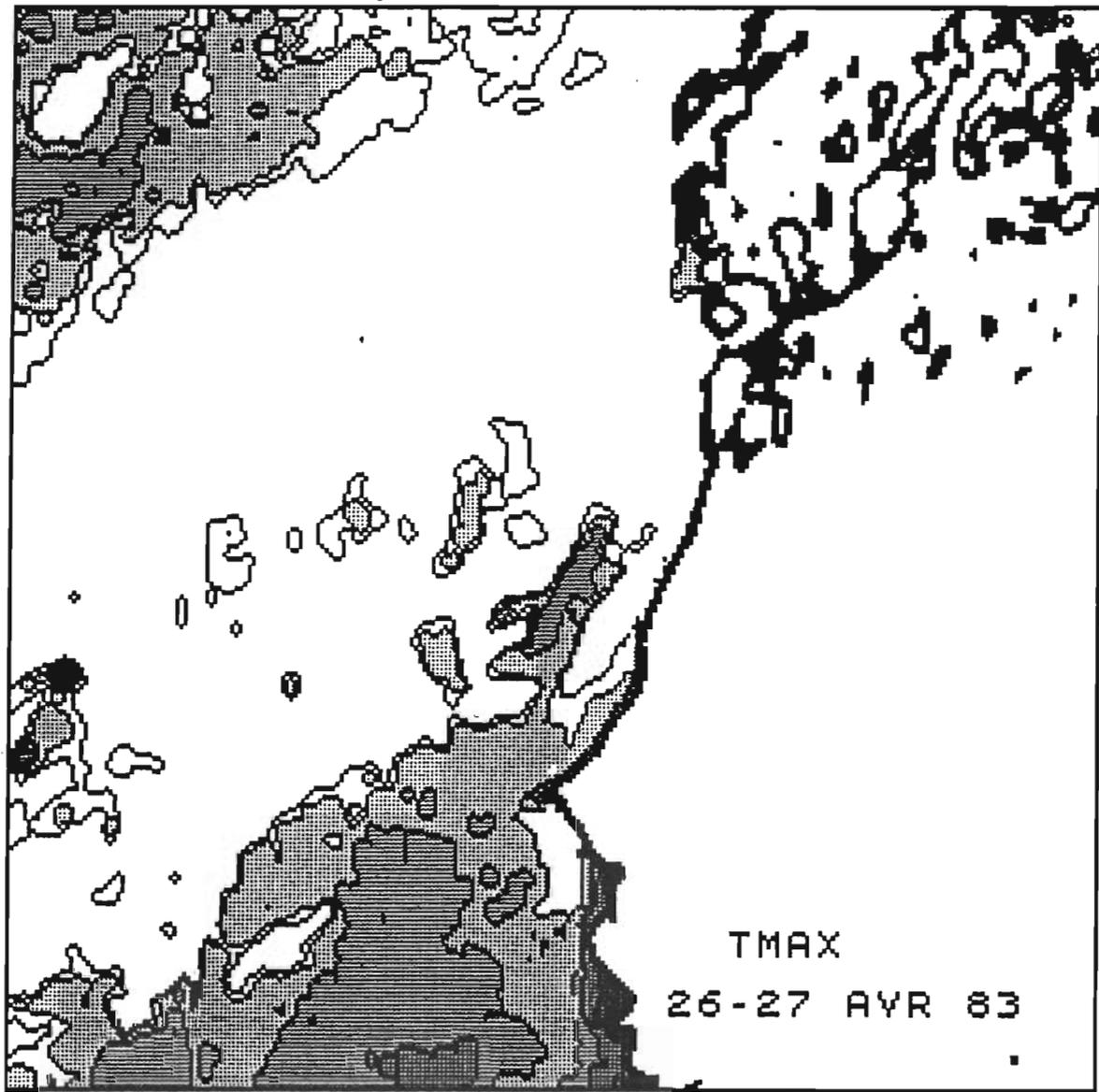


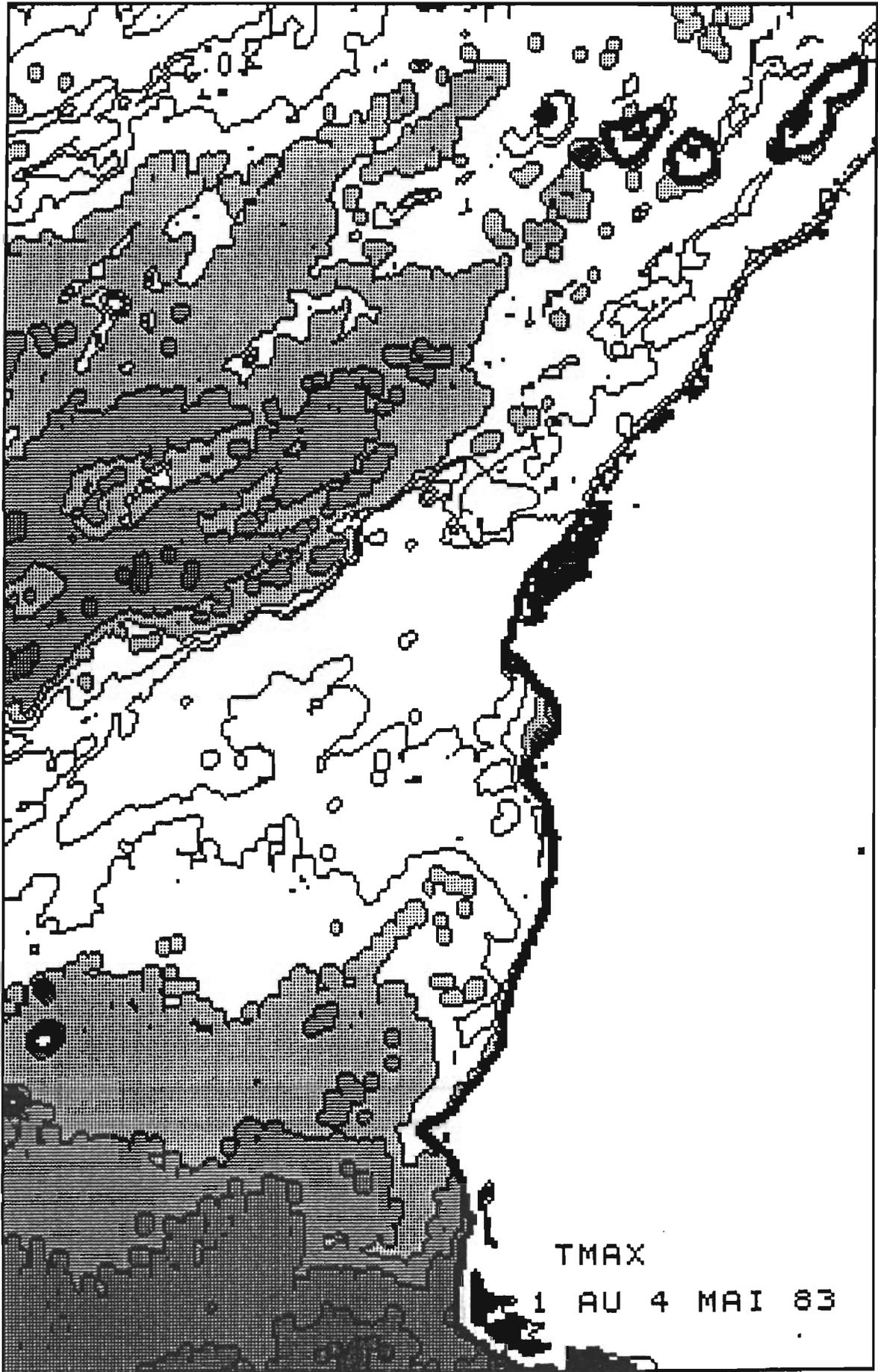




TMAX  
14-17 AVRIL 83







# NORD MAURITANIE

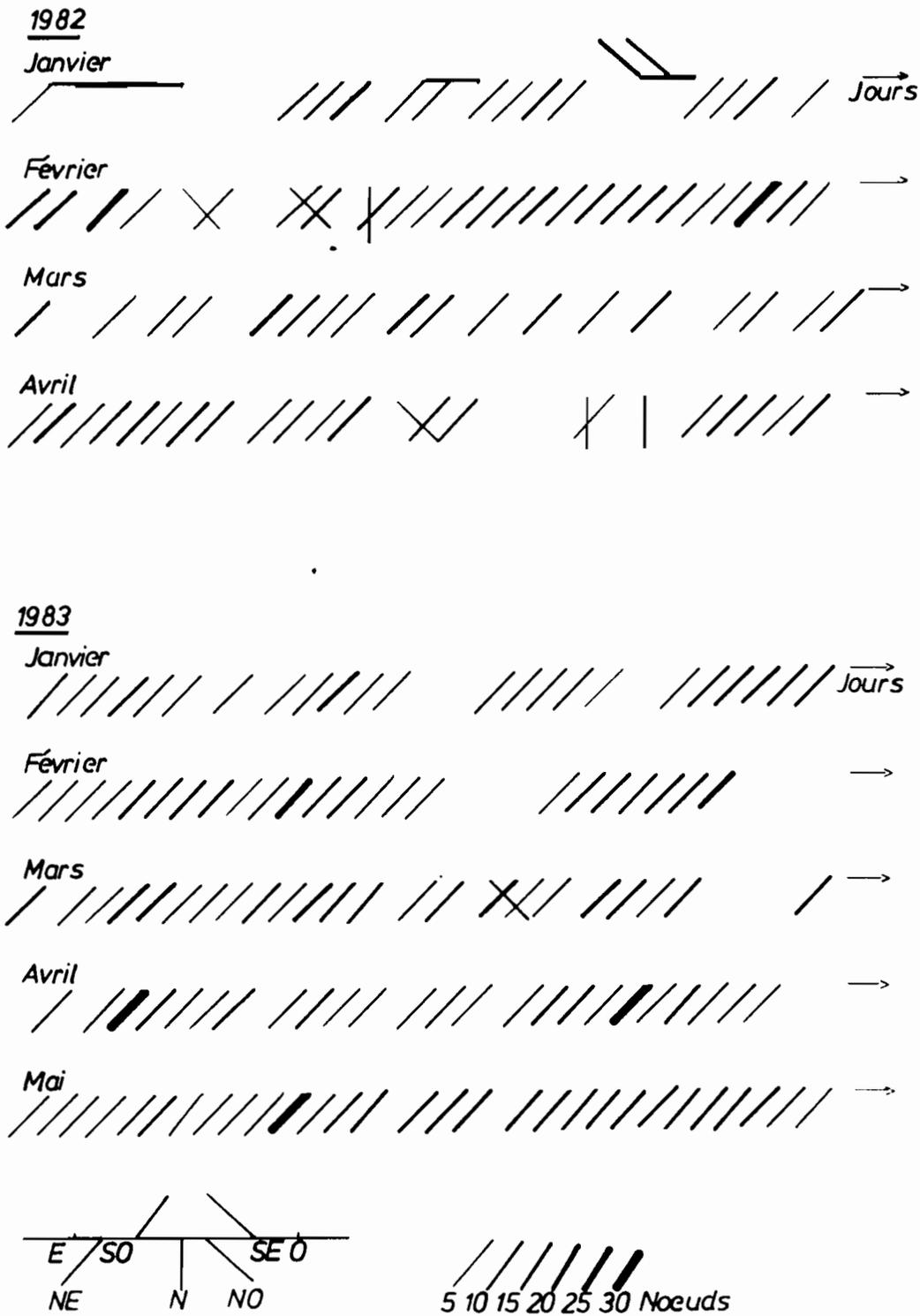


Fig. 12 -A :Evolution des directions et vitesses des vents:  
 - NORD MAURITANIE 1982 ET 1983  
 (Documentation B.M.E)

# CAP TIMIRIS - ST LOUIS

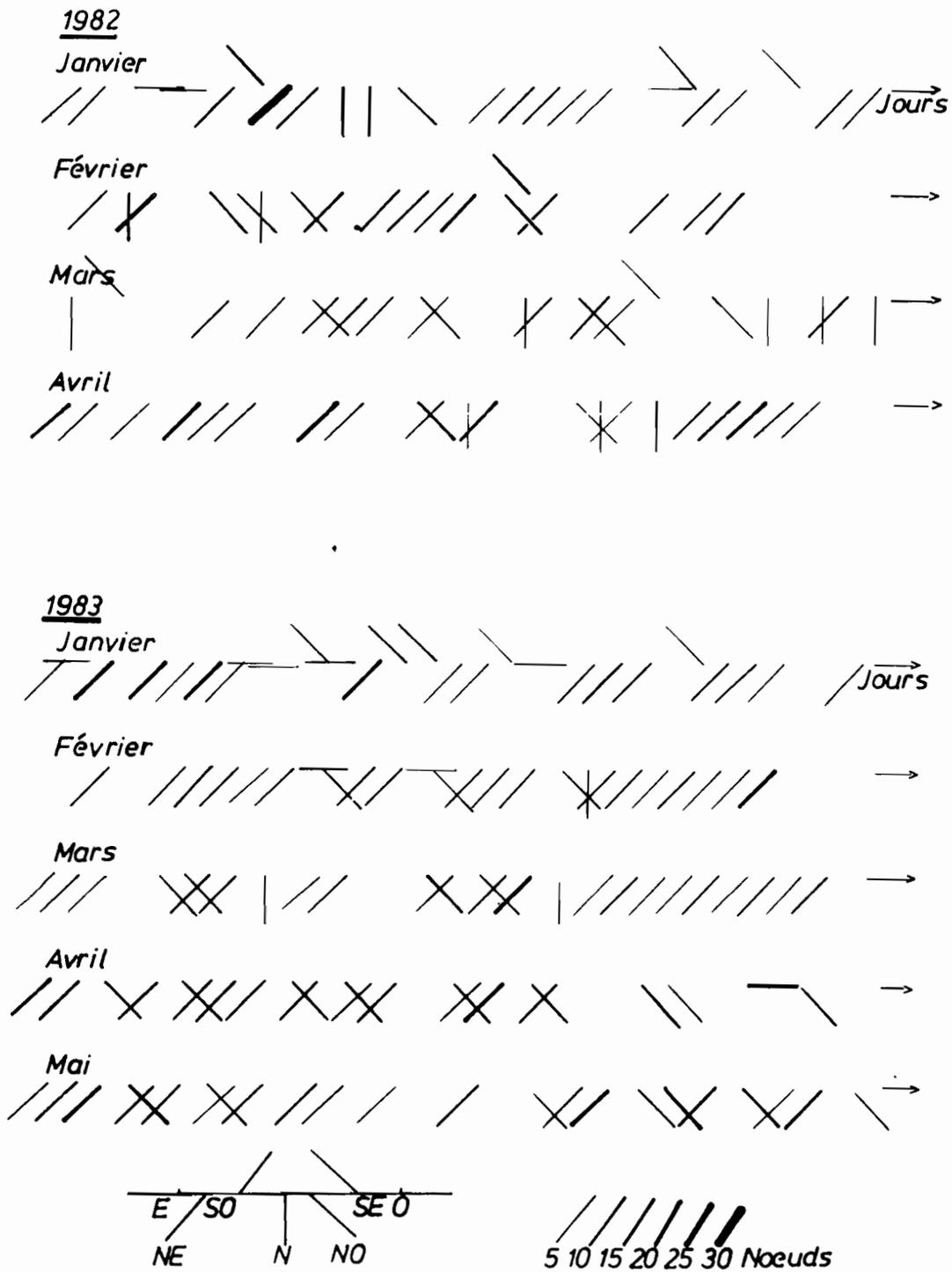


Fig. 12 -B :Evolution des directions et vitesses des vents:  
- TIMIRIS SAINT LOUIS 1982 ET 1983  
(Documentation B.M.E.)

# SENEGAL-BISSAGOS

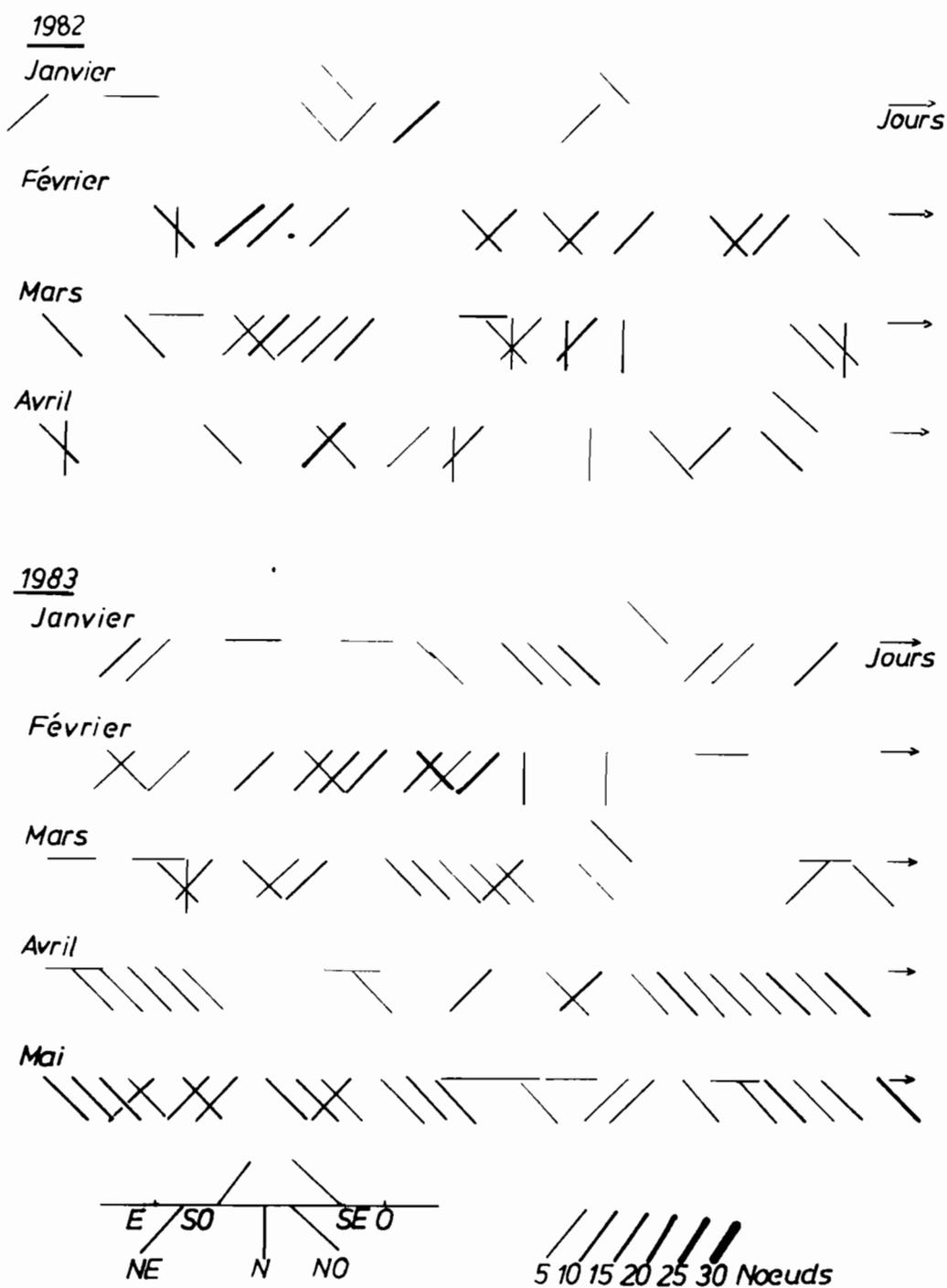


Fig. 12 -C :Evolution des directions et vitesses des vents:  
 - SENEGAL BISSAGOS 1982 ET 1983  
 (Documentation B.M.E.)

Les caractéristiques moyennes des vents sont synthétisées aux tableaux 5 A-B.

Quelque soit l'année:

- au nord de la Mauritanie, le régime des vents est de direction nord-est et la vitesse est importante (Vit moy saison froide 82 = 12.8 noeuds, Vit moy s. f. 83 = 13.1 noeuds, tableau 5B). Les fluctuations sont de l'ordre de 8 jours.

- sur la zone Timiris-Saint Louis, les vents ont une direction variable (remplacement de la direction dominante Nord Est par la direction Nord Ouest à partir de février /mars) et une vitesse en diminution (Vit moy saison froide 82= 9.65 noeuds, vit moy s. f. 83= 9.6 noeuds).

- sur la zone Dakar-Bissagos, les vents ont une direction oscillant entre le nord et le nord ouest, avec une vitesse faible (Vit moy saison froide 82=8.5 noeuds, vit moy s. f. 83= 7.5 noeuds).

Différences 1982-1983: '

Pour les zones Mauritanie et Timiris, la force du vent est supérieure en 1983.

Pour la station Sénégal, la force du vent est supérieure en 1982.

D'après les moyennes mensuelles des vitesses (mesurées à 00.00 heure), seules les caractéristiques des vents au Sénégal en 1982 permettent d'expliquer l'amplitude plus importante de l'upwelling en mars/avril.

L'examen des directions dominantes du vent à 00.00 heure ne permet pas de façon générale d'expliquer les différences observées. L'étude des vitesses maximales ( influence non négligeable sur les déplacements d'eau de surface) nécessiterait l'examen des mesures effectuées à une heure différente, malheureusement non disponibles sur les BME.

#### V I 2 - Utilisation des données de Dakar

Les données de vent mesurées au Cap Vert (Station Météorologique de Dakar-Yoff) ont été également analysées.

Le tableau 6 montre les valeurs des vitesses mensuelles moyennes mesurées sur l'ensemble de la journée, et mesurées à 00.00h pour tenter une comparaison avec les données des B.M.E.

On peut remarquer que :

- les vitesses moyennes mensuelles sont nettement plus fortes pour les mois d'avril/mai 1982, résultat cohérent avec les observations BME.
- la vitesse moyenne en février 83 semble très élevée, mais on ne possède malheureusement aucun point de comparaison avec 82.

Les mesures de Dakar ne permettent pas d'expliquer les différences entre les upwellings 82 et 83 (pour l'instant incomplètes).

	MAURITANIE				TIMIRIS				SENEGAL			
	Jan	Fev	Mar	Avr	Jan	Fev	Mar	Avr	Jan	Fev	Mar	Avr
1982	11	15	12,5	12,8	9,6	9,1	7,6	12,3	6,2	10,3	8,7	8,8
nbre	22	27	18	23	23	18	21	21	8	14	15	13
1983	12,3	14,3	12,6	13,5	9,8	9,2	9,2	10,2	6,2	10	7	7,1
nbre	24	23	25	24	25	24	25	22	12	15	20	19

Tab. 5A - Vitesse mensuelle moyenne du vent mesurées à 00.00h (noeuds).  
(Documentation Bulletins Météorologiques Européens)

	MAURITANIE	TIMIRIS	SENEGAL
1982	12,8	9,65	8,5
1983	13,1	9,6	7,5

Tab. 5B - Vitesse moyenne du vent, en noeuds, pour les 4 mois de la saison froide en 1982 et 1983.  
(Documentation Bulletins Météorologiques Européens)

SENEGAL		Jan	Fev	Mar	Avr	Mai
1982	force jour	-	9,74	-	10,62	10,16
	force à 00.00h	-	8,6	-	8,2	8,6
	force max	-	20	-	24	22
	direction max	-	32(NNW)	-	36(N)	02(NNE)
1983	force jour	8,74	10,14	8,18	9,36	7,36
	force à 00.00h	7,8	9	6,6	-	-
	force max	24	22	20	-	-
	direction max	02(NNE)	36(N)	02(NNE)	-	-

Tab. 6- Vitesse mensuelle moyenne du vent mesurée à Dakar- Yoff en 82 et en 83, moyennes des mesures effectuées toutes les 2 heures.  
(Documentation CRODT)

## V 1 3 - Vents de sable

L'influence des vents d'harmattan, chauds et secs a également été envisagée. Les jours d'harmattan ont été recensés sur les BME par les indications de présence de "vents de sable" ou de "brume sèche" (résumées au tableau 7).

	MAURITANIE				TIMIRIS				SENEGAL			
	Jan	Fev	Mar	Avr	Jan	Fev	Mar	Avr	Jan	Fev	Mar	Avr
1982	2	0	1	0	7	7	15	0	4	3	2	1
1983	7	0	0	1	16	2	5	1	16	6	3	5

Tab. 7 - Fréquence des jours de vent de sable et brumes sèches en nombre de jours.

( Documentation Bulletins Météorologiques Européens)

On constate que les manifestations de vent de sable ont été nettement plus fréquentes, plus particulièrement :

- en janvier 83 sur les zones Nord Mauritanie, Timiris et Sénégal
- en février, mars et avril 83 sur la zone Sénégal.

De fréquents vents d'harmattan peuvent empêcher la mise en place du régime normal de vent de direction nord/nord est et ainsi retarder le développement de l'upwelling (exemple en janvier et février 83).

D'autre part, le réchauffement continu de l'atmosphère par un vent chaud peut avoir une influence sur les températures marines superficielles.

#### Conclusion:

En général, les données moyennes mensuelles de la vitesse et de la direction des vents ne suffisent pas à caractériser les deux saisons froides successives 1982 et 1983 (excepté les observations des BME sur la zone du Sénégal en 1982 et peut être la plus grande fréquence des vents d'Harmattan en 1983).

Bien que des corrélations ponctuelles entre vent et température marine aient été prouvées par certains auteurs (Mittelstaedt et al. 1975, Grall et al., 1982), il est impossible de reconstituer une relation générale.

Plusieurs causes ont été répertoriées:

- les champs thermiques côtiers sont influencés par le régime des vents existant plus au nord de cette zone.

- le décalage de temps entre une variation de vitesse ou de direction de vent est différent d'une zone à l'autre (exemple aux Caps).

-On doit en conclure que pour la zone du Sénégal, d'autres phénomènes que le vent doivent être pris en compte.  
( les données de vent recensées ici ne sont pas assez précises et devraient être comparées aux données moyennes obtenues sur le Sénégal depuis les dernières décennies).

## V 2 - La situation climatique mondiale

L'absence d'upwelling marqué au début de l'année 1983 s'explique en fonction de la situation climatique mondiale (Citeau, 1983, Hisard et Hénin, 1983).

On sait que les températures moyennes marines sont fonction des caractéristiques climatiques antérieures. Certains auteurs (Citeau, 1983, Hisard et Hénin, 1983, Hisard, 1980, Merle, 1980) ont pu montrer que les champs thermiques de l'Océan Atlantique Tropical étaient déterminés par la position en latitude de l'ITCZ (Zone Inter Tropicale de Convergence). Par exemple, pour l'année 1968 qui fut une année de sécheresse pour les régions sahariennes, la température marine à Dakar Thiaroye avait atteint un minimum et l'ITCZ était à 300 km au sud de sa position normale.

Les anomalies climatiques observées en Afrique de l'ouest en 83 seraient dérivées de la forte anomalie climatique mesurée dans le Pacifique: le El Nino de l'hiver 1982-1983. Ce phénomène est le réchauffement le plus fort de ce siècle des eaux de la côte Pacifique (+5°C en juillet 83 au lieu de 2.5°C pour les derniers El Nino des années 1970 ( Kerr, 1983).

Or, Hisard et Hénin (1983) ont observé durant l'hiver 1982-1983 un réchauffement inhabituel de la température des eaux de surface à la station océanographique de Dakar-Thiaroye et l'ont rapproché de la situation identique apparue lors des hivers 1981 et 1982 ( écart de température de +3°C par rapport à la moyenne calculée sur deux décades). Ces mesures de terrain confortent les observations et les conclusions déduites des images de Météosat. Leur explication réside dans le fait que les vent du nord ont montré de fréquentes périodes de calme et que les vents d'harmattan ont été au contraire exceptionnellement fréquents sur toute la côte ouest africaine.

L'explication de la faiblesse de l'upwelling 1983 dépend des perturbations des conditions climatiques. Les données de vent des mois précédant la saison froide fourniraient peut être une meilleure explication du phénomène.

## VI EVOLUTION DE L'UPWELLING EN MARS 1983

On a tenté de conserver toute l'information contenue dans les images Météosat en choisissant les dates les plus claires du mois de mars 83, correspondant à la campagne de mesures Echointégration.

Au cours de cette période, résumée par la suite de schémas réalisées à partir des images les plus claires ( figure 13), l'upwelling du Sénégal passe d'une situation intermédiaire à sa phase maximale. Son évolution se décompose :

- 2 au 13 mars 83 : a,b,c,d,e : descente de l'isotherme 20°C sous le Cap Vert et formation de la forme tourbillonnaire .
- 13 au 17 mars 83: f,g,h,i : agrandissement de la poche d'eau froide sous le Cap Vert
- 19 au 24 mars 83: j,k,l,m : réchauffement (influence non repérable des vents de sable chauds) ou réchauffement effectif car les formes marines sont très peu modifiées.
- 28 au 31 mars 83: n,o : refroidissement des masses d'eau sous la presqu'île effectif avec la présence de l'isotherme 18°C à sa position sud extrême pour l'année 1983. Ressèrement des isothermes avec forme tourbillonnaire très marquée.

Il serait utile de comparer les données recueillies lors de la campagne, avec les températures estimées à partir des calibrations avec les navires marchands (voir figure 4), exprimées à +/- 1°C .

EVOLUTION DE L'UPWELLING SÉNÉGAL MARS 83

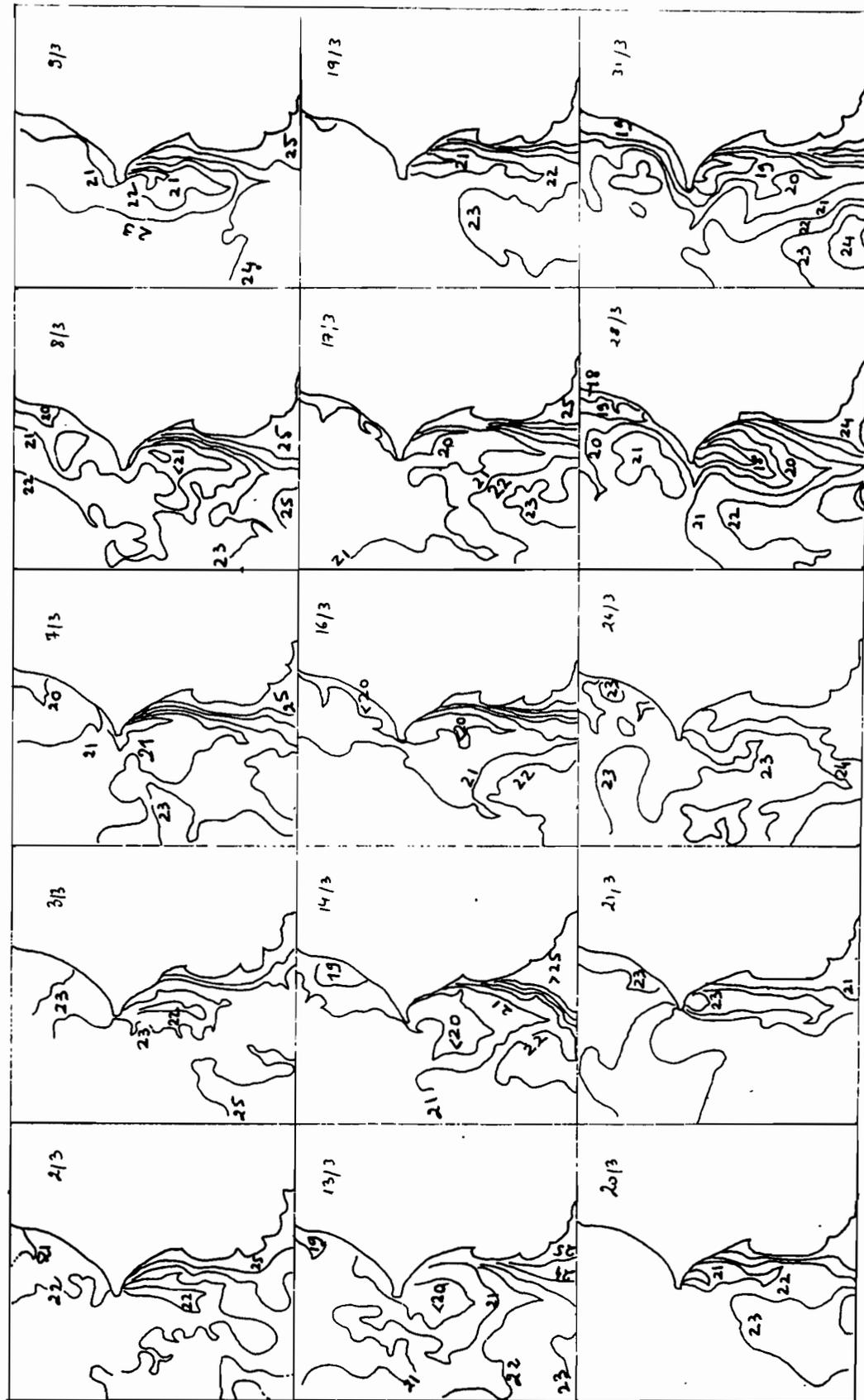


Fig. 13 : Evolution des isothermes 18°C à 25°C pendant la Campagne Echosar de Février-Mars 83 sur la zone particulière du Sénégal.  
(interprétation des images Météosat)

## VII - IMPLICATIONS POUR LA PRODUCTION PRIMAIRE

### V 1 - Vue générale

De nombreuses études effectuées à partir de campagnes océanographiques (CINECA, JOINT...) ont montré que les eaux d'upwelling étaient le lieu d'une production primaire importante en raison d'une forte concentration en sels nutritifs ( Schemainda et al. 1975, Codiposti et al. 1982, Minas et al. 1982). En effet, les eaux situées sous la thermocline constituent généralement un réservoir de sels nutritifs .

En fait, les propriétés des eaux d'upwelling varient avec la latitude. Au sud du Cap Blanc, les eaux côtières d'upwelling appartiennent au type ECSA (Eaux Centrales Sud Atlantique) tandis qu'au nord de cette limite elles sont du type ECNA (Eaux Centrales Nord Atlantique). Les deux types de masses d'eau sont séparées par une zone de transition se situant à la latitude du Cap Blanc. Cette zone frontale se déplace du sud au nord suivant la force du courant ou du contre-courant.

On peut schématiser les propriétés de ces 2 types de masses d'eau:

- type ECSA: plus riche en sels nutritifs, à salinité faible
- type ECNA: moins riche en sels nutritifs, à salinité forte

Ceci amène à distinguer deux régions à probabilité de production différente:

- au nord du Cap Blanc, région d'upwellings permanents mais avec une faible productivité (excepté lorsque les eaux de l'ECSA sont amenées par le contre courant)
- au sud du Cap Blanc, région d'upwellings limités à la période froide avec une forte potentialité de production.

Les deux régions Nord et Sud montrent donc des capacités de production globalement équivalentes, en fonction de leur type d'eau et de la fréquence des upwellings.

L'énergie lumineuse disponible pour la photosynthèse est également un facteur limitant pour certaines zones d'upwelling. En effet, Morel, (1982) a montré que les eaux côtières soumises à l'upwelling pouvaient être séparées en deux grands groupes :

- les eaux côtières turbides, où le coefficient d'extinction est très élevé et où la concentration en chlorophylle n'est pas en corrélation avec la teneur en particules totales (eaux du Cas 2)

- les eaux nouvellement remontées du fond, où le coefficient d'extinction mesuré est très faible et où la concentration en chlorophylle produite est en corrélation avec la charge particulaire totale (eaux du Cas 1). Seules les eaux du cas 1, où l'énergie nécessaire à la photosynthèse n'est pas limitée seront des lieux de production phytoplanctonique.

## VII 2 - Répartition géographique de la production

Les premières études synthétiques de l'évolution annuelle de la production primaire sur la côte ouest-africaine ont été réalisées par Schemainda et al. (1975). On peut distinguer trois régions de production élevée suivant la période:

zone de production I: les eaux au large du Cap Blanc en saison d'upwelling, soit de juin à novembre

zone de production II: les eaux au large de Nouakchott avec deux pics de production en juillet et en novembre

zone de production III: les eaux situées sous le Cap Vert avec deux pics de production importante en janvier et en mars

### Production annuelle

La répartition spatiale de la production annuelle est représentée par les deux figures 15 B. Les maxima correspondent à des valeurs de 200 à 250 g C/m<sup>2</sup>.an et sont situés au large du Cap Blanc, de Nouakchott et de Saint Louis puis au sud du Cap Vert au large des côtes gambiennes.

### Production au cours de l'upwelling du Sénégal

La production en période d'upwelling sénégalais, c'est à dire de décembre à mars, est illustrée également par la figure 14 A (23 février au 14 mars 73).

Celle-ci est faible au large du Cap Blanc, alors que les maxima se trouvent répartis en taches isolées :

- sous le Cap Blanc
- au large de Nouakchott
- au large de Saint Louis
- au-dessus du cap Vert (fosse de Kayar)
- au large du Cap Roxo

Une autre indication des lieux probables de production est donnée par la répartition des fortes teneurs en matière organique des eaux de surface, fournie par Pocklington, (1983) ainsi que sur les fonds (Domain, 1982). Celle-ci est maximale autour de la presqu'île du Cap Vert.

## VII 3 - Implications de l'upwelling 1983

### Apport des images Météosat

Les maxima de production primaire isolés au nord du Cap Vert correspondent aux langues d'eau froide côtières amenées du nord par advection, ou provenant d'upwellings tels qu'elles ont été observées sur les thermographies Météosat.

Le maximum de chlorophylle a située sous le Cap Vert correspond à la poche d'eau froide fréquemment observée à partir de février en 1983 (et en hiver 1982 également).

### Implications pour la production primaire

L'upwelling 1983 étant particulièrement faible en janvier-février, on peut prévoir que la production primaire a été moins importante pour cette période. D'autre part, la saison de production 1983 a également été plus courte que celle des autres années, à cause du démarrage tardif de l'upwelling, limitant ainsi la nourriture des poissons phytoplanctonophages.

## Apport des images CZCS des années 1981

Les premières images de l'expérience CZCS traitées au JRC d'Ispra (Stürm, 1981) indiquent des zones de production élevée en période d'upwelling, au bord de la poche d'eau froide, à une distance élevée des côtes. Des tourbillons apparaissent dans la masse phytoplanctoniques.

L'analyse d'une scène traitée à l'Antenne ORSTOM de Lannion (11 janvier 81) sur la zone de la "grande côte" à Dakar, montre des taches de chlorophylle correspondant aux remontées d'eau froide de la fosse de Kayar.

Ces premiers traitements permettent d'analyser les processus de la production en montrant que les floraisons de phytoplancton ont effectivement lieu dans les zones de remontée d'eaux profondes.

## Implications pour la pêche

Les implications de la production primaire de l'upwelling sénégalais sur la pêche pélagique et côtière sont nombreuses (Fréon et al., 1982; Gerlotto et al. 1982). La plus évidente est celle qui a pu être montrée par Conand (1976), Boely et al. (1982) sur la pêche de *Sardinella aurita*.

En effet, la distribution et l'abondance des larves de *S. aurita* est particulièrement bien reliée à la répartition de la masse d'eau froide rencontrée sous le Cap Vert en saison d'upwelling (figure 15), en tenant compte du laps de temps écoulé entre l'apparition de la nourriture et la concentration effective de larves.

On note:

" Les adultes se trouvant au nord (cap Blanc) au moment de l'upwelling mauritanien migrent vers le sud pour trouver des eaux froides et riches de l'upwelling du Cap Vert. Les sardinelles restent alors concentrées sur le bord externe de l'upwelling. En mai/juin, quand l'upwelling faiblit, les adultes migrent vers le nord (Cap Blanc) à nouveau pour retrouver les eaux froides qui y persistent.

Les répercussions sur la pêche ont pu être mesurées en conséquence des caractéristiques de l'upwelling 83. Il est apparu que la pêche de *S. aurita* a été moins fructueuses en 83 que les années précédentes (Herbland, communication personnelle). Il est important de rechercher les conséquences du faible niveau de production attendu sur la production secondaire en général sur la zone.

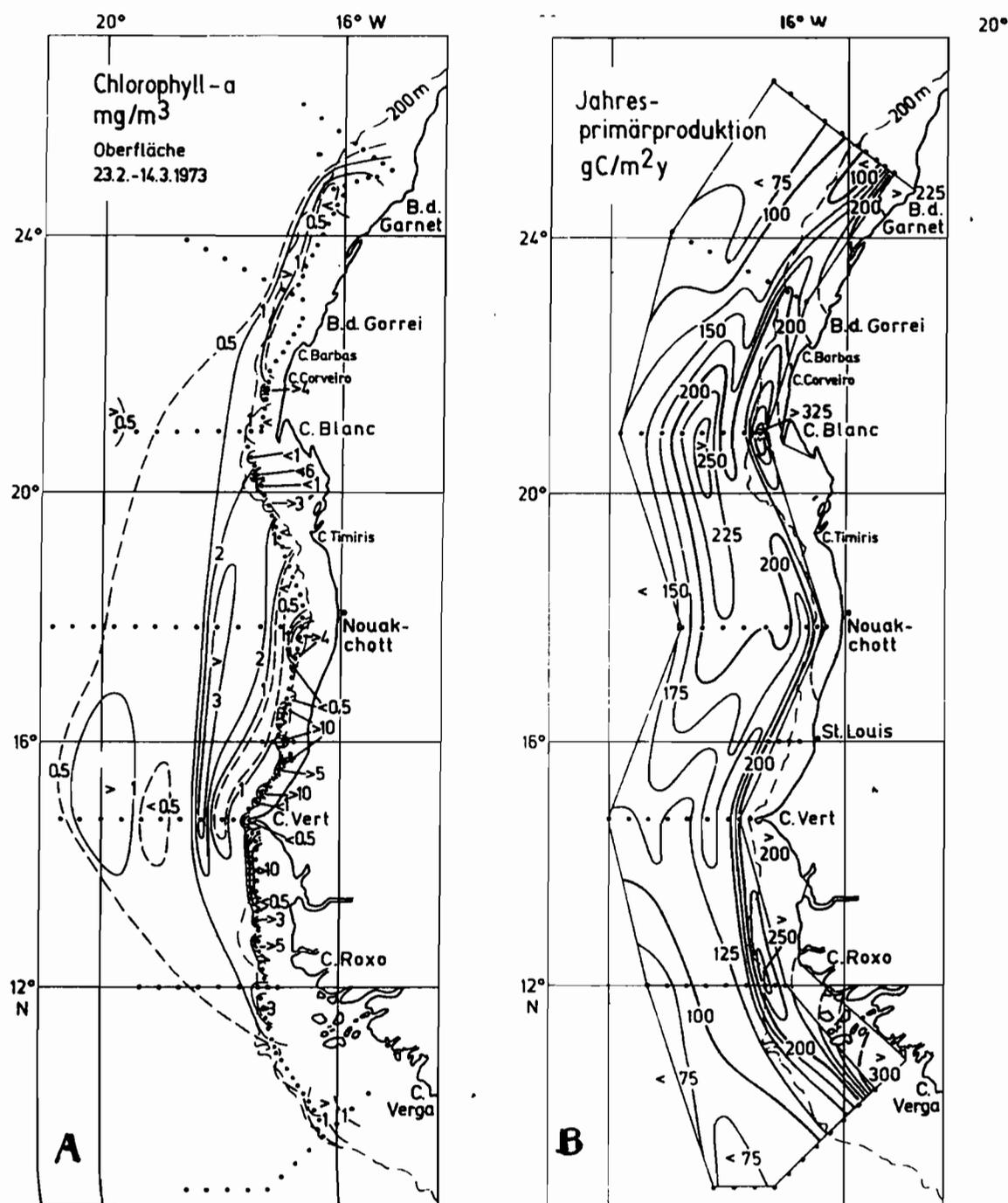


Fig. 14 A : Isolignes des concentrations en Chlorophylle a durant la période du 23 Février au 14 Mars 1973  
 B : Isolignes de la production primaire annuelle sur les côtes ouest-africaine ( Schemainda et al. 1975).

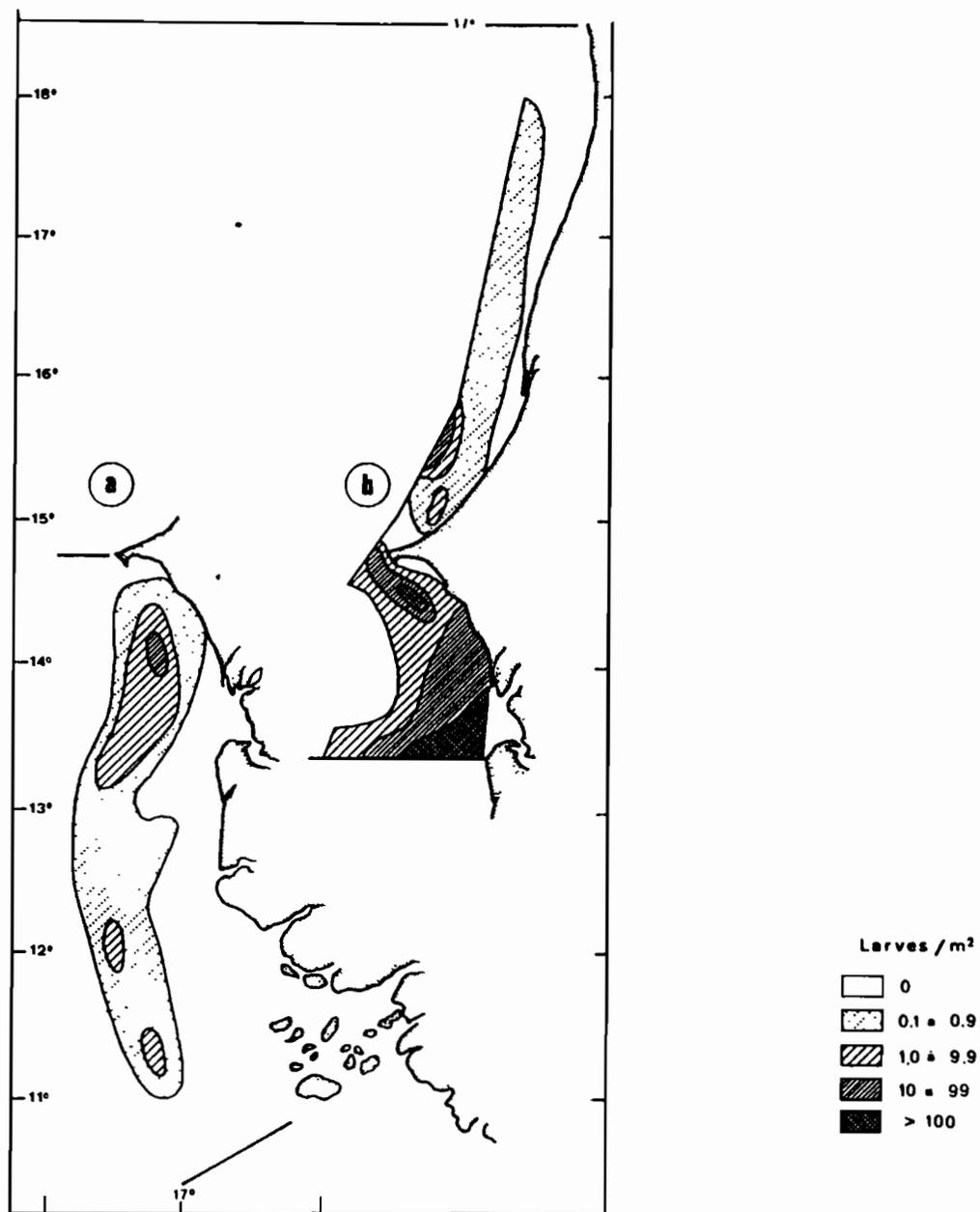


Fig. 2. -- Distribution et abondance des larves de *S. aurita*, a) de 15 au 18 mar 1974, b) du 27 mar au 1<sup>er</sup> juin 1974

Fig. 15 : Implication pour la pêche de *Sardinella aurita* de la répartition des masses d'eau froides et riches sur les côtes ouest-africaines. (Conand, 1976).

## VIII - CONCLUSION

Le satellite Météosat a été utilisé dans le but de décrire l'évolution de la température au large des côtes ouest africaines entre le Maroc et l'archipel des Bissagos pendant la période d'upwelling 1983 (janvier à juin).

Les images journalières brutes ont été traitées de façon à obtenir des "Tmax", images composées de plusieurs scènes successives selon le critère de la conservation des températures les plus chaudes, et après élimination des images anormalement chaudes. Cette méthode fournit une série de 25 Tmax qui reconstituent l'évolution des champs thermiques marins de janvier à juin 1983. Ces Tmax ont été calibrées en température (à +/-1°C) en utilisant les cartes hebdomadaires fournies par le NWS. Pour cela, les isothermes 20 et 25°C ont été particulièrement utilisés pour délimiter les gradients thermiques des images satellite.

L'évolution de l'upwelling 1983 au Sénégal peut se partager en quatre phases progressives en tenant compte des variations des températures ainsi que des formes marines rencontrées. Il semble que pour cette saison froide, la période d'upwelling "actif" soit très courte (fin mars à début mai) et tardive. En effet, les températures minimales (18°C +/-1°C sous le Cap Vert) ne sont observées qu'après deux phases où l'intensité diminue de façon irrégulière (mai). Pour la saison froide précédente (1982), l'upwelling atteint sa phase maximale dès le mois de janvier et persiste jusqu'à juin.

Plusieurs types d'explications ont été recherchées pour expliquer les différentes évolutions observées. On a analysé les vitesses et directions des vents responsables de l'upwelling, les fréquences de vents de sable, l'influence d'un réchauffement global de la surface de la mer conséquence d'une anomalie climatique s'exprimant par un El Nino exceptionnel. Seule, cette dernière caractéristique de l'année 1983, dépassant le cadre géographique de la zone étudiée, semble en mesure de fournir une explication du faible upwelling observé.

Les implications pour la production primaire de l'évolution particulière de l'upwelling 1983 sont théoriquement importantes. Les remontées d'eau froide sous la presqu'île du Cap Vert et au large des côtes aux latitudes nord de Dakar étant de durée réduite et tardives, les quantités de sels nutritifs seront moins importantes. La production primaire, limitée à ces latitudes par cet apport en sels dissous pourra être réduite. Les conséquences d'un upwelling tardif et court sur la reproduction des poissons dépendants de l'abondance du phytoplancton (effet sur les larves) ont déjà pu être notées.

Les images Météosat, en dehors des informations uniques de part leur répétitivité et leur synopticité sur l'évolution des champs thermiques ont donc un autre intérêt. Elles permettent en effet sur une région donnée (sud de la presqu'île du Cap Vert), de cerner les lieux privilégiés de la croissance phytoplanctonique. La connaissance de l'évolution des températures avec Météosat couplée à celle de l'évolution des plages de forte concentration en chlorophylle avec l'expérience CZCS (ou tout autre expérience contenant plusieurs canaux aux courtes longueurs d'onde du visible), permettra de comprendre le processus de la production primaire dans cette région.

## ANNEXE I

## FONCTIONS PERICOLOR UTILISEES

FONCTION \*TMA\* SUR 8 IMAGES D'UNE  
DISKETTE (A), LISSAGE ET MARQUAGE  
AUTOMATIQUE (I) DES ISOLIGNES

\*\*\*\*\*

"X TAZIP!BZIP!CZIP! FFGZ 6D1C1LI10  
2LJ1 TBP^A 6D1LI2^A 6D1C1LJ2 TAP^A 6  
D1C1LI3^A 6D1C1LJ3 TAP^A 6D1C1LI4^A  
6D1C1LJ4 TAP^A^L^I^MP"

"A TC=BC#AC18A&CC0B&CB+A"

"L TB// " I #HACC0M09I TK112/K^B"

"BK// #B"

"M 0T FFG2I0N96/W16/ TK0/#K85/#1"

FONCTION DE VISUALISATION  
EN HUIT COULEURS  
ET D'IMPRESSION EN HUIT  
NIVEAUX DE GRIS

\*\*\*\*\*

"0 FFO00/F255/EDN92/F255/EN93/F0/E  
N98/F0/EN99/F33/EN100/F33/EN101/F65/  
EN102/EN103/F97/EN104/EN105/F145/EN1  
06/EN107/F161/EN108/EN109/F210/EN110  
/EN111/F255/EN255/EL"

## ANNEXE II

## PRINCIPE DE LA CALIBRATION RADIOMETRIQUE DES DONNEES INFRAROUGE DE METEOSAT

Deux méthodes sont proposées par l'ESOC: le Centre Européen de Réception de Météosat pour estimer les températures à partir des comptes numériques fournis par le satellite ( ESOC reports, 1982-1983):

- en utilisant comme référence un corps noir situé près du radiomètre
- en comparant avec les vérité-mer des navires.

## 1 - Calibration du signal radiométrique utilisant le corps noir

Le corps noir est visé périodiquement par le radiomètre. L'évolution du compte numérique normalisé CN norm\*, correspondant à la température du corps noir peut donc être suivie.

La courbe A montre cette évolution pour la période d'étude, soit de janvier à juin 1983.

$$\text{CN norm}^* = \text{CN lu} \times \frac{R \text{ 290}^\circ\text{K}}{R \text{ T obs}}$$

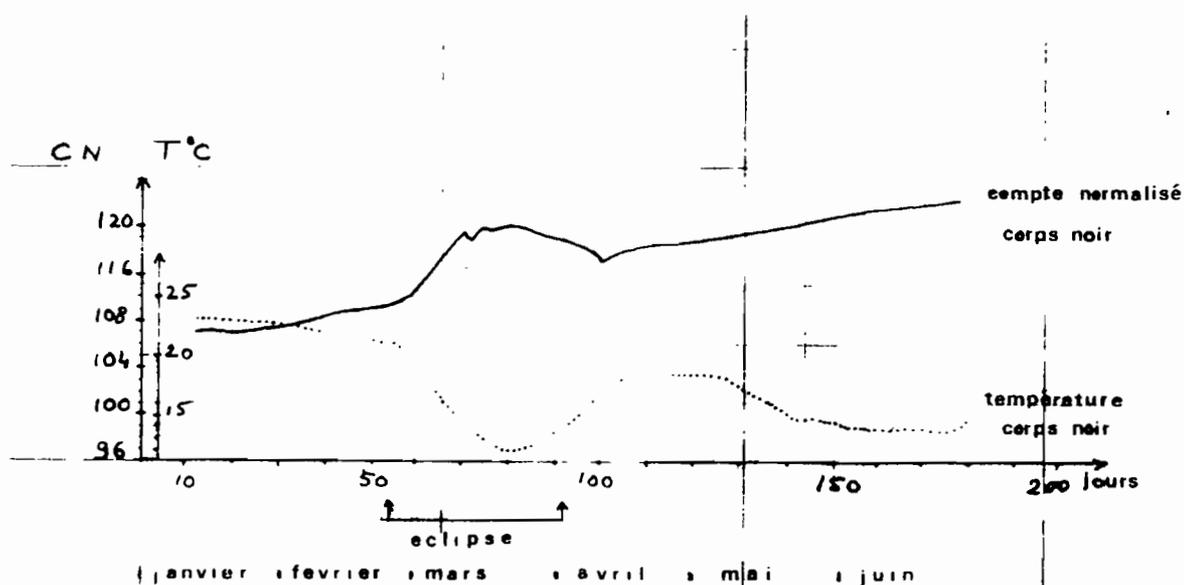


Fig. A: Evolution parallèle du compte normalisé du corps noir et de sa température de janvier à juin 1983. (Document ESOC).

On observe une dérive régulière du CN norm du corps noir qui correspond à une augmentation de 10 comptes numériques entre janvier et juin. Les variations brusques observées au moment de l'éclipse de mars sont liées à une perte de sensibilité du radiomètre après un refroidissement de l'environnement.

## Facteur FAG

Pour compenser les instabilités du radiomètre, on calcule un facteur d'ajustement :

$$R_{290^{\circ}\text{K}} \quad \text{CN} = 110$$

$$\text{FAG} = 110 / \text{CN norm}$$

$$\text{CN ajusté} = \text{FAG} \times \text{CN lu}$$

De façon à obtenir des données journalières comparables, on utilise les comptes numériques ajustés.

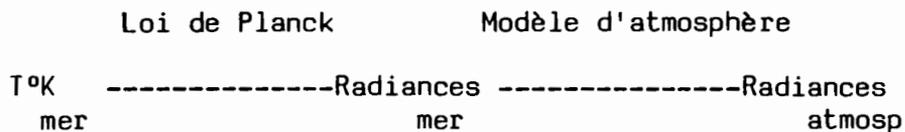
## Conclusion:

La calibration utilisant la visée par le radiomètre du corps noir ne donne pas de résultat satisfaisant (non vérification de la perte de sensibilité du radiomètre): en effet, les trajets de visée du corps noir et des scènes sont différents. Les variations prises en compte dans la courbe A ne s'appliquent donc pas nécessairement aux données IR/mer.

## 2 - Calibration MIEC utilisant les vérité-mer

La zone de comparaison entre Comptes numériques Météosat et températures de la surface de la mer choisie par l'ESOC pour la calibration MIEC est la zone de la Méditerranée et les côtes nord africaines.

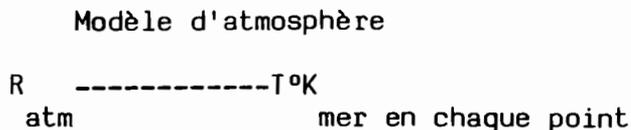
On utilise les relations:



On trace la droite  $R = a \text{ CN} + b$

$$\text{Comme } R_{\text{espace}} = a \text{ CN} + c = 5$$

$$\text{Si } b = c, \quad R_{\text{atm}} = a (\text{CN} - 5) \times \text{FAG}$$



Ce modèle d'atmosphère n'est pas défini pour notre zone d'étude.

### Test de la méthode

Les facteurs de calibration obtenus par cette méthode sont testés en comparant les champs de température Météosat et les températures vérité-mer en calculant la moyenne des écarts ( $T_{\text{mer}} - T_{\text{Met}}$ ) après rejet des températures trop éloignées de la moyenne:

- en 1983, moyenne ( $T_{\text{mer}} - T_{\text{Met}}$ ) est inférieure à  $1.5^{\circ}\text{C}$
- les températures Météosat sont toujours inférieures aux températures mer.

### Conclusion

La méthode MIEC nécessite l'utilisation d'un modèle d'atmosphère, applicable à la zone de l'Afrique de l'ouest que nous ne possédons pas. On ne peut donc pas utiliser cette méthode car la région de l'étude est caractérisée par des variations géographiques et saisonnières importantes des phénomènes atmosphériques

La méthode empirique consistant à calibrer les champs thermiques Météosat avec les températures mer ou les cartes National Weather Service devra donc être utilisée.

## Bibliographie

BERRIT G.R. 1961. Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations le long des lignes de navigation. Première partie. Cah. Océanogr. 13 (10), 715-727.

BERRIT G.R. 1962. Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations le long des lignes de navigation. Deuxième partie. Cah. Océanogr. 14 (9), 633-643 et 14 (10), 719-729.

BOELY T., CHABANNE J., FREON P. et B. STEQUERT 1982. Cycle sexuel et migrations de *Sardinella aurita* sur le plateau continental ouest-africain, des îles Bissagos à la Mauritanie. Rapp. P-V Réunion. Cons. Explor. Mer, 180, 350-355.

CITEAU J. ET NOEL 1979. Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal. 6ème Conférence of the Remote Society, 18-19 dec. 1979, Dundee.

CITEAU J. BERRIT G.R. et L. VERCESI 1980. The upwelling season in the Gulf of Guinea as observed by Météosat. 6ème Conférence of the Remote Sensing Society, 18-19 dec. 1979, Dundee.

CITEAU J. et F. DOMAIN 1981. A short review of an oceanographic use of Météosat data at ORSTOM remote sensing service. Proceedings of an EARSeL ESA Symposium, Voss, Norway, 19-20 may 1981.

CITEAU J. et B. GUILLOT 1982. Données des satellites météorologiques. Utilisations océanographiques, continentales et climatiques. Document Antenne ORSTOM Lannion.

CONAND F. 1976. Distribution et abondance des larves de *Sardinella aurita* Val. 1847 dans la région du Sénégal en 1974. Cah. ORSTOM, sér. océanogr. Vol. XIV, n°3, 221-225.

CODIPOSTI L.A., DUGDALE R.C. et H.J. MINAS 1982. A comparison of the nutrient regimes off Northwest Africa, Peru, and Baja California. Rapp. P-V Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 180, 184-201.

DOMAIN F. 1979. Le satellite METEOSAT et l'océanographie. Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal. Initiations. Documentation Technique n°42, Télédétection 3, ORSTOM.

DOMAIN F. 1982. Répartition de la matière organique de la couverture sédimentaire du plateau continental ouest-africain. Rapp. P-v Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 180, 339-341.

## ESOC REPORT Calibrations Reports

Report on the Black Body Calibration ESA. Meteorological Satellite Programme Board Scientific and Technical advisory group. MDMD/MET

Issue 1: august 1981- september 1982

Issue 2: octob 1982- december 1982

Issue 3: janua 1983- march 1983

FREON P., STEQUERT B. et T. BOELY 1982. La pêche des poissons pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest des Iles Bissagos au nord de la Mauritanie: description des types d'exploitation. Rapp. P-v Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 180, 399-404.

GERLOTTO F., MARCHAL E. et B. STEQUERT 1982. Les ressources en poissons du plateau continental sénégalais évaluées par écho-intégration. Rapp. P-v Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 180: 379-384.

GOUDE-GAUSSSEN G. et P. ROGNON 1983. Les poussières sahariennes. La Recherche n°147, 1050-1062.

GRALL JR., LE CORRE P. et TREGUER P. 1982. Short term variability of primary production in coastal upwelling off Morocco. Rapp. P-v Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 180, 221-228.

HERBLAND A. et B. VOITURIEZ 1974. La production primaire dans l'upwelling mauritanien en mars 1973. Cah. ORSTOM, sér. océanogr. XII, n°3, 187-201.

HISARD P. 1980. Observation de réponses de type "El Nino" dans l'Atlantique Tropical Oriental (Golfe de Guinée). Océanolog. Acta, vol 3, (1), 69-78.

HISARD P. et HENIN 1983. The "warm" upwelling season of the 82-83 northern winter in the Canary Current off Dakar (15°N-17°W). Tropical Ocean Atmosphere Newsletter, à paraître.

KERR R.A. 1983. Fading El Nino Broadening Scientists' View. Science, Vol. 221, 940-941.

MERLE J. 1980. Variabilité thermique annuelle et interannuelle de l'Océan Atlantique Equatorial Est. L'hypothèse d'un "El Nino" atlantique. Océanol. Acta, vol 3, (2), 209-220.

MINAS H.J., PACKARD T.T., MINAS M. et B. COSTE 1982. An analysis of the production regeneration systems in the coastal upwelling area off N.W. Africa based on oxygen, nitrate and ammonium distributions. J. Marine Research, 40, 3, 615-641.

MITTELSTAEDT E. PILLSBURY et SMITH 1975. Flow pattern in the Northwest African Upwelling Area, February-April 74. Joint I. D.T. Hydrogr. Zeit. Band 28, reft 4.

MITTELSTAEDT E. 1983. The Upwelling Area Off Northwest Africa- A Description of Phenomena Related to Coastal Upwelling. Prog. Oceanog. Vol. 12, 307-331.

MOREL A. 1982. Optical properties and the radiant energy in the waters of the Guinea Dome and the Mauritanian upwelling area in relation to primary production. Rapp. P-v Réunion. Cons. int. Explor. Mer 180,94-107.

POCKLINGTON R. 1982. La matière organique des eaux baignant le Sénégal et la Gambie. Océanogr. Trop. 17 (1),71-84.

REBERT J.P. et M. PRIVE 1974. Observation de courant sur le plateau continental sénégalais du Cap Vert au Cap Roxo. Campagne 7410, mars 1974. Document ORSTOM, archive n°4.

SCHEMAINDA R. NEHRING D. et S. SCHULZ 1975. Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential der nordwestafrikanischen Wasserauftriebsregion 1970-1973. Geod. Geophys. Veröff. R.IV, H.16, 85pp.

STURM B. 1981. Utilization of the Coastal Zone Color Scanner experience in oceanography. Remote Sensing Summer School course, Dundee.

STRETTA et al. 1980. "Listao et télédétection" suite de l'aide à la pêche. Doc CNES, CNEXO et ORSTOM.

TEISSON C. 1981. Structures hydrologiques observées en période d'upwelling au large du Sénégal. Comparaison de ces structures aux modèles théoriques et empiriques d'upwelling. Document ORSTOM, n°97.

VOITURIEZ B. et A. HERBLAND 1982. Vitesses verticales et production potentielle dans l'upwelling de Mauritanie en mars 1973. Rapp. P-v Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 180,131-140.