

00000799

109

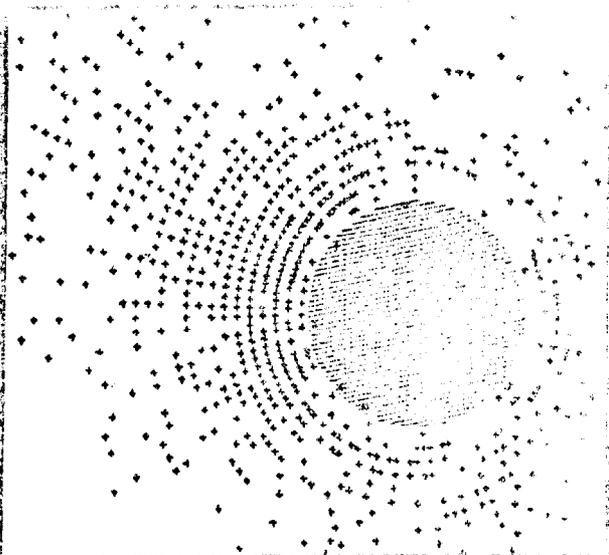
CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA THERMOGRAPHIE DE SURFACE  
EN SAISON FROIDE  
SUR LE PLATEAU CONTINENTAL SÉNÉGAL-MAURITANIE  
A PARTIR DES IMAGES DU SATELLITE METEOSAT

par

Alassane Oumar BA

RAPPORT INTERNE  
N° 45

antenne  
Orstom  
cob brest



Contribution à l'étude de la thermo-  
graphie de surface en saison froide  
sur le plateau continental SENEGAL-  
MAURITANIE à partir des images du  
satellite METEOSAT.

ALASSANE OUMAR BA



## I N T R O D U C T I O N

---

Le long du plateau continental sénégal-mauritanien ont lieu des phénomènes de remontée des eaux profondes froides (upwellings). En remontant vers la surface ces eaux entraînent avec elles une quantité abondante de sels nutritifs favorables au développement d'une flore et par voie de conséquence d'une faune diversifiées.

Jusqu'en 1958, la localisation des zones d'upwellings se faisait à partir de l'étude des champs de températures relevées à bord des navires ou par des bouées automatiques. L'information obtenue à partir d'une telle étude a un caractère ponctuel : le navire comme la bouée se trouvent, à l'instant de la mesure, en un lieu précis. Le satellite par contre permet, grâce à sa position d'observateur privilégié, d'étudier une grande étendue pendant une longue durée. La zone concernée par cette étude si mince soit-elle (pellicule océanique) est très importante car elle est le siège des échanges d'énergie entre l'océan et l'atmosphère et conditionne le fonctionnement de la gigantesque machine thermodynamique Océan-Atmosphère.

Les qualités d'observateur de l'environnement du satellite jointes aux connaissances que nous avons du comportement des espèces vivantes marines permettent de mieux localiser les zones favorables à leur capture par des mesures liées à divers paramètres (en particulier températures superficielles et teneur en chlorophylle).

Le travail que nous présentons ici se divise en trois parties. Dans la première, nous avons fait une synthèse des travaux antérieurs concernant la physico-chimie du plateau continental sénégal-mauritanien. La deuxième partie est consacrée à une étude statistique des données de températures superficielles relevées aux stations côtières du SENEGAL. Enfin dans la troisième partie nous avons décrit les saisons froides 1978 et 1973 grâce aux images METEOSAT du mois de février.

Au début de notre travail, nous avons prévu le traitement ces images METEOSAT du mois de mars 1978 et 1979. N'ayant pas trouvé un nombre suffisant d'images satisfaisantes, nous y avons renoncé dans le cadre de ce mémoire avec l'espoir de le réaliser dans un futur travail.

## SOMMAIRE

I. PHYSICO-CHIMIE DU PLATEAU CONTINENTAL SENEGALO-MAURITANIEN. ....	
1. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES .....	1
1.1. Les masses d'air .....	1
1.2. Pression et circulation atmosphériques. ....	2
2. LES CONDITIONS HYDROLOGIQUES. ....	4
2.1. Courantométrie. ....	4
2.2. Les masses d'eau. ....	4
3. L'HYDROCLIMATOLOGIE. ....	5
3.1. Les climats marins. . . . . *	5
3.2. Les variations saisonnières de la température et de la salinité de surface. .... *	7
4. CONCLUSIONS. ....	7
II. ANALYSE STATISTIQUE DES TEMPERATURES SUPERFICIELLES RELEVÉES AUX STATIONS CÔTIÈRES DU SENEGAL . ....	8
1. RÉDUCTION DES DONNÉES. DÉFINITION DES VALEURS "ANORMALES". ....	9
2. COMPARAISON DES SAISONS FROIDES FÉVRIER-MARS 1978 et 1979 . SUR LA PETITE ET GRANDE CÔTES DU SENEGAL À PARTIR DES DONNÉES DES STATIONS CÔTIÈRES. .... *	12
III. CARACTÉRISTIQUES ET MISSIONS DU SATELLITE METEOSAT. TRAITEMENT DES DONNÉES. ....	18
1. CARACTÉRISTIQUES DE METEOSAT. ....	18
2. MISSIONS SPÉCIFIQUES DE METEOSAT. ....	20
2.1. Prise et traitement des images. ....	20
2.2. Diffusion d'images ou de données. ....	21
2.3. Collecte des données. ....	22
3. MODIFICATIONS DES DONNÉES FOURNIES PAR METEOSAT. ....	22
4. TRAITEMENT DES DONNÉES NUMÉRIQUES. ....	33
5. DESCRIPTION DES SAISONS FROIDES FÉVRIER 1978 ET 1979 À PARTIR DES IMAGES METEOSAT. ....	24
5.1. Description des faits observés. ....	24
5.2. Comparaison entre les faits observés par télédétection et les données des bateaux marchands. ....	25
BIBLIOGRAPHIE. ....	26
ANNEXE I. ....	28
ANNEXE II. ....	36
ANNEXE-III. ....	42
ANNEXE IV. ....	50

## I. PHYSICO-CHIMIE DU PLATEAU CONTINENTAL SENEGALO-MAURITANIEN

Le **plateau** continental sénégal-mauritanien (fig. 1) est caractérisé par des variations saisonnières de grande amplitude des conditions hydrologiques. Un certain nombre de travaux concernant le golfe de Guinée pris au sens large (de l'embouchure du fleuve *Congo* au cap Blanc) décrivent ces conditions : BERRIT (1952, 1961, 1962 et 1973) ; LONGHURST (1962) ; ROSSIGNOL et ABOUSSOUAN (1965) ; MAIGRET (1972) ; ROSSIGNOL (1973) ; TIXERANT (1974) ; REBERT et DOMAIN (1977).

### 1. LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES

La météorologie de la région étudiée est gouvernée par le constant balancement en latitude de la zone intertropicale de convergence (fig. 2). Cette zone sépare les hautes pressions de l'Atlantique Nord de celles de L'Atlantique Sud où convergent les vents d'Est. Il en résulte l'alternance de deux saisons : une saison sèche de novembre à mai ; une saison chaude et humide de juin à octobre.

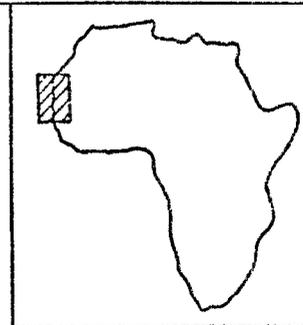
#### 1.1. Les masses d'air

Sur Le plateau continental sénégal-mauritanien, trois types de masses d'air peuvent se rencontrer :

- une masse d'air continental (encore appelé alizé continental ou harmattan) : c'est un vent sec, caractérisé par une température élevée et à forte variation diurne et un bas point de rosée. Cette masse d'air recouvre la majeure partie des territoires sénégalais et mauritanien mais ne se rencontre en zone côtière que de décembre à mars, période pendant laquelle elle peut transporter d'importantes quantités de poussières fines.

- une masse d'air maritime (alizé maritime) : c'est une masse d'air

200 m  
Dahkla  
Cap Barbas  
Nouadhibou  
Cap Blanc



D'après carte SHOM  
N° 5588

M A U R I T A P I E

Nouakchott

Sénégal

S E N E G A L

Cap Vert  
Dakar

Gambie  
G A M B I E  
Casamance

Cap Roxo

Rio Cachou  
Rio Jebra  
Rio  
GUINEE  
B I S S A U  
Corubal

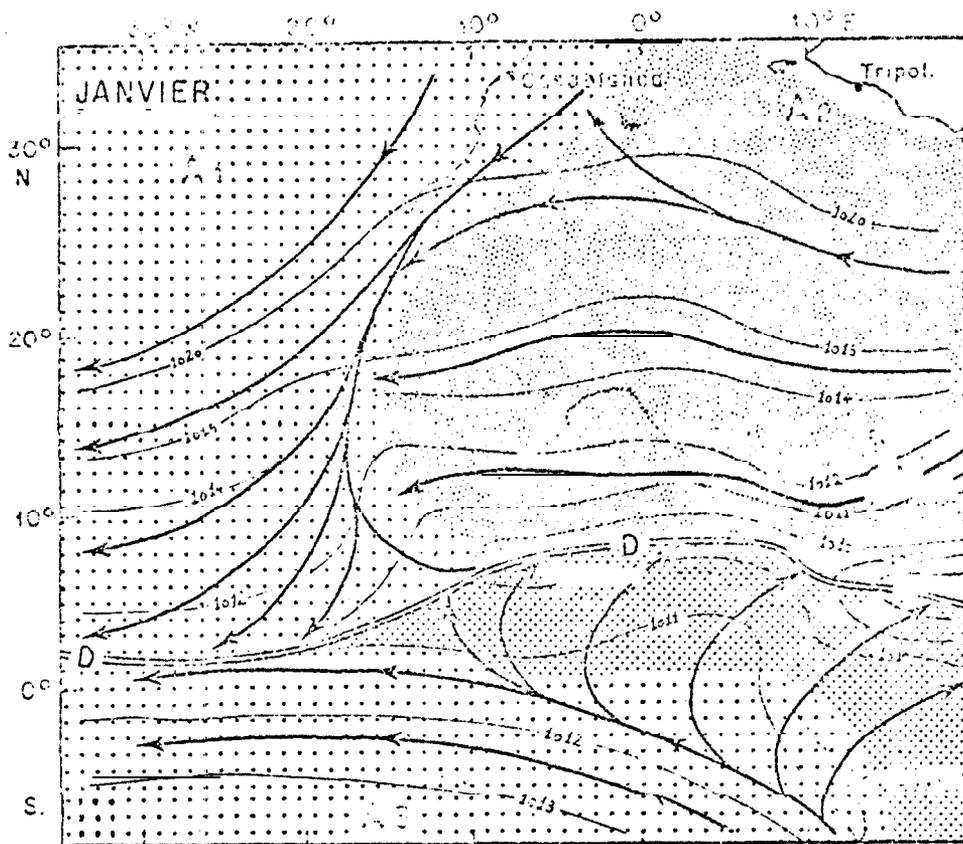
Archipel  
des Bissagos

Rio Comary  
Rio Nuñez

GUINEE

SIERRA  
LEONE

0°



CENTRES D'ACTION

- MS-Ligne isobore (pression en nb. au niveau de la mer)
- == Tracé ou sol de l'équateur météo. (F.I.T. sur le continent)
- D Arc des bosses pressions intertropicales.
- A1 Cellule anticyclonique des Açores.
- A2 " " " maghrébine.
- A3 " " " de Sto. Héène.

MASSES D'AIR

- Alizé maritime
- " " continental
- Mousson
- Tuject. des masses d'air

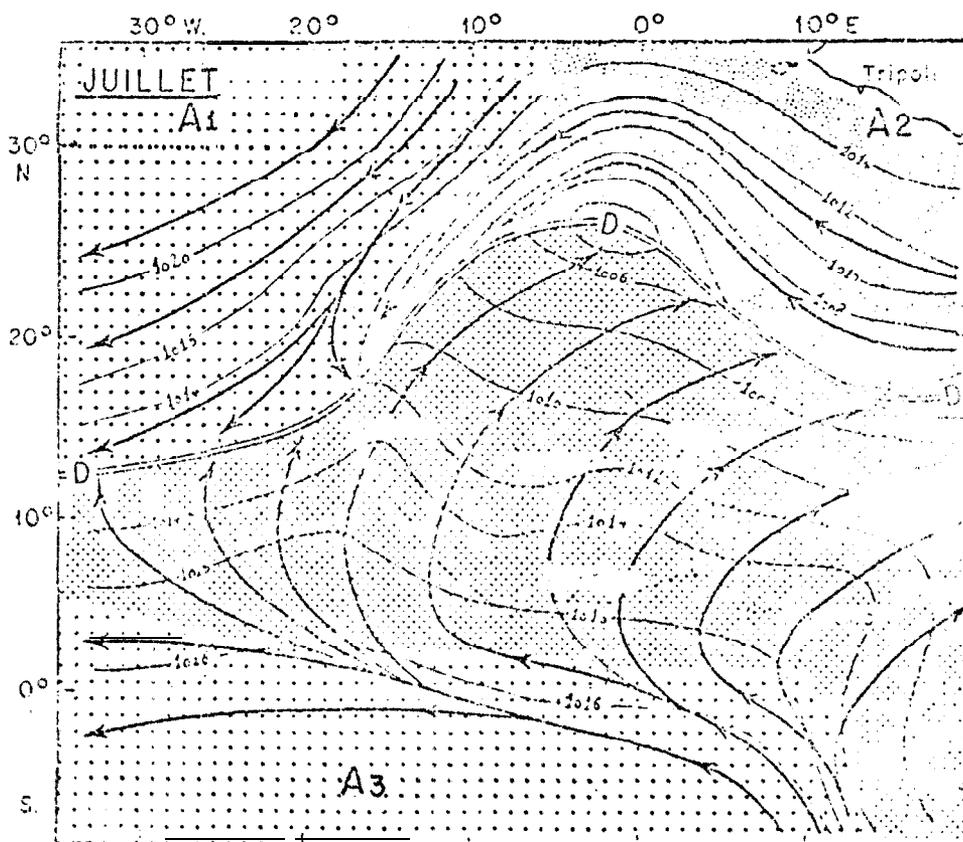


Fig. 2 - La situation météorologique au dessus de l'Afrique en saison froide (janvier) et en saison chaude (juillet) - (d'après LEROUX, 1977)

frais et humide, soufflant des secteurs nord et nord-est. Apparaissant au mois de septembre dans la zone du cap Blanc, il progresse petit à petit vers le sud et atteint sa limite méridionale d'extension à la latitude de la Guinée Bissao et des îles du cap Vert vers le mois de février. D'après DOMAIN (1980), cette masse d'air joue un rôle très important dans les phénomènes de remontées d'eaux profondes froides (upwellings).

- une masse d'air australe appelée mousson : elle est généralement accompagnée d'abondantes précipitations (juin, juillet et août) et contribue parfois à renvoyer vers la côte les eaux chaudes du large.

## 1.2. Pression et circulation atmosphérique

La saison des pluies ou hivernage s'étend de juin à septembre, avec un maximum de l'ordre de 765 mm/an au mois d'août. Selon DOMAIN (1980), cette saison correspond à la remontée saisonnière vers le nord de la zone inter-tropicale de convergence. Donc les précipitations sont beaucoup plus abondantes dans les zones méridionales. Le tableau 1 emprunté à BERRIT et REBERT (1977) montre bien que la pluviométrie décroît du sud au nord.

Tableau 1 : Pluviométrie de la côte de la Guinée à la Mauritanie  
(d'après BERRIT et REBERT, 1977).

Station pluviométrique	Saison des pluies	Moyenne annuelle mm	Période de mesure
NOUADHIBOU* 20°55'N MAURITANIE	juillet octobre	5 à 25	1951 - 1960 (10 ans)
DAKAR YOFF 14°40'N SENEGAL	juillet octobre	443	1964 - 1973 (10 ans)
M'BOUR 12°25'N SENEGAL	juin octobre	739	1950 - 1973 (24 ans)
DIEMBERRING 12°28'N SENEGAL	juin octobre	1 218	1963 - 1974 (12 ans)
KABROUSSE 12°21'N SENEGAL	juin octobre	1 410	1968 - 1974 (7 ans)
CACHEU 12°17'N GUINEE BISSAO	mai novembre	1 570	1954 - 1973 (16 ans)
CACINE 11°17'N GUINEE BISSAO	mai novembre	2 526	1955 - 1962 (8 ans)
CONAKRY 09°30'N GUINEE	avril novembre	4 162	1922 - 1967 (42 ans)

\* d'après TANAKA et al., 1975.

## 2, LES CONDITIONS HYDROLOGIQUES

### 2.1. Courantométrie

D'après REBERT et DOMAIN (1977), le régime des courants, sur le plateau continental sénégal-mauritanien, est déterminé par deux systèmes de grands courants océaniques aux caractéristiques (thermiques surtout) très différentes :

- un courant froid, le courant canarien : il prend naissance au nord et se subdivise au niveau du cap Blanc en deux branches : une branche qui bifurque vers l'ouest pour former le courant nord-équatorial ; une branche qui se faufile le long de la côte sénégal-mauritanienne. Le courant canarien est permanent pendant toute la durée des alizés (11.11.11.11). Les eaux superficielles sont mécaniquement entraînées vers le large sous l'action du vent du nord. Au sud du cap Vert, ce phénomène d'entraînement mécanique se traduit par un contre-courant qui remonte le long de la côte.

- un courant chaud, arrivant de l'ouest, le contre-courant équatorial. En général, ce courant n'atteint pas le plateau continental sauf, cas exceptionnel, en saison chaude. Il se dirige vers l'est de la côte africaine où il forme le courant dit guinéen.

### 2.2. Les masses d'eau

Les deux courants précédemment évoqués transportent des masses d'eau très différentes. Les eaux du courant canarien sont froides (avec des températures généralement comprises entre 18 et 19°C en surface, 14° et 13,5° à 50 et 100 m de profondeur respectivement) et salées (35,5 ‰). Ces eaux froides et salées se mélangent avec celles de l'upwelling côtier.

Les eaux du contre-courant équatorial sont chaudes, avec des températures supérieures à 24°C en surface. Du point de vue de la salinité ces eaux se subdivisent :

- eaux tropicales à très fortes salinités (environ 36 ‰).
- eaux libériennes dessalées (< 35 ‰) qui proviennent du mélange des eaux tropicales avec les eaux de pluie d'une part et avec les apports

fluviaux (Sénégal, Gambie, Casamance) d'autre part.

Entre les eaux canariennes froides et les eaux tropicales chaudes, il existe une zone frontale où les caractères physico-chimiques du milieu varient rapidement (DOMAIN, 1980). Pendant la saison froide, elle est localisée par la latitude  $10^{\circ}\text{N}$  où elle forme le front des BISSAGOS ; au cours de la saison chaude, elle remonte jusqu'au niveau de la latitude  $21^{\circ}\text{N}$  où elle constitue le front du cap Blanc (fig.3).

### 3. L'HYDROCLIMATOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL SENEGALO-MAURITANIEN

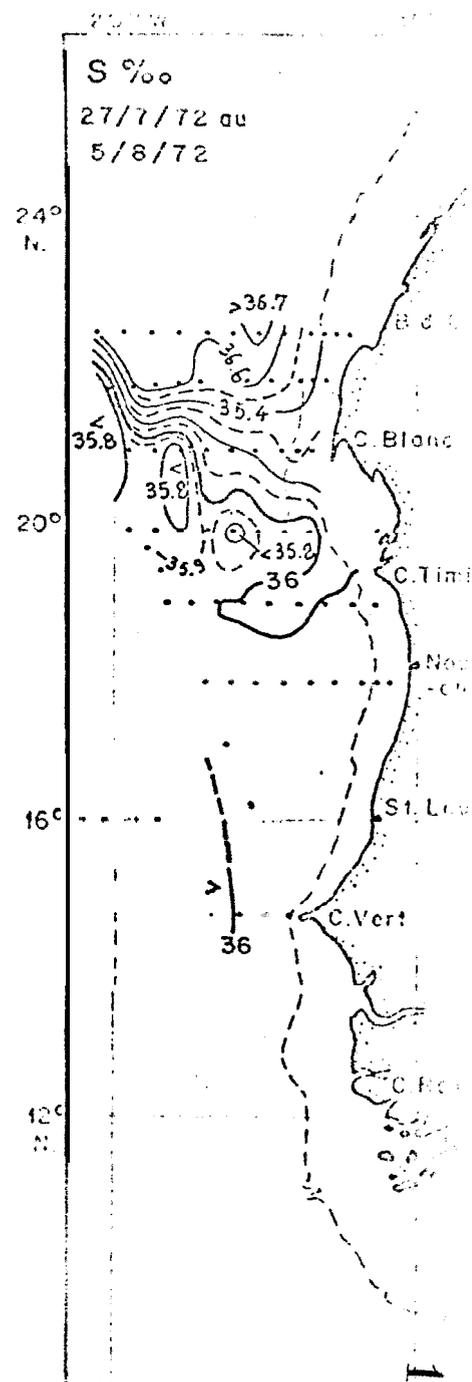
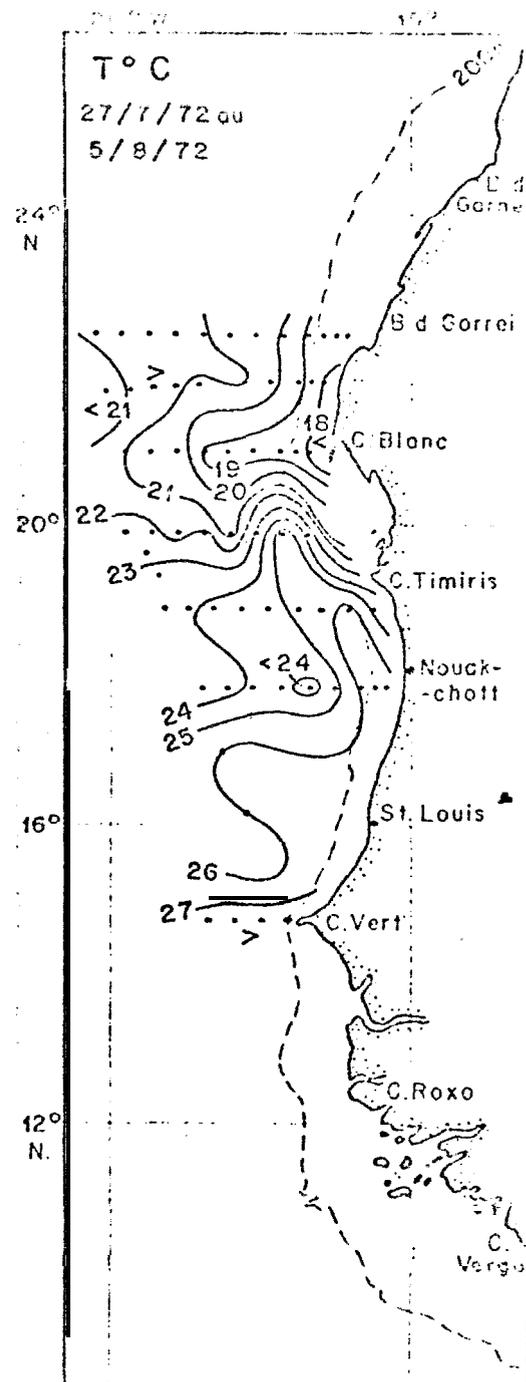
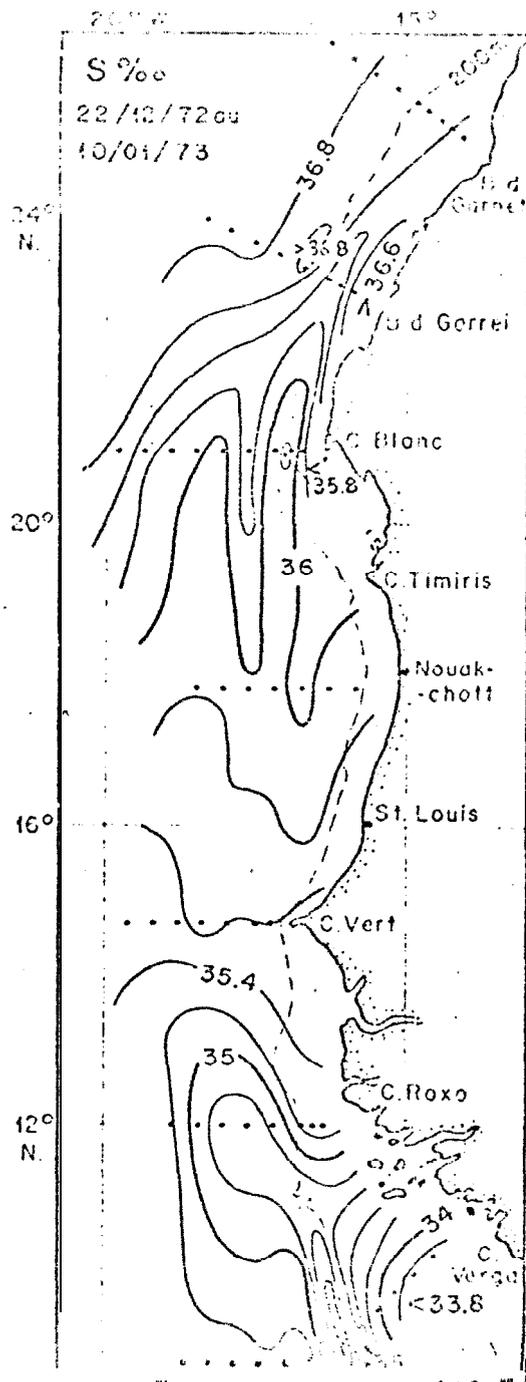
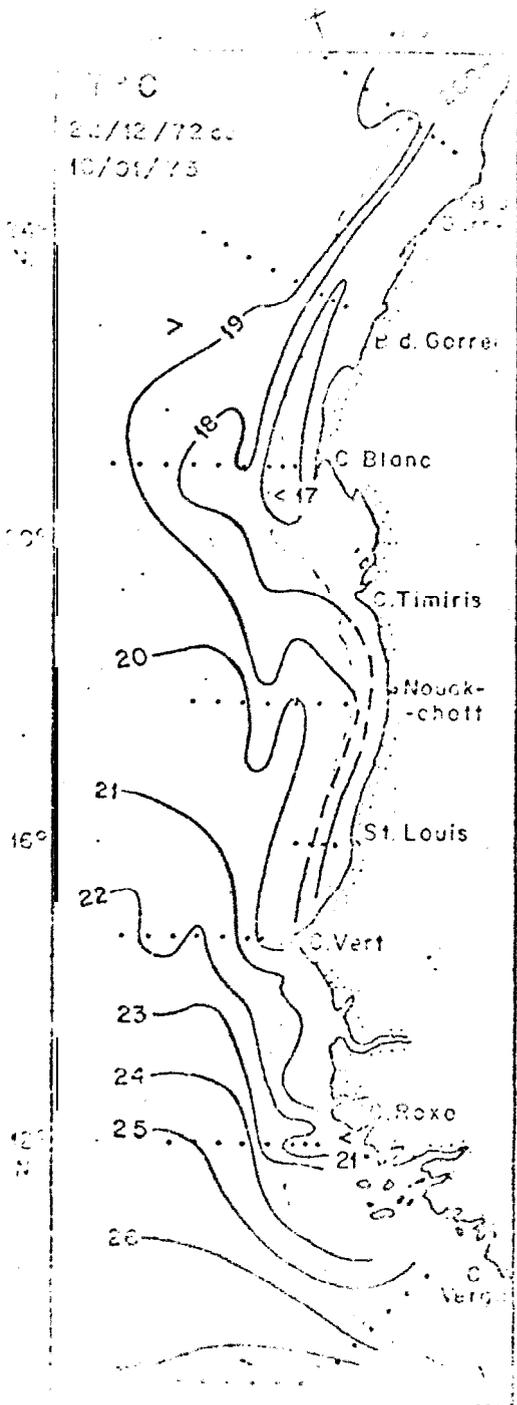
Selon BERRIT (1973), "l'hydroclimat est l'équivalent, au sein d'une masse d'eau, du climat météorologique. On peut dès lors le définir comme la succession habituelle des caractères d'une couche d'eau donnée en un lieu donné".

#### 3.1. Les climats marins

Du point de vue du biologiste, le climat marin est défini à partir des notions de température et de salinité, toute variation thermique entraînant une modification de la faune et de la flore sténothermes, comme toute variation saline influence la faune et la flore sténohalines (BERRIT, 1973).

La variabilité saisonnière des conditions météorologiques sur le plateau continental sénégal-mauritanien conduit à une alternance de deux climats marins : une saison d'eaux froides, une saison d'eaux chaudes, les deux étant séparées par deux courtes périodes de transition.

a, La saison des eaux froides : elle s'étend, d'après BERRIT (1977), de la seconde quinzaine de décembre à mi-mai environ. Pendant cette période, les eaux canariennes froides occupent la quasi-totalité de la zone située au nord du cap Blanc et se rattachent aux eaux sénégal-mauritaniennes vers le mois de février. L'action des masses d'air continental et maritime (alizés) produit tout au long du plateau continental et d'une façon plus marquée sur la côte mauritanienne et au sud des



caps Vert et Roxo - des remontées en surface d'eaux profondes froides. On enregistre alors des températures de l'ordre de 18 à 19°C et des salinités comprises entre 35,5 et 36 ‰.

Cette saison est stable et sa durée varie avec la latitude (SCHEMAINDA et NEHRING, 1975).

b. Le passage de la saison des eaux froides à celle des eaux chaudes : il a généralement lieu en mai-juin, époque pendant laquelle les alizés sont remplacés par des vents d'Ouest faibles et variables, ce qui entraîne l'arrêt des upwellings (mis à part ceux de la côte mauritanienne). Les eaux froides sont alors recouvertes par les eaux chaudes dont l'épaisseur, d'après DOMAIN (1980), varie entre 30 et 50 m.

c. La saison des eaux chaudes : elle dure de juillet à octobre, période au cours de laquelle on assiste au maximum d'extension des eaux chaudes vers le nord (ROSSIGNOL, 1973), avec des températures de l'ordre de 27° à Dakar et 25° devant le banc d'ARGUIN (DOMAIN, 1980). Ces eaux chaudes sont de faible salinité par suite des précipitations importantes au sud de la Gambie.

d. Le passage de la saison des eaux chaudes à celle des eaux froides : d'après ROSSIGNOL (1973), cette période est caractérisée par un double mouvement des masses d'eau :

- en octobre, le grossissement de l'upwelling mauritanien produit un rejet vers le sud des eaux chaudes tropicales et libériennes.

- en mi-novembre, les fortes précipitations de la Sierra Leone et du Libéria induisent une élévation du niveau de la mer dans le bassin libérien et une augmentation du gradient de pression. En conséquence, on assiste à une progression le long de la côte en direction du nord d'une langue d'eau libérienne. Cette langue atteint la latitude 18°N (NOUAKCHOTT) alors que les eaux tropicales, plus au large, continuent à refluer vers le sud. Il en résulte une période de fortes oscillations thermiques au Sénégal.

### 3.2. Les variations saisonnières de la température et de la salinité de surface

D'une latitude à une autre, la température et la salinité de surface varient notablement. A partir des valeurs moyennes publiées par plusieurs auteurs, nous avons calculé les variations de ces deux paramètres pour des zones situées à des latitudes différentes, (voir tableau 2).

Tableau 2 : Variations de la T° et de la S‰ de surface en fonction de la latitude.

Zones	Variations de T° °C	Sources	Variations de S‰	Sources
CAP BLANC	8	BERRIT 1961 - 1962	0,5	MAICHEL 1972
SAINT-LOUIS	12	REBERT et PRIVE 1977	6,41	REBERT et PRIVE 1977
DAKAR	10,4	idem	0,68	idem
M'BOUR	10	idem	1,5	idem

#### 4. CONCLUSIONS

Le passage d'un régime où dominant les masses d'air continental et maritime (alizés) à celui de la masse d'air australe (mousson) implique l'existence, sur le plateau continental sénégalo-mauritanien, de deux saisons marines très différentes :

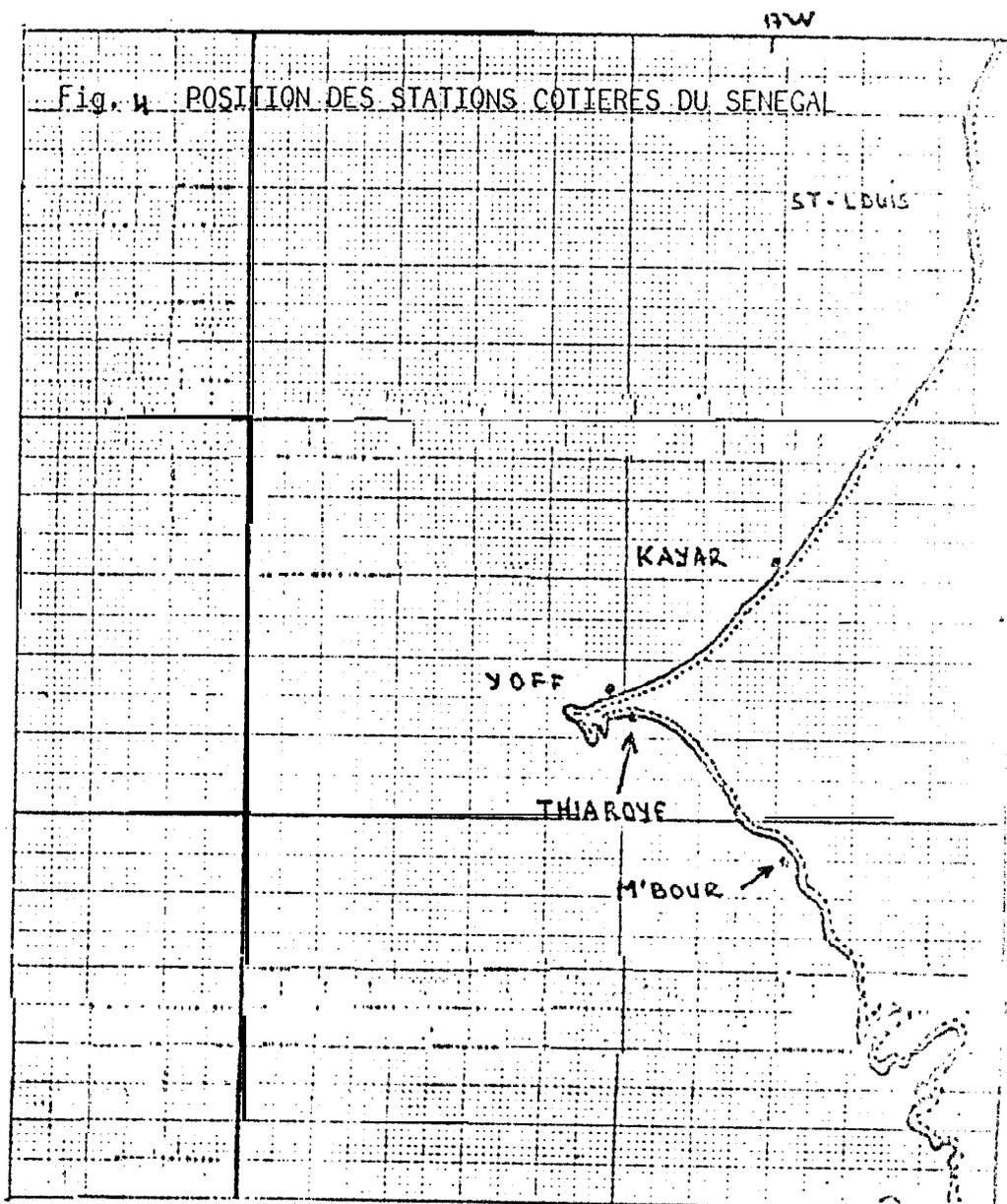
- une saison d'eaux froides, caractérisée par des remontées d'eaux profondes froides et riches en sels nutritifs ;
- une saison d'eaux chaudes, marquée par l'arrivée du large d'une couche d'eau chaude et par une dessalure due aux précipitations et aux apports fluviaux (fleuve Sénégal notamment).

Le passage d'une saison marine à une autre est marqué par des variations rapides et à grandes amplitudes de la température et de la salinité (DOMAIN, 1977).

## II. ANALYSE STATISTIQUE DES TEMPERATURES SUPERFICIELLES

## RELEVÉES AUX STATIONS COTIÈRES DU SENEGAL

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats d'une analyse statistique des températures superficielles de l'eau relevées aux stations côtières du Sénégal qui sont du nord au sud : SAINT-LOUIS, KAYAR, YOFF, THIAROYE et M'BOUR (fig. 4).



## 1. REDUCTION DES DONNEES. DEFINITION DES VALEURS "ANORMALES"

Les données utilisées sont celles de 1974 à 1979 inclus. Pour chaque station nous avons calculé les moyennes  $\bar{m}$  des températures superficielles par décade, leurs moyennes mensuelles  $\bar{m}^m$ , une moyenne  $\bar{M}$  pour toute la période donnée et les anomalies de températures. Les résultats calculés figurent sur les tableaux, 3 et 4. Dans le but de mieux appréhender la variabilité des mesures autour de la moyenne  $\bar{M}$  pour chaque période, nous avons calculé l'écart-type  $\sigma_n$ , ce qui nous a permis d'introduire les notions de décades (ou mois) "normale" et de décade "anormale" d'un point de vue statistique. Nous avons défini un intervalle  $\bar{M} - 1,64 \sigma_n$  à  $\bar{M} + 1,64 \sigma_n$ . Toutes les mesures décadales  $\bar{m}$  (ou mensuelles  $\bar{m}^m$ ) se trouvant à l'intérieur de cet intervalle seront considérées comme "normales" et toutes celles se situant à l'extérieur comme "anormales",

Les résultats obtenus, pour les cinq stations côtières du SENEGAL, sont présentés sur le tableau 3 et montrent que :

1) pour toutes les stations, le mois de mars est celui où on enregistre le plus de moyennes décadales "anormales" : 1976, 1977, 1978 et 1979 à Saint-Louis ; 1977 à Kayar, Yoff, Thiaroye et M'Bour. Le mois de février quant à lui n'a connu pendant toute la période de données que deux décades "anormales" : 1979 à Kayar et Yoff.

2) la fourchette de température ( $17^\circ - 18^\circ$ ), caractéristique de cette période qui correspond à celle des eaux froides observées par BERRIT (1977), n'est observée qu'à la station de Yoff (exception faite pour février 1976). Les moyennes mensuelles ( $\bar{m}^m$ ) basses observées aux stations côtières de Saint-Louis et Thiaroye en février-mars 1978 et 1979 ainsi que celle élevée pour la saison (20 en 1977, 19,9 et 19,7 en 1978) relevées à M'Bour sont, d'après notre estimation statistique, toutefois normales. Seule la moyenne mensuelle de mars 1977 s'avère anormale.

Les basses températures observées à Saint-Louis sont en accord de ce que l'on sait de la région. En effet, selon BERRIT (1977), c'est en février-mars que les eaux froides du courant des Canaries se rattachent aux eaux sénégal-mauritaniennes. La baisse des températures qui résulte de ce mélange est très nette à la station de Saint-Louis.

Quant aux basses températures relevées à Thiaroye, elles s'expliquent



Tableau 4 : Anomalies (par décade) de la température aux stations côtières du Sénégal.

		ST-LOUIS	KAYAR	YOFF	THIAROYE	M'BOUR
9	F E V R I E R	+0,6 +0,5 +0,4 $\Sigma_+ = +1,5$ $\Sigma_- = 0,0$ $\Delta = +1,5$	+0,6 +1,1 +0,5 $\Sigma_+ = +2,1$ $\Sigma_- = 0,0$ $\Delta = +2,1$	+1,0 +1,0 +1,1 $\Sigma_+ = +3,1$ $\Sigma_- = 0,0$ $\Delta = +3,1$	+0,6 +0,7 0,0 $\Sigma_+ = 1,3$ $\Sigma_- = 0,0$ $\Delta = +1,3$	+1,1 +0,8 +0,4 $\Sigma_+ = 2,3$ $\Sigma_- = 0,0$ $\Delta = +2,3$
		7 8	M A R S	-0,8 +0,1 +0,8 $\Sigma_+ = +0,9$ $\Sigma_- = -0,8$ a = +0,1	-0,7 -0,1 +1,0 $\Sigma_+ = +1,0$ $\Sigma_- = -0,8$ $\Delta = +0,2$	-0,3 0,0 0,6 $\Sigma_+ = +0,6$ $\Sigma_- = -0,3$ A = +0,3
1 9	F E V R I E R			+0,7 +0,2 -0,5 $\Sigma_+ = +0,9$ $\Sigma_- = -0,5$ $\Delta = +0,4$	+1,3 +0,7 -0,4 $\Sigma_+ = +2,0$ $\Sigma_- = -0,4$ $\Delta = +1,6$	+2,1 +0,5 0,0 $\Sigma_+ = +2,6$ $\Sigma_- = 0,0$ $\Delta = +2,6$
		7 9	M A R S	-0,6 +0,7 +1,4 $\Sigma_+ = +2,1$ $\Sigma_- = -0,6$ $\Delta = +1,5$	-0,8 -1,2 +0,7 $\Sigma_+ = +0,7$ $\Sigma_- = -2,0$ $\Delta = -1,3$	-0,8 -1,3 +0,5 $\Sigma_+ = +0,5$ $\Sigma_- = -2,1$ A = -1,6

plutôt par un **effet** de cap : la pointe de **SANGOMAR** et celle des **ALMADIES**, toutes situées à l'ouest de Thiaroye renvoient vers le *large et vers l'est* de la *côte* africaine les eaux chaudes du **contre-courant équatorial**. Ce renvoi des eaux chaudes explique les températures élevées observées à **M'Bour** situé au sud-est de Thiaroye.

## 2. COMPARAISON DES SAISONS FROIDES **FEVRIER-MARS** 1978 ET 1979 SUR LES PETITE **ET** GRANDE COTES DU SENEGAL A PARTIR DES **DONNEES** DES STATIONS COTIERES

Nous avons, statistiquement, **comparé** les saisons froides février-mars 1978 et 1979 sur les petite et grande **côtes** du Sénégal à partir des stations **côtières**. Pour chaque mois et à chaque station, nous avons calculé une **moyenne bimensuelle** des températures superficielles de l'eau et appliqué le test de la différence entre les moyennes de deux échantillons (par exemple, première quinzaine de février 1978 - 1ère quinzaine de février 1979). Les calculs du test de signification,  $t$ , sont donnés par le tableau 6 .

Ensuite, nous avons comparé les valeurs **trouvées** de  $t$  (sans considération des signes) à celles de Maxime MERRINGTON ("Table of percentage points of the  $t$  distribution") au seuil de 90, 95 et 99 %. D'après le tableau 6 *et* les signes conventionnels que nous avons adoptés, il ressort que pour la première quinzaine de février 1978 et pour celle de février 1979, le test de la différence  $t$  n'est significatif\* à 95 % que la station côtière de **Kayar**, alors que pour les 2èmes quinzaines de février 1978 et 1979, il **l'est** à toutes les stations sauf celle de Thiaroye.

Pour la première quinzaine de mars 1978 et celle de mars 1979, le test  $t$  est significatif à 90 % à la station de Saint-Louis, à 95 % à celle de **M'Bour** et à 99 % à celle de **Yoff**. Par contre pour les deux dernières quinzaines, il **n'est** significatif à aucune station.

---

\* Si le test  $t$  est significatif à une station donnée, les deux quinzaines du mois (exemple : 1ère quinzaine de février 1978 et 1ère quinzaine de février 1979) sont alors thermiquement différentes,

Conclusion : le test de la différence entre les moyennes bimensuelles des températures superficielles relevées aux stations côtières du Sénégal montre une relative stabilité thermique entre la première quinzaine de février 1978 et celle de février 1979 et entre la deuxième quinzaine de mars 1978 et celle de mars 1979.

Les moyennes bimensuelles montrent, par *contre*, que la deuxième quinzaine de février 1978 et la première quinzaine de mars 1978 ont été plus chaudes que les deuxième et première quinzaines de février et mars 1979 respectivement.

FEV R I E R 1978

F E V R I E R 1979

	ST-LOUIS	KAYAR	YOFF	THIAROYE	M'BOUR
1	17,0	15,9	17,2	16,8	18,5
2	16,1	16,0	17,1	16,8	19,4
3	16,7	16,2	17,4	16,7	20,5
4	16,0	16,5	17,5	16,7	19,6
5	16,5	17,6	17,9	16,3	20,8
6	16,2	16,9	18,2	16,3	20,3
7	17,1	18,2	18,5	16,4	21,2
8	17,6	17,6	18,4	16,4	21,3
9	18,1	18,2	19,3	17,1	20,3
10	18,1	18,5	19,2	16,9	20,1
11	17,6	18,4	19,2	17,1	20,3
12	17,7	17,9	19,0	17,1	19,5
13	16,9	17,8	18,7	17,1	20,2
14	16,4	17,5	18,4	17,4	19,3
15	16,4	17,2	17,9	17,1	19,8
TOTAUX	254,4	260,4	273,9	252,3	301,1
$n_1$	15	15	15	15	15
$\bar{X}_1$	17,0	17,4	18,3	16,8	20,1
$\sum X_1^2$	4321,6	4531,3	5009,1	4242,0	6051,8
$(\sum X_1)^2/n_1$	4314,6	4520,5	5001,4	4240,3	6044,1
$\sum x_1^2$	7,0	10,8	7,7	1,7	7,7
d. l.	14	14	14	14	14

	ST-LOUIS	KAYAR	YOFF	THIAROYE	M'BOUR
	16,9	18,2	19,8	16,6	
	16,7	18,8	20,1	16,1	19,8
	16,8	18,8	19,8	16,0	19,3
	16,7	17,5	-	15,7	19,5
	16,7	17,0	18,9	16,4	19,3
	17,3	17,2	18,3	16,8	20,0
	17,1	16,9	17,9	17,0	19,9
	17,4	17,1	19,1	18,4	21,4
	17,4	18,6	19,5	18,8	21,8
	-	19,2		18,7	22,0
	17,8	19,1	-	17,8	22,2
	17,8	18,7	18,3	17,6	21,6
	16,5	18,2	18,3	17,2	21,0
	17,1	17,5	17,9	17,3	19,8
	16,2	19,6	17,7	17,3	
TOTAUX	238,4	272,4	225,6	257,7	267,6
$n_1$	14	15	12	15	13
$\bar{X}_1$	17,0	18,2	18,8	17,2	20,6
$\sum X_1^2$	4062,5	4958	4249,2	4440,2	5522,9
$(\sum X_1)^2/n$	4059,6	4946,8	4241,3	4427,3	5508,4
$\sum x_1^2$	2,9	11,2	7,9	12,9	14,5
d. l.	13	14	11	14	12

Tableau 5

17	16,5	17,8	17,6	16,7	20,5	15,5	16,1	17,3	16,6	-	
18	16,7	17,7	17,7	16,7	19,4	15,9	15,0	16,3	16,3		
19	16,7	17,4	17,2	15,9	19,2	16,3	15,6	-	16,5	18,4	
20	16,6	17,6	17,6	16,2	20,6	16,5	16,5	17,7	16,9	18,5	
21	16,6	17,7	18,0	16,2	20,0	15,6	16,4	17,4	17,0	18,8	
22	16,7	17,9	18,5	16,2	19,0	16,0	16,5	17,1	16,7	18,3	
23	16,5	17,8	18,5	15,5	19,5	15,8	15,7	16,7	16,3	18,3	
24	16,9	17,2	18,6	15,2	19,7	15,8	16,0	16,7	16,0	17,9	
25	17,2	16,2	18,7	15,9	20,0	15,6	16,4	17,8	16,2	18,2	
26	16,9	16,7	18,7	16,3	20,1	15,7	15,9	15,8	16,0	18,4	
27	16,5	16,7	18,0	16,4	18,4	15,8	16,1	17,2	15,8	18,5	
28	16,6	16,9	17,4	16,2	19,0	15,7	16,5	17,8	16,3	19,0	
28	16,3	17,3	17,1	16,5	20,0	15,8	16,9	17,8	15,6	19,0	
TOTAUX	216,7	224,9	233,6	209,9	255,4	206	209,6	205,6	212,2	203,3	
$n_2$	13	13	13	13	13	$n'_2$	13	13	12	13	11
$\bar{X}_2$	16,7	17,3	18,0	16,1	19,6	$\bar{X}'_2$	15,8	16,1	17,1	16,3	18,5
$\sum \bar{X}_2^2$	3612,8	3894,1	4201,7	3391,3	5022,5	$\sum \bar{X}'_2^2$	3265,5	3382,4	3527,2	3465,8	3758,5
$(\sum X_2)^2/n_2$	3612,2	3890,8	4197,6	3389,1	5017,6	$(\sum X'_2)^2/n$	3264,3	3379,4	3522,6	3463,7	3757,3
$\sum x_2^2$	0,6	3,3	4,1	2,2	4,9	$\sum x'_2^2$	1,2	3,0	4,6	2,1	1,2
d.l.	12	12	12	12	12	d.l.	12	12	11	12	10

Tableau 5 (bis)

M A R S 1978

	ST-LOUIS	KAYAR	YOFF	CHIAROYE	M'BOUR
1	16,6	17,3	17,3	15,7	19,4
2	16,5	16,8	17,4	15,5	19,7
3	15,2	16,0	17,8	15,8	19,7
4	15,0	16,6	16,9	15,8	20,1
5	15,3	16,0	17,2	16,3	20,7
6	15,2	16,1	17,5	16,5	20,0
7	15,2	16,7	17,4	15,7	18,7
8	16,1	17,3	17,2	15,5	20,0
9	16,4	17,3	17,6	15,0	19,2
10	15,9	17,0	17,7	15,3	19,1
11	15,6	17,0	17,9	16,1	20,2
12	15,6	18,3	17,6	16,6	19,1
13	15,7	17,5	17,2	16,6	18,0
14	16,0	16,9	17,4	16,3	18,3
15	16,5	16,9	17,1	16,2	18,6
TOTAUX	236,8	253,7	260,7	238,9	290,8
$n_1$	15	15	15	15	15
$\bar{x}_1$	15,8	16,9	17,4	15,9	19,4
$\sum \bar{x}_1^2$	3742,5	4296,1	4531,8	3808,2	5645,9
$(\sum x_1)^2/n_1$	3738,3	4290,9	4531,3	3804,9	5637,6
$\sum x_1^2$	4,2	5,2	0,8	3,3	8,3
d.l.	14	14	14	14	14

M A R S 1979

	ST-LOUIS	KAYAR	YOFF	CHIAROYE	M'BOUR
	15,5	16,3	16,8	15,4	18,7
	15,4	16,6	16,3	15,5	18,4
	15,6	16,0	16,1	15,7	18,6
	-	15,6	-	15,9	19,0
	15,3	16,7	17,0	15,7	18,1
	15,5	20,0	17,0	15,9	18,0
	15,9	16,0	-	16,8	18,0
	15,7	15,9	17,1	16,1	18,7
	16,9	16,2	17,3	16,5	19,0
	16,8	16,4	16,8	16,5	19,4
	-	16,0	-	16,5	19,1
	17,7	15,6	16,1	16,4	-
	17,2	15,7	16,0	16,1	18,8
	18,1	15,9	16,5	15,8	19,7
	17,4	17,2	17,2	15,5	19,6
TOTAUX	213,0	246,1	200,2	240,3	263,1
$n_1$	13	15	12	15	14
$\bar{x}_1$	16,4	16,4	16,7	16,0	18,8
$\sum \bar{x}_1^2$	3501,8	4054,2	3342,3	3852,3	4948,3
$(\sum x_1)^2/n$	3489,9	4037,7	3340	3849,6	4944,4
$\sum x_1^2$	11,9	16,5	2,3	2,7	3,9
d.l.	12	14	12	14	13

Tableau 5 (bis)

16	17,2	16,2	17,4	16,0	18,2
17	17,7	17,2	17,4	15,9	20,8
18	17,6	17,4	17,6	16,3	19,6
19	16,9	17,6	18,1	15,4	21,0
20	16,7	17,8	18,6	15,6	20,8
21	17,5	18,0	17,7	15,9	21,8
22	15,4	18,1	18,6	15,6	19,0
23	16,0	18,0	17,8	16,3	18,4
24	16,6	17,6	17,7	16,1	18,7
25	17,6	17,6	17,8	16,3	19,8
26	17,5	18,1	18,2	17,0	19,9
27	16,2	18,4	18,6	15,9	19,9
28	18,0	19,7	19,1	16,5	20,5
29	19,0	19,3	18,7	15,6	20,4
30	18,1	19,1	18,5	15,9	19,8
31	17,3	18,4	18,1	15,9	20,4
TOTAUX	275,3	288,5	289,9	255,9	319
$n_2$	16	16	16	16	16
$\bar{X}_2$	17,2	18,0	18,1	16,0	19,9
$\Sigma X_2^2$	4749,7	5212,9	5256,6	4095,1	6374,8
$(\Sigma X_2)^2/n$	4736,9	5202	5262,6	4092,8	6360,1
$\Sigma x_2^2$	12,8	10,9	4,0	2,3	14,7
d.l.	15	15	15	15	15

	18,0	15,9	16,1	15,5	19,4
	16,2	16,4	16,7	15,8	19,6
	16,1	16,7	-	16,3	19,7
	16,0	16,4	3,6,3	15,8	18,7
	16,9	16,2	16,5	16,0	18,1
	16,8	16,1	16,3	16,2	18,2
	16,8	16,8	17,7	16,1	18,8
	16,5	16,5	17,5	15,8	19,1
	16,4	17,0	17,8	15,9	18,5
	17,0	17,9	-	15,9	20,0
	17,9	18,9	18,7	16,6	
	19,7	18,4	17,3	15,5	20,4
	20,6	18,9	18,4	15,8	22,4
	20,3	19,4	19,5	15,5	21,4
	18,3	19,6	19,2	15,8	21,2
	17,3	19,3	18,7	15,2	21,5
TOTAUX	280,8	280,4	246,7	253,7	297
$n_2^i$	16	16	14	16	15
$\bar{X}_2^i$	17,5	17,5	17,6	15,8	19,8
$\Sigma X_2^i$	4961,1	4941,2	4363,8	4024,5	5905,1
$(\Sigma X_2^i)^2/n$	4928	4914	4347,2	4022,7	5880,6
$\Sigma x_2^i$	33,1	27,2	16,6	1,8	24,5
d.l.	15	15	14	15	14

Tableau 5 (bis)

Tableau b

Test de la différence entre les moyennes bi-mensuelles des T°C relevées en février et mars 1978 et 1979 aux stations côtières du Sénégal.

Février 1978-1979 (1ère quinzaine)

Paramètres	SAINT-LOUIS	KAYAR	YOFF	THIAROYE	M'BOUR
$S^2 = \frac{\sum x_1^2 + \sum x_1'^2}{n_1 + n_1'}$	0,70	0,78	0,62	0,52	0,85
$S_{\bar{X}_1} - \bar{X}_1'$	0,23	0,32	0,30	0,26	0,35
t	0 27 0	xx 28 -2,50	0 25 -1,66	0 28 -1,54	0 26 -1,43

Février 1978-1979 (2ème quinzaine)

$S^2 = \frac{\sum x_2^2 + \sum x_2'^2}{n_2 + n_2'}$	0,07	0,26	0,38	0,18	0,28
$S_{\bar{X}_2} - \bar{X}_2'$	0,10	0,20	0,25	0,17	0,22
t	xxx 24 9,00	xxx 24 6,00	xxx 23 3,60	0 24 -1,17	xxx 22 7,30

Mars 1978-1979 (1ère quinzaine)

$S^2 = \frac{\sum x_1^2 + \sum x_1'^2}{n_1 + n_1'}$	0,62	0,77	0,12	0,21	0,45
$S_{\bar{X}_1} - \bar{X}_1'$	0,30	0,32	0,13	0,16	0,24
t	x 26 -2,00	0 28 1,61	xxx 26 5,38	0 28 -0,62	xx 27 2,50

Mars 197x-1979 (2ème quinzaine)

Tableau 6 (bis)

$s^2 = \frac{\sum x_2^2 + \sum x_2'^2}{n_2 + n_2'}$	1,53	1,27	0,71	0,14	1,35
$S_{X_2} - \bar{X}_2'$	0,44	0,40	0,31	0,13	0,42
t	0 <sub>30</sub> -0,68	0 <sub>30</sub> 1,25	0 <sub>29</sub> 1,61	0 <sub>30</sub> 1,54	0 <sub>29</sub> 0,24

En haut, à droite : le nombre de degrés de liberté

En haut, à gauche : 0 = test non significatif

x = test significatif à 90 %

xx = test significatif à 95 %

xxx = test significatif à 99 %

III. CARACTERISTIQUES ET MISSIONS DU SATELLITE METEOSAT ;

TRAITEMENT DES DONNEES NUMERIQUES

Le programme METEOSAT, dont le système est schématisé **figure 5**, a été mis en oeuvre par **l'Agence** Spatiale Européenne pour le compte de huit **Etats** : République Fédérale d'Allemagne, Belgique, Danemark, France, **Grande Bretagne**, Italie, Suède et Suisse. Il comporte la réalisation du satellite lui-même, sa mise en orbite, la réalisation et l'installation des équipements au sol, la gestion et le **contrôle** de tout le système en phase opérationnelle. METEOSAT représente la contribution **européenne** à deux programmes mis en place par l'organisation Mondiale de la Météorologie (**O.M.M.**) :

- la Veille Météorologique Mondiale (V.M.M.), à caractère permanent ;
- le Programme de Recherches **sur l'Atmosphère** Globale (**G.A.R.P.**), à caractère expérimental.

1. CARACTERISTIQUES DE METEOSAT

Le satellite METEOSAT présente les caractéristiques suivantes :

- poids : 697 kg au lancement ;
- dimension : diamètre = **2,10 m** ; hauteur = **3,20 m** ;
- durée de vie : 3 ans, au minimum ;
- orbite : géostationnaire, **0°** de longitude, **0°** de latitude ;
- maintien en position :  $\pm 0,8^\circ$  dans le sens Nord-Sud  
 $\pm 1^\circ$  dans le sens Est-Ouest  
 (rotation à 100 **tours/minute**) ;
- altitude : 36 000 **km.**

## Missions 1 du satellite

- Observations nuageuses en lumière visible et en infrarouge
- Transformation directe d'images digitales brutes à la station centrale et aux stations utilisatrices principales

## Missions 2 du satellite

- Réception des images digitales traitées et des données analogiques WEFAX
- Diffusion des images digitales traitées et des données WEFAX aux stations utilisatrices

## Missions 3 du satellite

- Au profit des plates-formes automatiques et des satellites défilants
- Relais des interrogations
- Collecte des données, mesures et retransmission vers station centrale

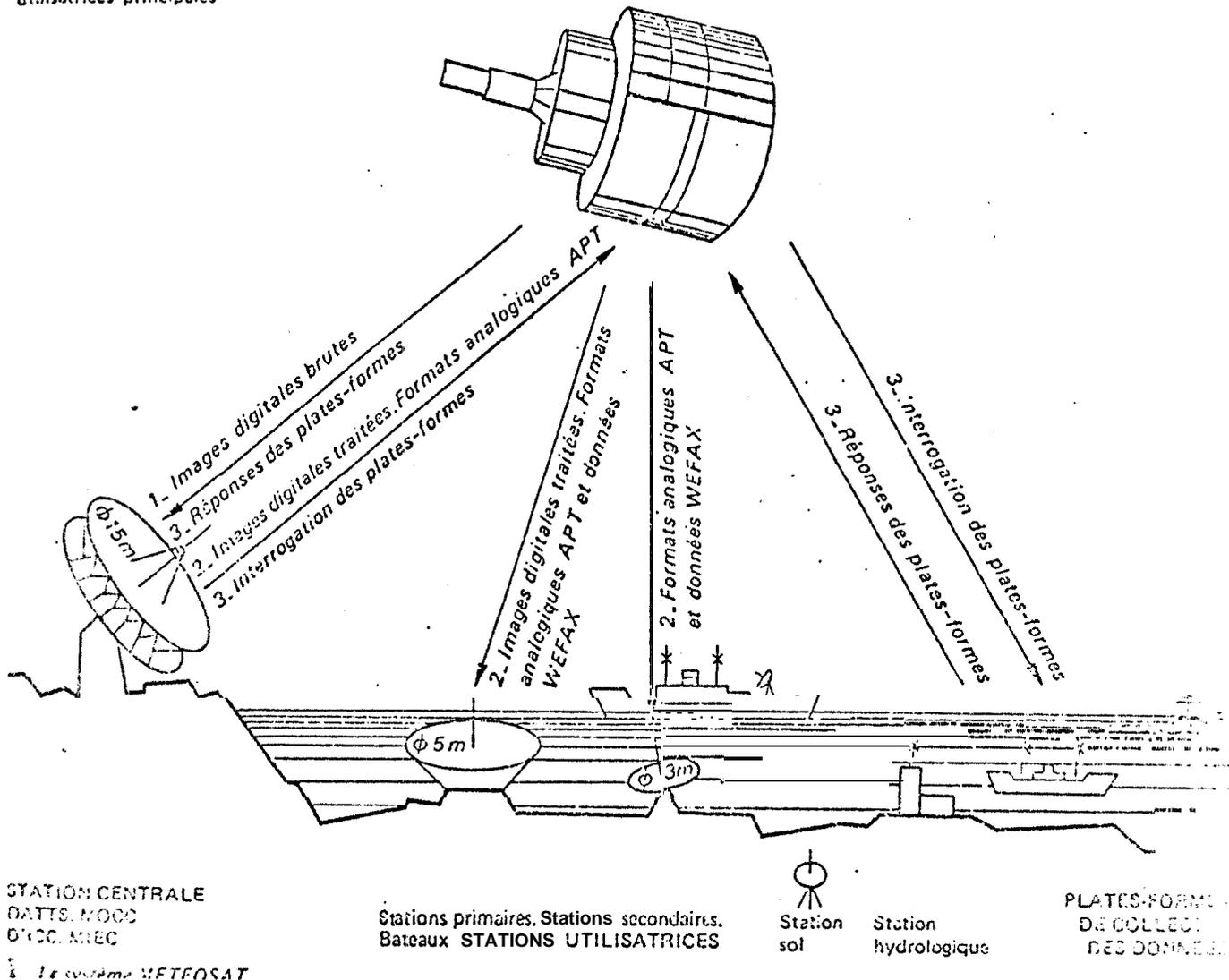


Fig. 5 : Le système METEOSAT

## 2. MISSIONS SPECIFIQUES DE METEOSAT

On distingue trois sortes de missions pour METEOSAT :

- a) prise d'images captées par radiométrie et traitement de ces images
- b) diffusion d'images ou de données à destination des utilisateurs ; convenablement équipés ;
- c) collecte de données émises par des stations automatiques ou semi-automatiques, à terre ou en mer, et des satellites à défilement.

### 2.1. Prise et traitement des images

La principale mission de METEOSAT est la prise d'images. La capacité du satellite de fournir une image complète toutes les demi-heures permet une surveillance permanente des phénomènes météorologiques, en particulier dans les zones pauvres en observations conventionnelles, et une signalisation des phénomènes dangereux à évolution rapide : cyclones, orages, brouillards . . .

La prise d'image est basée sur un procédé de mesures radiométriques dans trois canaux. Le premier canal dit VISIBLE (VIS) capte l'énergie dans le spectre visible, ce qui correspond à la prise de clichés photographiques classiques. Ce canal dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,4 et 1,1  $\mu\text{m}$  est légèrement plus large que le domaine de sensibilité de l'oeil humain (0,4 à 0,7  $\mu\text{m}$ ). L'origine du rayonnement est la lumière émise par le soleil et réfléchi par le globe terrestre. Autrement dit, on ne peut établir que des images de jour ou, plus exactement, de la partie du globe exposée au soleil. Le deuxième canal dit INFRA ROUGE THERMIQUE (IRT) capte l'énergie dans le spectre infra-rouge, entre 10,5 et 12,5  $\mu\text{m}$  et la mesure est liée à la température de la surface émettrice : océan, continent au sommet des nuages. Le troisième canal dit VAPEUR D'EAU (VDE) capte l'énergie dans un spectre se situant entre 5,7 et 7,1  $\mu\text{m}$ , qui correspond à une bande d'absorption de la vapeur d'eau, Il fournit une possibilité d'analyse de ce paramètre dans la haute troposphère et permet, en particulier, d'évaluer les échanges entre circulation tropicale et circulation aux moyennes latitudes.

Le radiomètre de **METEOSAT** dispose donc de trois types de détecteurs. La sensibilité de ces détecteurs **n'étant** pas la même, le champ instantané de vue est différent pour **chaque** canal. Pour le canal **VIS**, le champ de vue instantané est compris dans une pyramide de base **carrée** et d'angle au sommet **0,070** mrd. Au point de latitude **0°** et de longitude **0°** (Golfe de Guinée), ce champ (révolution spatiale sous le satellite) **correspond** à un carré de **2,5** km de **côté**.

Pour les canaux **VDE** et **IRT**, le champ de vue instantané présente un angle au sommet de **0,140** mrd et correspond au sol à un carré de **5** km de **côté** pour le point sous le satellite.

Dans sa rotation autour de son axe le satellite entraîne le radiomètre qui observe la **terre** pendant **1/20è** du temps de cette rotation suivant une bande **EST-OUEST**. Ces observations donnent une ligne de l'image **IRT**, une ligne de l'image **VDE** et deux lignes de l'image **VIS**. Pour chaque ligne, il est établi **2 500** points élémentaires (pixels) **en IRT** et **VDE** et **5 000** en **VIS**.

Les images sont reçues et traitées à la station centrale de **DARMSTADT** (R.F.A.) et au centre de météorologie spatiale de **LANNION** (France).

Pour une image **complète**, on obtient :

- pour le **VIS** : **5.000** lignes et sur chaque ligne **5 000** points, soit **25 000 000** de points à chacun desquels correspond un nombre compris entre **0** et **63**.

- pour le **IRT** et **la VDE** : **2 500** lignes et sur chaque ligne **2 500** points, soit **6 250 000** points à chacun desquels correspond un nombre compris entre **0** et **255**.

## 2.2. Diffusion dl-images ou de données

Cette mission revient à la station de **DARMSTADT** qui retransmet les images satellitaires après traitement en utilisant le relais de **METEOSAT**. Les images rediffusées par **METEOSAT** sont essentiellement destinées à assister les services météorologiques dans leurs tâches de signalisation et d'analyse. **Afin** de pouvoir atteindre un maximum d'utilisateurs, on a choisi de ne pas transmettre l'intégralité des données (toute l'image,

chaque demi-heure) pour disposer de plus de temps de transmission, Le but général idéal serait que chaque utilisateur dispose des données une fois toutes les 90 minutes pour le VIS, **toutes** les 180 minutes pour le IRT et la VDE.

### 2.3. Collecte des données

METEOSAT a la possibilité de recevoir et de retransmettre les messages en provenance de stations, automatiques ou habitées, en particulier de navires convenablement équipés, ainsi que celles des satellites à défi-  
lement.

Pour l'**océanographie**, la première mission de METEOSAT (prise et traitement d'**images**) est la plus importante, les deux dernières (diffusion d'**image** et collecte de données) intéressant davantage les **spécialistes** s'occupant de télécommunications.

## 3. MODIFICATIONS DES DONNEES FOURNIES PAR METEOSAT

Les éléments atmosphériques capables de modifier les mesures effectuées dans l'**IRT** par METEOSAT sont essentiellement les particules de liquides (nuages, brumes) ou solides (poussières) en suspension dans l'**air**. Les nuages se comportant comme des écrans au passage des ondes **infra-rouges**, les observations par satellite sont sujettes à des biais **faibles** (cas du golfe de Guinée qui est très souvent recouvert d'une importante enveloppe nuageuse). D'autre part, la vapeur d'eau qui constitue nuages et brumes est plus froide que l'**eau** superficielle océanique ; elle tend donc à refroidir l'**information** reçue du satellite et on obtient une moyenne entre la température de la brume et celle de la couche superficielle de l'**océan**.

Sur le plateau continental sénégal-mauritanien, les effets des nuages et des brumes sur les mesures effectuées par METEOSAT sont néanmoins faibles car cette région est généralement toujours bien dégagée. Il en est de **même** des effets des poussières de 'sable saharien qui sont entraînés dans l'atmosphère.

#### 4. TRAITEMENT DES DONNEES NUMERIQUES

Toutes les données numériques utilisées dans ce travail ont été fournies sur bandes magnétiques par le Centre de Météorologie Spatiale de LANNION. Ces données ont été traitées au Centre Océanologique de Bretagne à BREST, **sur** ordinateur HP 21 MX/F grâce au logiciel ANAIM conçu par G. BELBEOCH du Service d'Exploitation des Ordinateurs (SEO). Une description détaillée des propriétés et des fonctions réalisées par ce logiciel est donnée en annexe,

Dans le but de comparer les saisons froides 1978 **et** 1979, nous avons traité les données fournies par METEOSAT pendant le mois de février 1978 (16, 17, 18, 19 et 20) et pendant les mois de février 1979 (13, 16, 18 et 21). La technique pour le traitement se résume en quatre étapes :

1ère étape : extraction à partir d'une image d'une zone voisine de la région qui nous intéresse (plateau continental sénégal-mauritanien). Cette extraction se fait par un repérage approximatif des limites de la dite zone (première ligne, nombre de lignes, pas ; première colonne, nombre de colonnes, pas). Cette première étape est réalisée par le logiciel ANAIM.

2ème étape : extraction d'une image 400 x 400 avec un repère se trouvant toujours à la même position. Comme repère fixe, nous avons choisi la pointe de la presqu'île du cap Vert. Cette extraction (par la COMTAL) se fait par translation verticale **et** horizontale de la zone obtenue à la première étape.

3ème étape : comparaison grâce à un programme écrit par F. JARRIGE des cinq images 400 x 400 ainsi obtenues. Si un point a deux fois la même valeur pour les cinq images, nous admettons que l'information qu'il contient peut être considérée comme stable et a une forte probabilité de représenter un phénomène caractéristique de la surface de la mer. Cette comparaison nous a permis d'établir une image composite des images traitées pour chaque mois.

4ème étape : traitement des images composites sur la température de la mer grâce au logiciel ANAIM et à la COMTAL.

## 5. DESCRIPTION DES SAISONS FROIDES FEVRIER 1978 ET FEVRIER 1979 A PARTIR DES IMAGES METEOSAT.

### 5. 1. Description des faits observés

En février 1978 comme en février 1970, mis à part le banc d'Arguin et le sud du Cap ROXO où, près de la côte persistent des eaux chaudes (très marquées en 1978), le plateau continental sénégalo-mauritanien est en entier envahi par des eaux froides. Les principales upwellings de cette région (ceux du Sahara espagnol, du Cap Blanc et du Sud du Cap Vert) apparaissent nettement sur les deux images composites que nous avons obtenues. L'extension de ces upwellings, importante au nord, diminue notablement vers la côte sénégalaise et semble liée à la force des alizés du nord-est. Par contre, leur existence semble plutôt liée à la configuration même de la côte.

Dans le banc d'Arguin où les profondeurs sont relativement faibles (de l'ordre de 5 à 7 m) ; on observe en permanence des eaux chaudes et une nette décroissance de la température de la côte vers le large. L'upwelling du sud du Cap Vert - très important en 1979-, décrit par plusieurs auteurs (notamment ROSSIGNOL et ABOUSSOUAN 1965, ROSSIGNOL 1973, SCHEMAINDA 1975), décollé de la côte et suivant parfaitement la configuration du talus continental, s'enfonce en doigt de gant dans les eaux chaudes du contre courant équatorial.

En 1778, au niveau de la station côtière sénégalaise' de KAYAR, on observe, une intrusion dans les eaux froides d'eaux chaudes venant du large. Cette observation est en accord avec ce que l'on sait de cette zone : grande instabilité hydrologique et ouverture aux conditions du large en février (CHAMPAIGNA et DOMAIN, 1978). Au large de la presqu'île du Cap Vert et dans la direction nord-cstlsud-ouest, des langues d'eaux froides, probablement détachées de l'upwelling mauritanien, s'enfoncent sous forme de tourbillons dans les eaux chaudes du large. Ces langues d'eaux froides beaucoup plus importantes en 1979 qu'en 1975 constituent des éléments du courant équatorial nord.

Enfin, il est intéressant de noter que l'extension zonale de la région occupée par les eaux chaudes est plus importante en février 1978 qu'en 1974.

## 5. 2. Comparaison entre les faits observés par télédétection et les données des bateaux marchands

Sur les fig. 6 et 7, nous avons reproduit les mesures des températures superficielles en février 1978 et 1979 effectuées par les bateaux marchands et celles calculées par carré de 1° de côté par le Pacific Environmental Lab du National Marine Fisheries Service (U.S.A.). Ces données sont en accord avec les observations que nous avons décrites ci-dessus : eaux froides collées au long du plateau continental sénégal-mauritanien ; températures élevées le banc d'Arguin ; intrusion en forme de doigt de gant des eaux froides dans celles chaudes du contre courant équatorial.

### CONCLUSION

Au terme de l'étude que nous venons de faire, la télédétection satellitaire apparaît comme étant un bon moyen d'étude des zones de remontées des eaux profondes froides dans les régions où la nébulosité est faible comme c'est souvent le cas le long du plateau continental sénégal-mauritanien. Ces zones sont par excellence très riches en sels nutritifs donc en phytoplancton - base de toute la chaîne alimentaire. En permettant de déterminer à temps ces zones et de suivre sur une grande échelle leur évolution, la télédétection satellitaire se révèle efficace pour l'étude des phénomènes marins qui conditionnent les migrations saisonnières des poissons et constitue - à long terme - un moyen de prévision des champs thermiques à la surface de l'océan.

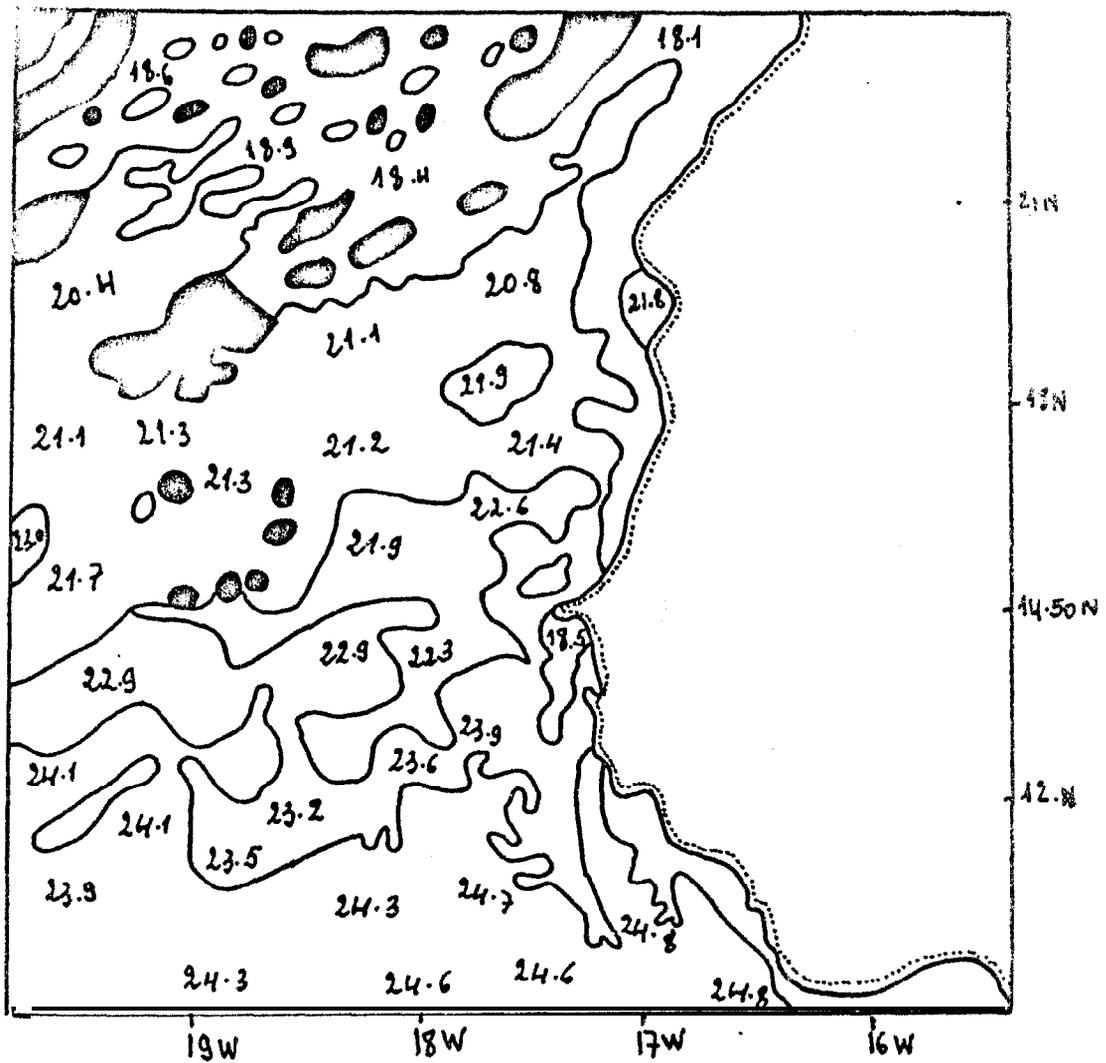


Fig. 6: TEMPERATURES RELEVÉES PAR LES BATEAUX MARCHANDS  
EN FEVRIER 1978

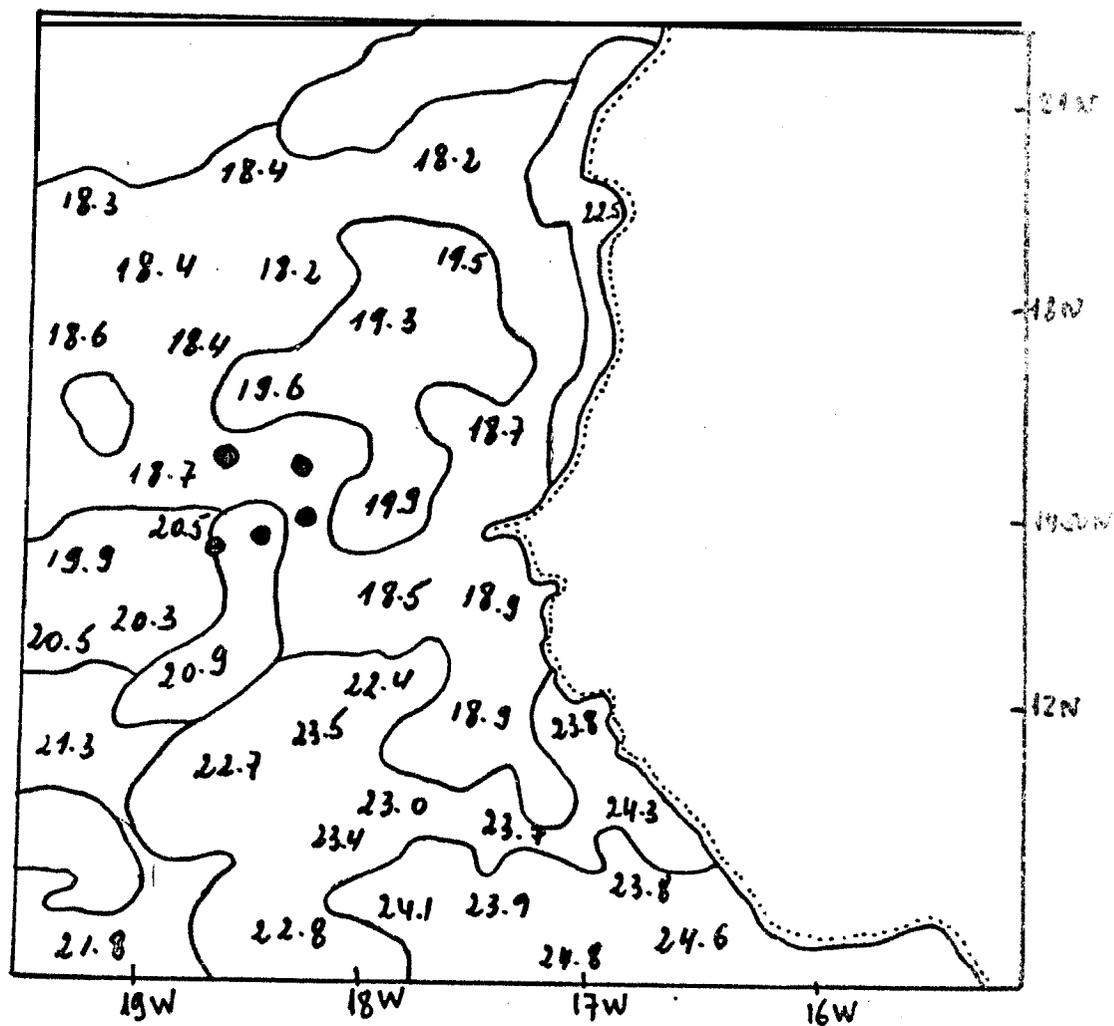


Fig.7: TEMPERATURES RELEVÉES PAR LES BATEAUX MARCHANDS  
EN FÉVRIER 1979

- BERRIT G. R., (1952) - Esquisse des conditions hydrologiques du plateau continental du Cap Vert à la Gambie. Bull. IFAN, 14 (3) : 735-761
- BERRIT G. R., (1961 et 1962) - Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Cahiers Océanogr., 1961, 13 (10) : 715-727  
1962, 14 (9) : 633-643, (10) : 719-729
- BERRIT G. R., (1973) - Recherches hydroclimatiques dans les régions côtières de l'Atlantique tropical oriental. Etat des connaissances et perspectives. Bull. Mus. nat. Hist. Nat., 3ème série, (148), mai-juin 1973 Ecol. Gen. 4 : 85-99
- DOMAIN F., (1979 b) - Le satellite METEOSAT et l'océanographie : étude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal. Initiations tech., série Télédétection, ORSTOM-PARIS, (3) : 43 p., 7 pl. coul
- DOMAIN F., (1980) - Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégal-mauritanien. Les ressources démersales dans le contexte général du Golfe de Guinée. Thèse Doct. d'Etat. Univ. Pierre et Marie Curie, 342 p.
- LONGHURST A. R., (1962) - A review of the Oceanography of the Gulf of Guinea. Bull IFAN, série A, 24 (3) : 634-663
- REBERT J.P., (1979) - Etude des conditions hydrologiques du plateau continental sénégal-mauritanien  
Doc. ORSTOM multigraphié.
- REBERT J.P., PRIVE M. (1977) - Moyennes générales des observations océanographiques côtières au Sénégal.  
Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Arch. 47, 33 p.
- ROSSIGNOL M. et ABOUSSOUAN M. Th., (1965) - Hydrologie marine côtière de la presqu'île: du Cap Vert.  
Doc. Sci. Prov., Centre Océanogr. Dakar-Thiaroye
- SCHEMAINDA R. et NEHRINE D., (1975) - The annual cycle of the space-temporal dislocation of the north-west african upwelling region. Third Intern. Symposium on upwelling ecosystems 25-28 août 1975 - Kiel, 7 p.

## A N N E X E 1

## DESCRIPTION DU LOGICIEL ANAIM

## 1. LES PRINCIPALES PROPRIETES DU LOGICIEL ANAIM

- Il est très modulaire : sa maintenance est aisée et on peut lui rajouter de nouvelles fonctions sans difficultés ;
- il est indépendant du format des images brutes sur bandes magnétiques ;
- il admet la multiprogrammation, c'est-à-dire que plusieurs utilisateurs peuvent en même temps traiter des images différentes car l'espace disque est paramétré par un code de sécurité de deux lettres ;
- il est peu encombrant en mémoire : 10 à 25 K mots suivant le module utilisé ;
- il est programmé en langage FORTRAN et complètement paramétré, ce qui le rend immédiatement transportable sur un autre ordinateur du type HP.

## 2. CONFIGURATION UTILISEE PAR LE LOGICIEL ANAIM

Les principaux périphériques du mini ordinateur HP 21 MX/F que le logiciel peut utiliser sont :

- une console alphanumérique pour dialoguer avec les programmes au travers des "menus" ;
- des dérouleurs de bandes magnétiques, 800 bpi ou 1 600 bpi pour entrer les images brutes, sauvegarder ou restaurer les images traitées y
- des unités de disques à cartouches de 20 M octets pour stocker les zones d'intérêt à traiter ;

- un traceur électrostatique pour éditer les histogrammes et les images **en** niveaux de gris ;

- une console graphique possédant un système "hard **copy**" sur Le traceur électrostatique pour éditer les histogrammes, les coupes **d'images** et les images en niveaux de gris ;

- une tablette à digitaliser pour redresser des images par rapport à une image de **référence** ou un fond de carte ;

- une imprimante poureffectuer toutes les éditions.

### 3. FONCTIONS REALISEES PAR LE LOGICIEL **ANAIM**

#### Menu Analyse **d'Images**

BS = Stockage • Décodage Disque

CA = Opérations arithmétiques

os = Opérations statistiques

OG = Opérations géométriques

TD = Traitements divers

TR = Transformées diverses

VI = Visualisations diverses

MI = Manipulations **d'Images**

EX = Sortie

#### Schéma synthétique du logiciel **ANAIM**

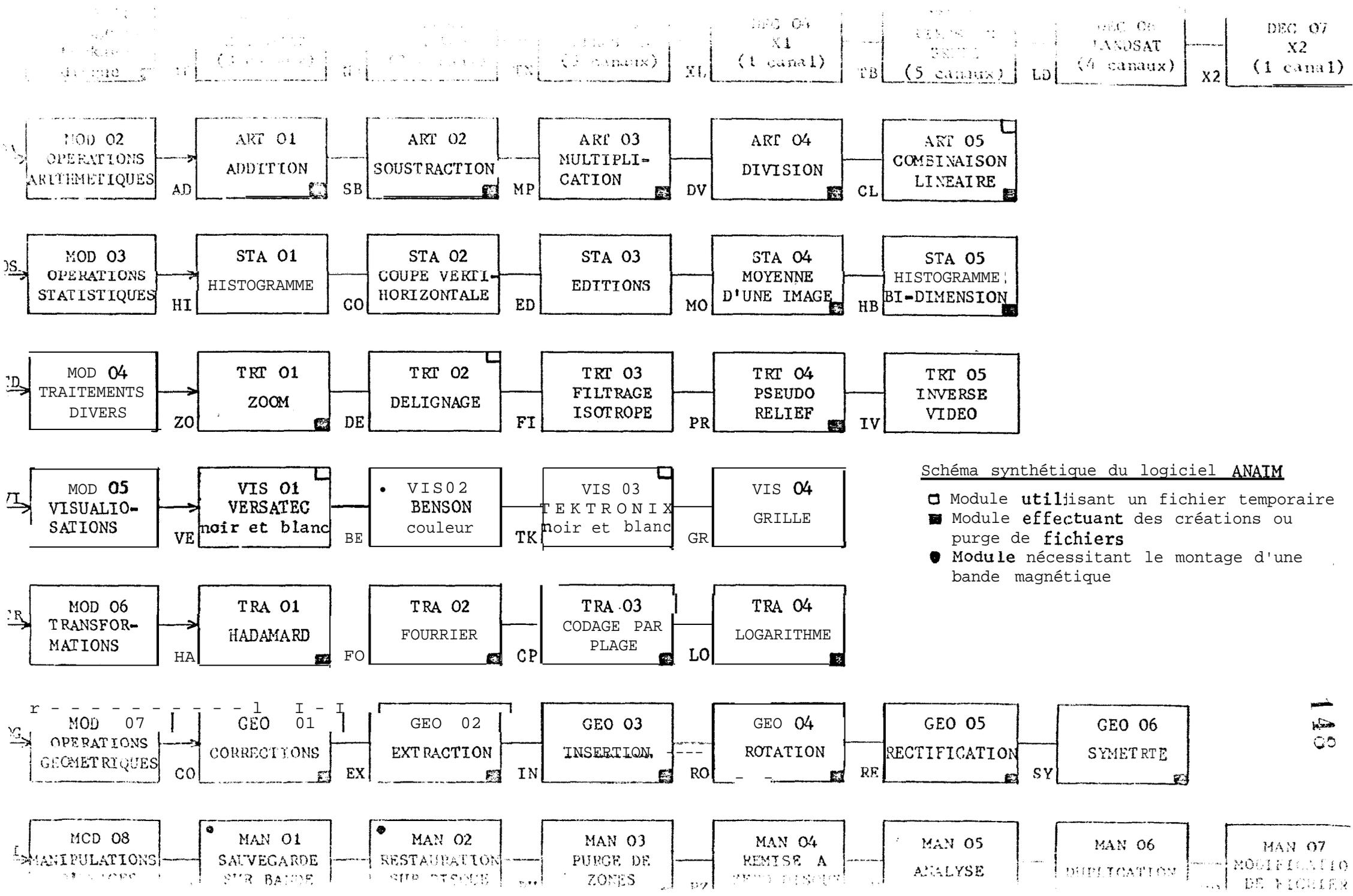


Schéma synthétique du logiciel ANAIM

- Module utilisant un fichier temporaire
- Module effectuant des créations ou purge de fichiers
- Module nécessitant le montage d'une bande magnétique

### 3.1. Décodage et stockage sur disque

Les modules décodent les bandes magnétiques 800 ou 1 600 bpi qui contiennent les images brutes et les stockent sur le disque. Le nombre maximum de zones d'intérêt pouvant être stockées sur disque est de 20. **L'utilisateur** dispose d'une cartouche de 10 millions d'octets cc qui lui permet de stocker jusqu'à 15 zones **d'intérêt** de 512 lignes par 512 colonnes.

### 3.2. Opérations statistiques

Plusieurs types **d'histogrammes** peuvent être édités :

- histogramme simple : tous les niveaux sont **édités**
- histogramme partiel : édition du niveau **N1** à N2
- histogramme cumulé
- histogramme détaillé : on édite en plus le nombre de pixels pour chaque niveau.

### 3.3. Visualisations

Les visualisations en niveaux de gris peuvent s'effectuer sur l'imprimante électrostatique type **VERSATEC** D 1200 ou sur l'écran graphique type **TEKTRONIX** 4014. Trois modes de légende peuvent être utilisés **pour l'affectation** des niveaux de gris :

- linéaire entre 2 bornes minimum et maximum ;
- uniforme (isopopulation) : linéaire entre 0 et la valeur maximum du pixel ;
- affectation classe par classe.

**La** représentation des niveaux de gris est faite par des matrices de points. Les paramètres de tracé en fonction du type de matrice utilisée sont :

Type de matrice	Nombre niveaux de gris	Taille du pixel	Nombre de colonnes par strip VERSATEC	Nombre de colonnes max sur écran TEKTRONIX	Nombre de lignes sur écran TEKTRONIX
1	8	4 x 4	512	256	180
2	12	16 x 16	256	128	90
3	9	16 x 16	128	64	45
4	18	16 x 16	128	64	45
5	7	16 x 16	128	64	45
6	10	4 x 4	512	256	180

### 3.4. Opérations géométriques

a) Extraction : cette opération consiste à créer une nouvelle image extraite d'une image originale en définissant une fenêtre (1ère ligne, nombre de lignes, 1ère colonne, nombre de colonnes),

b) Insertion : c'est l'opération inverse de l'extraction. Les images émettrices et réceptrices ne sont pas **altérées**, une nouvelle image est créée automatiquement par le programme.

c) Rectification :

En télédétection, il est souvent intéressant de pouvoir comparer numériquement plusieurs images obtenues à des dates différentes ou de superposer des images par rapport à un fond de **carte** de référence (MERCATOR, LAMBERT). La table à digitaliser permet cette opération **géométrique**. La **méthode consiste à** sélectionner un **certain** nombre d'amers **correspondants** à des points caractéristiques des deux images à superposer puis à **estimer**

une fonction de déformation de l'image à rectifier par rapport à l'image de référence. On applique ensuite cette fonction de déformation (Rotation + Translation + homothétie) à l'image à rectifier. Le modèle utilisé est un polynôme d'ordre 1 :

$(x, y)$  coordonnées de référence

$(x', y')$  coordonnées de l'image à rectifier

$$x' = ax + by + c$$

$$y' = dx + ey + f$$

Connaissant le nombre d'amers,  $N$ , pour déterminer les coefficients  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $f$ , il suffit de résoudre deux systèmes indépendants de trois équations à trois inconnues :

$$\begin{vmatrix} \Sigma x^2 & \Sigma xy & \Sigma x \\ \Sigma xy & \Sigma y^2 & \Sigma y \\ \Sigma x & \Sigma y & N \end{vmatrix} \cdot x \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Sigma xx' \\ \Sigma yx' \\ \Sigma xx' \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} \Sigma x^2 & \Sigma xy & \Sigma x \\ \Sigma xy & \Sigma y^2 & \Sigma y \\ \Sigma x & \Sigma y & N \end{vmatrix} \cdot x \begin{vmatrix} d \\ e \\ f \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Sigma xy' \\ \Sigma yy' \\ \Sigma y' \end{vmatrix}$$

#### 4. STRUCTURE DE L'ESPACE DISQUE

Toutes les zones à traiter sont stockées sur disque et protégées par un code de sécurité de 2 caractères alphanumériques propre à chaque utilisateur.

L'espace disque (unité logique ou numéro de cartouche) comprend 4 types de fichiers :

4.1. INFOI (256 octets) contient les informations générales relatives à la bande : densité, type d'image, position, nombre de zones extraites, ...

4.2. ZONEXX (256 octets - XX = 01, 02, . . . . 20) contient Les paramètres

de la zone extraite : titre, ligne début, nombre de lignes, pas en ligne, nombre de canaux, . . .

4.3. SCXXYY (XX = 01, 02, 03, . . . , 20 ; YY = 01, 02, . . . , 09) contient l'image de la zone XX et du canal YY.

Le canal YY = 09 est réservé aux opérations entre canaux. Exemple : SC 01 03 + SC 02 04  $\rightarrow$  SC 03 09. La taille en octets peut être très grande : deux fois le nombre de lignes fois le nombre de colonnes.

#### 4.4. Fichiers temporaires

- SCRAH : fichier permettant l'édition des images sur l'imprimante électrostatique ou sur la console graphique sous forme de "lignes de points". Ce fichier permet d'obtenir plusieurs copies d'une image sans avoir à refaire la transformation "valeur pixel  $\rightarrow$  niveaux de gris" en lignes de points.

- HISTO : fichier permettant le stockage des histogrammes cumulés dans l'opération de délignage et les histogrammes bi-dimensionnels.

- SCXXYY : fichier permettant d'effectuer les combinaisons linéaires d'images et certaines transformations mathématiques.

Les fichiers temporaires sont automatiquement purgés après utilisation.