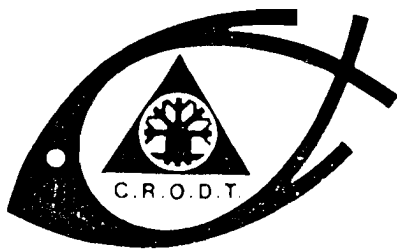


ISSN 0850-1602

VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DE LA TEMPERATURE,  
DES NITRATES ET DE LA CHLOROPHYLLE DEVANT  
LES COTES DU SENEGAL.

I. DEME-GNINGUE  
C. ROY  
D. TOURÉ



CENTRE DE RECHERCHES OCÉANOGRAPHIQUES DE DAKAR - TIARÉ

INSTITUT SÉNÉGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES \*

DOCUMENT  
SCIENTIFIQUE

NUMÉRO 122

JUILLET 1990

VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DE LA TEMPERATURE,  
DES NITRATES ET DE LA CHLOROPHYLLE DEVANT  
LES COTES DU SENEGAL.

*par*

Itaf DEME-GNINGUE<sup>(1)</sup>, Claude ROY<sup>(2)</sup> et Diáfara TOURE<sup>(1)</sup>

R E S U M E

A partir des mesures de température, de la biomasse phytoplanctonique et des dosages de sels nutritifs réalisés en surface au cours des sept campagnes océanographiques du programme CIRSEN, un schéma moyen des conditions hydrologiques de surface rencontrées au cours des différentes saisons marines au Sénégal est présenté. La variabilité saisonnière et inter-annuelle des composantes physiques, chimiques et biologiques est analysée. L'hétérogénéité spatiale et notamment les différences entre les zones situées de part et d'autre du Cap-Vert sont mises en évidence.

---

(1) Chercheur ISRA en poste au CRODT-ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal.

(2) Chercheur ORSTOM en poste au CRODT-ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal.

## A B S T R A C T

From surface measurements of temperature, nutrients and phytoplankton biomass during the seven oceanographic surveys of the "CIRSEN program", the mean patterns of the oceanographic conditions encountered during the three marine seasons in Senegal are described. The seasonal and annual variability of physical, chemical and biological parameters are analysed. The spatial heterogeneity and the differences between the two areas North and South of the Cap-Verde peninsula are also investigated.

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

Le domaine maritime sénégalais s'étend de 12°30'N à 16°N, la presqu'île du Cap-Vert située à 15°N le divise en deux zones aux caractéristiques topographiques distinctes (fig. 1). Au nord, le plateau continental est peu étendu vers le large et orienté N-NE. Au sud de la presqu'île, le plateau s'élargit et le talus continental est orienté nord-sud. L'embouchure du fleuve Sénégal au nord de la presqu'île du Cap-Vert et celles de la Gambie et de la Casamance au sud constituent également un trait marquant de cette région.

Les travaux réalisés au Sénégal en océanographie depuis les années soixante (Berrit 1962, Rossignol et Aboussouan 1965, Touré 1983, Rébert 1983) ont montré que deux saisons marines aux caractéristiques très différentes se succèdent : une saison chaude de juillet à octobre et une saison froide de décembre à mai. Ces deux saisons sont séparées par des périodes de transition. Pendant la saison froide les alizés (vent de secteur nord-ouest à nord-est) s'établissent et engendrent à la côte une résurgence d'eau profonde ("upwelling") vers la surface.

Au Sénégal, les questions posées par la forte variabilité des ressources halieutiques et par leur exploitation rendent nécessaire une approche à la fois de la pêche et de son environnement. Concernant l'environnement marin et ses composantes physiques, chimiques et biologiques, les études menées jusqu'ici ont été limitées essentiellement à la "Petite Côte" au sud du Cap-Vert (Rébert 1983, Touré 1983). Le CRODT a donc mis en oeuvre, de 1986 à 1988, le programme CIRSEN dont l'objectif est de décrire la distribution spatio-temporelle et la variabilité des principaux paramètres physiques, chimiques et biologiques qui caractérisent l'écosystème marin sénégalais. Sept campagnes océanographiques à bord du N.O. Louis Sauger ont été effectuées de 1986 à 1988. Ces sorties ont couvert l'ensemble du domaine maritime, de la Casamance à Saint-Louis et de la côte à 19° ouest (fig. 1). Trois campagnes ont été réalisées en saison froide, deux en saison chaude et deux en saison de transition vers la saison froide. Au cours de ces campagnes des profils verticaux de

température, de salinité et des prélèvements d'eau de mer pour le dosage des principaux sels nutritifs ont été réalisés.

Dans cette première analyse, nous présentons les résultats obtenus uniquement à partir des mesures de surface effectuées au cours de ces sept campagnes. Un schéma général des structures rencontrées sur le plateau et au large en est déduit pour chacune des saisons ; la variabilité saisonnière, de 1986 à 1988, est également étudiée.

## 1 . M E T H O D O L O G I E

Pour chacune des campagnes, 64 stations hydrologiques réparties le long de huit radiales orientées est-ouest ont été visitées (fig. 1). La distance entre deux stations est de trente milles au large et est déterminée par la topographie des isobathes 10, 20, 50, 100 et 200 mètres pour les stations situées sur le plateau continental. Dix jours ont été nécessaires pour couvrir l'ensemble de la zone d'étude. Des profils verticaux de température et de salinité ont été réalisés à l'aide d'une sonde CTD et des prélèvements d'eau de mer, jusqu'à 500 mètres ont été effectués à l'aide de bouteilles hydrologiques NISKIN équipées de thermomètres à renversement. Une partie de ces échantillons était congelée pour le dosage à terre des sels minéraux (nitrate, nitrite, phosphate et silicate), à l'aide d'un auto-analyseur Technicon. Le dosage de la chlorophylle a été réalisé à bord à l'aide d'un fluorimètre TURNER.

Pour aborder l'étude des structures spatiales rencontrées au sein de l'écosystème océanique sénégalais et de leur variabilité, trois paramètres ont été sélectionnés : la température, les nitrates et la chlorophylle. La température permet d'identifier les masses d'eaux et les structures physiques, les nitrates caractérisent l'enrichissement potentiel en éléments nutritifs et la chlorophylle est un indicateur de la biomasse phytoplanctonique présente dans la zone. Ces observations ont été regroupées par campagne et par zone (nord et sud du Cap-Vert) et tracées, pour chacune des radiales, en fonction de la distance à la côte (fig. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8). Les moyennes et les écart-types de chacun des paramètres sont présentés par radiale et par campagne sur les tableaux 1 et 2.

## 2 . S T R U C T U R E S   S P A T I A L E S

Une analyse conjointe de la distribution spatiale des trois paramètres sélectionnés nous permettra de mettre en évidence des structures propres à chacune des saisons et d'étudier leur variabilité d'une année à l'autre.

## 2.1. SAISON FROIDE

L'étude des structures physico-chimiques rencontrées en saison froide est d'un grand intérêt pour comprendre la dynamique de l'écosystème marin au Sénégal. En effet, cette période correspond à la saison d'upwelling pendant laquelle les alizés de secteur nord chassent les eaux superficielles vers le large ; à la côte le déficit ainsi provoqué est compensé par un flux vertical le long du talus continental qui apporte en surface des eaux profondes issues des couches sub-superficielles (0-100m). Ces masses d'eaux froides sont caractérisées par des teneurs élevées en sels nutritifs. Cet apport d'éléments nutritifs en surface permet, sous l'action du rayonnement solaire, le développement de populations phytoplanctoniques ; cette fertilisation est à l'origine de la richesse halieutique du domaine maritime côtier sénégalais.

Trois campagnes ont été réalisées en saison froide : janvier-février 1986, mars 1987 et mars 1988. Pendant la saison froide, la topographie du plateau continental et l'orientation de la côte engendrent des structures spatiales différentes au nord et au sud du Cap-Vert (Hua et Thomasset 1982, Crépon et al. 1983, Roy 1989). Ces deux régions feront donc l'objet d'une analyse séparée.

### Température

Sur la côte nord, les températures les plus faibles sont observées à la côte sur les fonds inférieurs à 10 m et elles augmentent ensuite progressivement en direction du large (fig. 4, 5 et 6). On note un faible gradient thermique nord-sud, les eaux se réchauffant en direction de la presqu'île du Cap-Vert. Les températures de surface le long des trois radiales nord varient d'une année à l'autre: les plus faibles températures sont observées en 1986 (fig. 4), avec de 15°C à 16°C à la côte et moins de 20°C au large; les températures les plus élevées sont observées en 1987 (fig. 5) où elles varient entre plus, de 17°C dans la bordure côtière pour dépasser 22°C au large; la situation observée en 1988 (fig. 6) est intermédiaire, avec moins de 17,5°C à la côte et entre 20°C et 21°C au large. Le trait le plus marquant de cette série d'observations est sans doute la situation observée en 1987 où les eaux froides (entre 17°C et 19°C) sont plaquées le long de la bordure continentale, la température des masses d'eau situées à plus de 10 milles de la côte étant supérieure à 19,5°C, il existe alors un fort gradient thermique à proximité de la côte. En 1986 et 1988, le gradient zonal de la température semble plus faible.

La structure spatiale des températures de surface rencontrée sur la côte sud est différente de celle présente au nord de la péninsule. Pour les radiales situées au sud, le minimum thermique est observée non pas à la côte mais aux accores du talus continental (fig. 4, 5 et 6). Ces structures sont particulièrement marquées en 1986 et 1987. Les températures de surface sur le plateau continental présentent un fort gradient nord-sud (supérieur à 6°C en 1986), les eaux les plus froides sont rencontrées à proximité du Cap-Vert; l'intensité de la résurgence serait donc maximale à cet endroit (fig. 4). La comparaison des situations rencontrées de

part et d'autre de la presqu'île suggère également que les gradients côte-large sont plus forts au sud qu'au nord (fig. 4). L'évolution interannuelle sur la côte sud est similaire à celle observée au nord : 1986 est caractérisée par des eaux froides sur le plateau continental et un gradient zonal faible, les eaux du large ne dépassant pas  $21,5^{\circ}\text{C}$ ; en 1987 (fig. 5), l'extension des eaux froides est limitée au plateau continental et la température des eaux du large dépasse  $22^{\circ}\text{C}$ , créant ainsi un fort gradient côte-large.

En estimant l'intensité de la résurgence à partir des températures, on classera l'année 1986 comme étant une année d'upwelling fort, 1987 d'upwelling faible et 1988 d'upwelling modéré.

### Nitrates

Pendant la saison froide, l'upwelling va entraîner un apport en sels minéraux dans les couches superficielles, les concentrations en nitrate des eaux de surface seront donc supérieures à celles observées pendant la saison chaude. Elles varient en général inversement à la température (fig. 4, 5 et 6).

Au nord du Cap-Vert, les maxima ( $20 \mu\text{atg/l}$ ) sont observés à la côte avec des pics secondaires ( $5-10 \mu\text{atg/l}$ ) sur le talus en 1987 et 1988 (fig. 5 et 6). La situation observée en 1986 (fig. 4) est caractérisée par de faibles gradients côte-large, les concentrations observées à plus de 90 milles au large étant encore supérieures à  $10 \mu\text{atg/l}$  pour les radiales 1 et 2. Au cours des deux autres saisons froides en 1987 et 1988, la teneur en nitrate décroît rapidement en direction du large et ne dépasse pas  $6 \mu\text{atg/l}$  à 60 milles des côtes.

Sur la côte sud (fig. 4, 5 et 6), comme le laisse prévoir la structure thermique, les concentrations maximales en nitrate ( $15-20 \mu\text{atg/l}$ ) sont observées non pas à la côte mais en bordure du talus continental, excepté pour la radiale la plus proche de la péninsule (fig. 1). Un fort gradient nord-sud est observé le long de la bordure côtière, notamment en 1986 et 1988 où les teneurs en nitrate varient entre  $20 \mu\text{atg/l}$  devant le Cap-Vert et sont proches de  $0 \mu\text{atg/l}$  devant la Casamance; en 1987, l'écart entre le nord et le sud ne dépasse pas  $10 \mu\text{atg/l}$ . Comme sur la côte nord, 1986 est une année d'upwelling fort se traduisant par de fortes teneurs de nitrate en surface et une extension plus importante vers le large. En 1987, année à laquelle l'upwelling a été le plus faible pendant la période étudiée, les concentrations en nitrate sont également inférieures à celles observées en 1986 et 1988.

### Chlorophylle

Sur la côte nord, en dehors d'une station située au niveau de Kayar en 1987, les concentrations de chlorophylle sont peu élevées (ne dépassent pas  $5 \mu\text{g/l}$ ). En 1986, le maximum est observé à la côte; en 1987 et 1988 il est situé sur le plateau. En dehors du plateau, les concentrations diminuent rapidement en direction du large.

Au sud, l'évolution des teneurs en chlorophylle est variable selon les années et les radiales. Contrairement au schéma observé pour les nitrates, les plus fortes

concentrations sont rencontrées en général près de la côte et il existe également un gradient méridien, les maxima étant observés au sud de la Petite Côte, au niveau de l'embouchure de la Gambie et de celle de la Casamance. Sur le plateau continental, il semble qu'il y ait une relation inverse entre les teneurs en sels minéraux et celles en chlorophylle.

### Interprétation

La structure spatiale des températures observée en saison froide illustre la présence de l'upwelling sur les côtes sénégalaises : eaux les plus froides dans la bordure côtière et réchauffement progressif en direction du large.

C'est en saison froide que les différences de répartition des paramètres physico-chimiques sont les plus marquées entre les régions situées au nord et au sud du Cap-Vert. L'orientation du vent par rapport à la côte, la topographie du plateau continental et la discontinuité engendrée par le Cap-Vert influent localement sur l'intensité de la résurgence, son évolution spatiale et temporelle (Gallardo 1981, Crépon et al. 1984, Hua et Thomasset 1982, Roy 1989). Cette hétérogénéité de l'upwelling de part et d'autre de la presqu'île du Cap-Vert va également introduire des modifications de la distribution des sels minéraux et de la chlorophylle.

L'importante biomasse phytoplanctonique en cette saison et sa variabilité spatiale entre le plateau et le large s'expliquent par les apports en sels nutritifs sur le plateau continental induits par la résurgence d'eaux froides profondes. Les différences entre les quantités et la répartition de cette biomasse au nord et au sud de la presqu'île du Cap-Vert, sont le résultat des modifications de la stratification horizontale et verticale des paramètres physiques (température, courant) engendrées par la topographie du plateau continental, étroit au nord et étendu vers le large au sud. Les écarts entre les biomasses mesurées au cours des trois années étudiées (chlorophylle plus importante en 1988 que lors des deux années précédentes), s'expliqueraient par l'intensité de l'upwelling qui, quand elle est forte comme en 1986, s'accompagne d'un brassage par le vent perturbant la croissance du phytoplancton et qui, quand elle est faible comme en 1987, peut entraîner une limitation des apports en éléments nutritifs indispensables au développement des populations de phytoplancton. Une part de cette variabilité peut également être le résultat du calendrier des campagnes : fin janvier et début de l'upwelling pour la campagne de 1986, mars et développement maximal de l'upwelling pour les deux autres campagnes qui ont alors bénéficié de meilleures conditions d'ensoleillement et de vent, ce dernier commençant à décroître en intensité (Touré 1983, Roy 1989).

## 2.2. SAISON CHAUDE

### Température

Les températures de surface en saison chaude (fig. 2 et 3) sont élevées et comprises entre 26°C et 30°C. En 1986 (fig. 2), les températures sont homogènes sur l'ensemble de la zone, elles varient entre 28°C et 29.5°C. Les gradients côte-large

et nord-sud sont faibles. En 1987 (fig. 3), la structure spatiale de la température est plus contrastée, notamment au nord du Cap-Vert. Dans cette région, un refroidissement des eaux côtières est perceptible, notamment au niveau de Saint-Louis (radiale N°1, fig 3) où le gradient de température côte-large est supérieur à 2°C, ce gradient s'estompe ensuite vers le sud (radiale 2 et 3, fig. 3). Au sud de la presqu'île, les structures zonales sont peu contrastées, par contre l'advection d'eaux chaudes devant la Casamance (températures supérieures à 29°C) forme un gradient nord-sud de l'ordre de 2°C à la côte comme au large.

### Nitrates

Les concentrations en nitrate des eaux de surface en saison chaude sont faibles et présentent peu de variabilité spatiale ou interannuelle (fig. 2 et 3). Cependant, en 1987, les teneurs en nitrate, voisines de 0 µatg/l, sont plus faibles que celles observées en 1986 où les concentrations dépassent localement 1 µatg/l.

### Chlorophylle

Contrairement à la distribution des deux autres paramètres, celle de la chlorophylle en saison chaude est très contrastée d'une région à l'autre et d'une année à l'autre (fig. 2 et 3). En septembre 1986, sur la côte nord, la biomasse phytoplanctonique en surface est faible (inférieure à 2 µg./l) et plaquée le long de la bordure côtière. Au sud de la presqu'île, des concentrations relativement importantes (entre 2 et 5 µg/l) sont observées en surface sur des fonds inférieurs à 50 mètres ; au delà, elles deviennent rapidement voisines de zéro. En 1987, la situation est sensiblement différente de celle de 1986 : les concentrations en chlorophylle varient entre 1 et 7 µatg/l et les écarts entre radiales sont importants notamment au nord. Des concentrations en chlorophylle relativement importantes sont observées sur l'ensemble du plateau continental et parfois au large (radiale 3 et 7). Il existe un fort gradient côte-large pour l'ensemble des radiales, les teneurs observées dans le domaine océanique restent cependant supérieures à 1 µatg/l, sauf pour les radiales 1 et 4.

### Interprétation

Une interprétation des processus se développant dans un écosystème marin, basée uniquement sur l'étude de la distribution des paramètres physico-chimiques et biologiques de surface présente certaines limites, car elle néglige la dimension verticale qui est le foyer de la plupart des processus d'enrichissement en saison chaude. Le champ thermique et la répartition des nitrates en surface pendant la saison chaude, par ailleurs typiques de cette saison (Touré 1983, Rébert 1983), indiquent un écosystème homogène en surface. Dans de telles conditions, la relative importance de la biomasse observée en 1987 au sud de la presqu'île du Cap-Vert ne peut s'expliquer par un enrichissement vertical, le brassage par le vent étant faible en cette période et la profondeur de la thermocline limitant les effets des ondes



internes en surface (ondes de marées, ...). Cette biomasse est vraisemblablement le résultat de l'enrichissement des eaux côtières par l'intermédiaire des crues des trois estuaires du Saloum, de la Gambie et de la Casamance. L'ensoleillement intense à cette période ainsi que la stabilité des eaux favorisent l'exploitation par le phytoplancton des sels minéraux disponibles (Levasseur et al 1984, Yoder et Bishop 1985). Un enrichissement par des sources azotées autres que les nitrates et qui échapperaient à notre investigation (provenant de la pluie, de la pollution, de l'excrétion et des échanges avec l'atmosphère et les couches de sub-surface) serait également à considérer (Rowe et Deming 1985, Voituriez et Dandonneau 1974, Minas et al. 1982).

La faible biomasse rencontrée en surface au large au cours de cette saison n'est pas représentative de la biomasse réelle intégrée sur la colonne d'eau; pendant cette période, le maximum de production est généralement situé à la base de la thermocline, entre 30 et 70 mètres de profondeur (Herbland et Voituriez 1977)

### 2.3. SAISON DE TRANSITION VERS LA PERIODE FROIDE

Cette saison marque la transition entre deux régimes hydrologiques très différents :

- un régime tropical caractérisé par des eaux chaudes parfois dessalées dans la zone côtière, de faibles gradients thermiques horizontaux, une stratification verticale importante et une thermocline profonde (entre 20 et 70 mètres);

- un régime d'upwelling caractérisé par une résurgence d'eaux froides profondes et une faible stratification verticale.

Le calendrier de cette saison et sa durée sont très variables d'une année à l'autre et dépendent principalement de l'établissement des alizés responsables de l'upwelling. Une intensification brutale des alizés à partir du mois de novembre va conduire à une destruction rapide de la stratification verticale et à l'installation du régime de la saison froide, cette situation semble correspondre aux conditions rencontrées en novembre 1986 (fig. 7). Les structures spatiales sont éphémères, les eaux froides envahissent rapidement le plateau continental, les teneurs en nitrate s'accroissent quand la température descend en dessous de 21°C. En 1986, l'installation de la résurgence semble être plus précoce au nord du Cap-Vert qu'au sud (fig. 7), les températures étant plus froides et les teneurs en nitrate plus élevées au nord qu'au sud. On note un accroissement simultané de la biomasse phytoplanctonique dans la zone côtière (fig. 7).

Une apparition tardive ou une succession de périodes d'intensification et de relaxation des alizés vont conduire à un refroidissement progressif et tardif de l'ensemble de la zone. Cette situation semble correspondre à celle observée en décembre 1987 où les eaux les plus froides dépassent 22°C, les concentrations en nitrate et en chlorophylle restant proches de zéro.

Il apparaît donc difficile de définir des conditions moyennes en saison de transition, les situations observées pouvant être très variables d'une année à l'autre. Cette saison peut cependant présenter des caractéristiques intéressantes. L'installation des eaux froides peut en effet engendrer de forts gradients horizontaux ; de telles situations sont souvent propices au développement d'une forte productivité biologique à l'interface des eaux froides riches en éléments minéraux et des eaux chaudes stratifiées.

## C O N C L U S I O N

La répartition des températures, des nitrates et de la chlorophylle de surface au cours des trois saisons hydrologiques étudiées, n'a certes pas permis d'identifier tous les phénomènes en cours dans l'écosystème marin sénégalais, mais cette description a néanmoins permis de faire ressortir les différences qui existent entre le nord et le sud du Cap-Vert et de confirmer les variations saisonnières et interannuelles observées dans les travaux antérieurs, mais à plus petite échelle.

L'analyse succincte des structures physiques, chimiques et de la biomasse phytoplanctonique en saison chaude montre que l'écosystème marin sénégalais est alors caractérisé, en surface, par des températures élevées, des teneurs en nitrate voisine de zéro et une faible hétérogénéité spatiale de ces deux paramètres. La distribution de la chlorophylle semble être caractérisée par un maximum sur le plateau continental, avec cependant de fortes différences d'une année à l'autre. L'importance probable des apports fluviaux est également à mentionner.

En saison froide, la température de surface, les sels minéraux et la biomasse phytoplanctonique présentent des structures spatiales différentes de part et d'autre de la péninsule du Cap-Vert. D'une année à l'autre, l'intensité de la résurgence varie et entraîne des fluctuations importantes de l'enrichissement en sels minéraux et de la biomasse phytoplanctonique.

L'année 1987 semble être exceptionnelle, car en dehors de la faiblesse de l'upwelling, elle est particulièrement chaude pour les trois saisons et les données historiques montrent qu'elle est l'une des années les plus chaudes rencontrées au cours des vingt-sept dernières années.

## R E M E R C I E M E N T S

Ce travail a pu être réalisé grâce à l'appui du CRODT. Nous sommes particulièrement reconnaissants à Claude Oudot pour avoir mis à notre disposition les moyens d'analyse du programme PIRAL. L'ensemble du personnel du N.O. Louis Sauger a largement contribué à la réalisation du programme CIRSEN, qu'il en soit ici remercié. Nous tenons à remercier Alassane

Bâ, Hervé Demarcq, Eri Fukai, Jacques Grelet, Yves Gouriou, Cheikh Ndour, Abdoulaye Sarré, Jean Sévellec et Mor Sylla pour leur participation active lors des campagnes.

## B I B L I O G R A P H I E

- BERRIT (G.R.), 1962.- Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. II Etude régionale. Cah. Océanogr. COEC 14(9) : 633-643.
- CREPON (M.), RICHEZ (C.) et CHARTIER (M.), 1984.- Effects of coast line geometry on upwellings. J. Phys. Oceanogr. 14 (8) : 1365-1382.
- GALLARDO (Y.), 1981.- On two marine ecosystem of Senegal separated by peninsula. Doc. Centre Rech. Océanogr. Dakar Thiaroye : 141-153.
- HERBLAND (A.) et VOITURIER (B.), 1977.- Production primaire, nitrate et nitrite dans l'Atlantique tropical. I Distribution du nitrate et production primaire. Cah. ORSTOM sér. Oceanogr. XV (1) : 47-55.
- HUA (B) et THOMASSET (F), 1982.- A numerical study of effects of coast line geometry on wind-induced upwelling in the Gulf of Linos. J. Phys. Oceanogr., 13 : 678-694.
- MINAS (H.J.), CODIPOSTI (L.A.) et DGDGDALE (R.C.), 1982.- Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180 : 148-183.
- MITTLESTAEDT (E.), 1982.- Large-scale circulation along the coast of Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180, 50-57.
- LEVASSEUR (M.), THERRIault (J.C.) et LEGENDRE (L.), 1984.- Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. Mar. Ecol. Progress ser., 19: 211-222.
- REBERT (J. P.), 1983.- Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 93, 186 p.
- ROSSIGNOL (M.) et ABOUSSOUAN (M.T.), 1965.- Hydrologie marine côtière de la presqu'île du Cap-Vert. Contribution à l'étude de la productivité des eaux. Publ. prov. ORSTOM, 166 p.
- ROWE (G.T.) et DEMING (J.W.), 1985.- The role of bacteria in the turnover of organic carbon in the deep sea sediments ; J. Mar. Res., 43: 925-950.

- ROY (C.), 1989.- Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. *Oceanol. Acta*, 12 (4).
- TAKAHASHI (M.), ISHIZAKA (J.), ISHIMARU (T.), ATKINSON (L.P.), LEE (T.N), YAMAGUCHI (Y.), FUJITA (Y.) et ICHIMURA (S.), 1986.- Temporal change in nutrient concentrations and phytoplankton biomass in short time scale local upwelling around the Izu peninsula, Japan. *J. Plankton Res.* 8 (6) : 1039-1049.
- TOURE (D.), 1983.- Contribution à l'étude de l'upwelling de la baie de Gorée (Dakar, Sénégal) et de ses conséquences sur le développement de la biomasse phytoplanctonique. *Doc. sci. CRODT*, 93.
- VOITURIEZ (B.) et DANDONNEAU (Y.), 1974.- Relation entre la structure thermique, la production primaire et la régénération des sels nutritifs dans le dôme de Guinée. *Cah. ORSTOM sér. Océanog.* 12 (4) : 241-255.
- YODER (J.A.) et BISHOP (S.S.), 1985.- Effects of mixing induced irradiance fluctuations on photosynthesis of natural assemblages of coastal phytoplankton. *Mar. Biol.* 90 : 87-93.

MOYENNE ECART TYPE	RADIALES	1 9 8 6			1 9 8 7			1988
		8603	8611	8617	8707	8715	8719	8805
NITRATE  $\mu\text{atg/l}$	1	13.560	0.652	3.011	2.952	0.300	0.776	7.644
		1.870	0.282	4.146	4.920	0.267	0.881	5.880
	2	15.580	0.632	1.057	3.259	0.219	0.578	8.297
		2.072	0.438	1.079	2.467	0.269	0.800	5.869
	3	16.617	0.579	0.679	4.660	0.203	1.016	7.359
		1.227	0.413	0.537	2.254	0.090	0.751	5.397
	4	14.050	0.854	0.890	8.210	0.126	0.378	6.813
		6.260	0.173	0.793	4.637	0.099	0.220	5.478
5	9.745	0.744	0.584	4.265	0.100	2.232	6.329	
	5.835	0.249	0.368	4.311	0.042	1.795	3.672	
6	8.476	0.901	0.657	6.670	0.140	0.350	4.534	
	5.012	0.304	0.738	5.601	0.080	0.249	4.262	
7	10.888	0.504	0.320	5.271	0.087	2.020	2.301	
	3.833	0.228	0.200	4.278	0.039	1.701	1.538	
8	9.543	0.517	2.458	4.726	0.080	1.517		
	4.993	0.207	3.075	4.887	0.069	1.056		
TEMPERATURE  $^{\circ}\text{C}$	1	16.263	28.697	21.696	20.482	28.147	24.648	18.620
		0.704	0.312	1.608	1.607	0.844	1.344	1.535
	2	16.150	28.907	22.206	20.409	28.152	24.717	18.826
		0.876	0.147	1.461	1.543	0.665	1.209	1.427
	3	16.320	28.618	23.194	19.800	28.291	24.580	19.439
		0.140	0.308	1.272	0.728	0.516	0.229	1.201
	4	16.488	28.811	23.724	18.855	28.685	25.490	18.350
		1.252	0.254	1.549	1.883	0.135	1.092	1.824
5	17.694	29.000	24.164	20.364	28.806	24.638	19.249	
	1.899	0.292	0.806	2.368	0.341	0.791	1.775	
6	17.365	28.935	23.890	19.390	29.111	25.706	19.371	
	0.815	0.156	1.134	1.808	0.204	0.380	1.227	
7	17.238	28.893	24.440	20.063	29.344	25.630	20.404	
	0.842	0.177	0.888	2.198	0.204	0.805	1.130	
8	18.073	29.030	25.119	20.324	29.620	25.717		
	1.081	0.150	0.831	1.883	0.243	0.336		

Tableau 1.- Moyenne et écart type des nitrates ( $\mu\text{atg/l}$ ) et de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ) le long de chacune des radiales et pour les sept campagnes du programme CIRSEN.

MOYENNE ECART TYPE	RADIALES	1 9 8 6			1 9 8 7			1988
		8603	8611	8617	8707	8715	8719	8805
Chlorophylle  µg/l	1	1.890 0.384	0.100 0.065	0.953 1.614	1.849 1.465	1.940 1.652	0.407 0.486	1.976 1.399
	2	2.060 0.643	0.163 0.119	0.956 1.736	4.260 6.403	2.134 1.210	0.330 0.224	1.749 0.933
	3	2.863 2.360	0.486 0.694	0.493 0.299	1.389 0.901	2.383 0.988	0.378 0.220	1.898 1.615
	4	1.482 0.543	0.136 0.052	0.683 1.124	0.925 0.610	1.634 1.286	0.166 0.131	4.094 2.714
	5	2.322 2.480	0.526 0.800	0.295 0.325	0.753 0.832	1.615 0.790	0.876 0.663	2.894 2.583
	6	2.096 0.618	0.716 1.370	0.910 1.298	1.060 0.789	1.480 0.385	0.606 0.709	2.149 0.968
	7	4.040 1.433	0.710 1.116	0.731 0.670	1.749 2.206	3.203 1.932	0.565 0.448	3.531 4.844
	8	2.388 0.864	0.590 1.217	0.537 0.758	1.303 1.128	2.910 1.995	0.310 0.228	

1, 2, 3, = NORD

4, 5, 6, 7, 8 = SUD

Tableau 1 (suite)

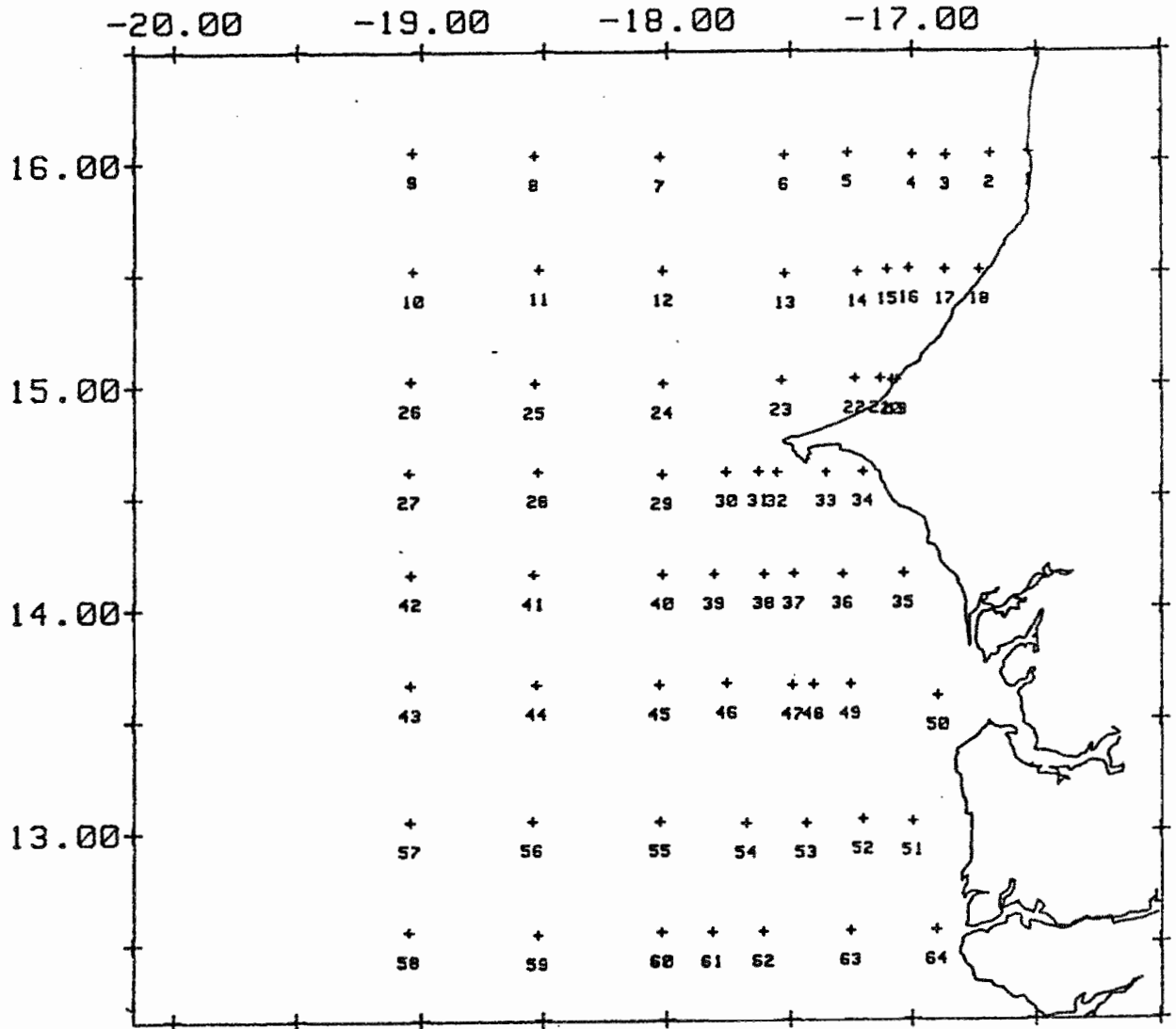


Figure 1.- Position des stations réalisées lors des campagnes du programme CIRSEN.

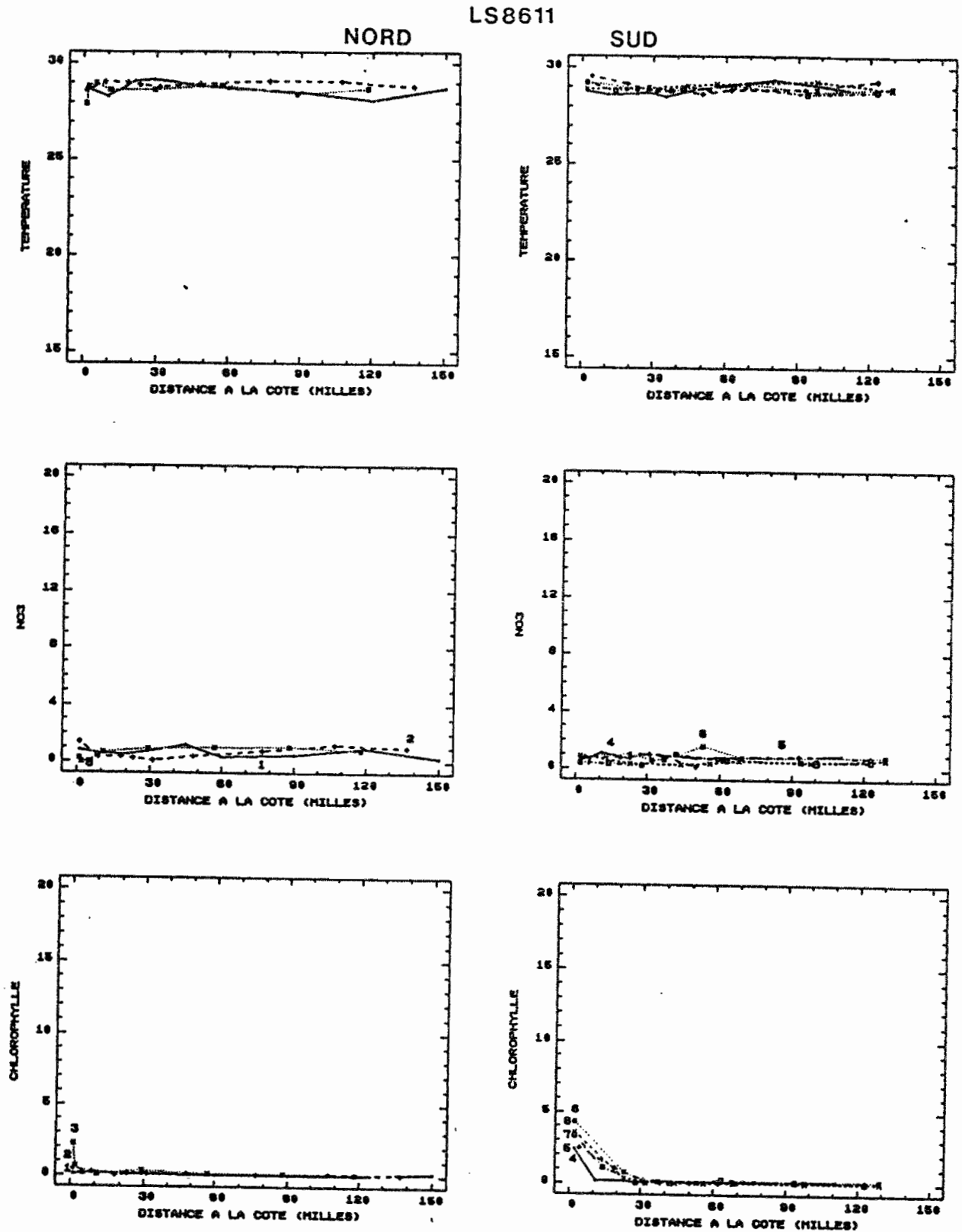


FIGURE 2 : Distribution le long des radiales de la température (°C), des nitrates (µatg/L) et de la biomasse phytoplanctonique (µg/L) en saison chaude de 1986 : campagne LS8611.



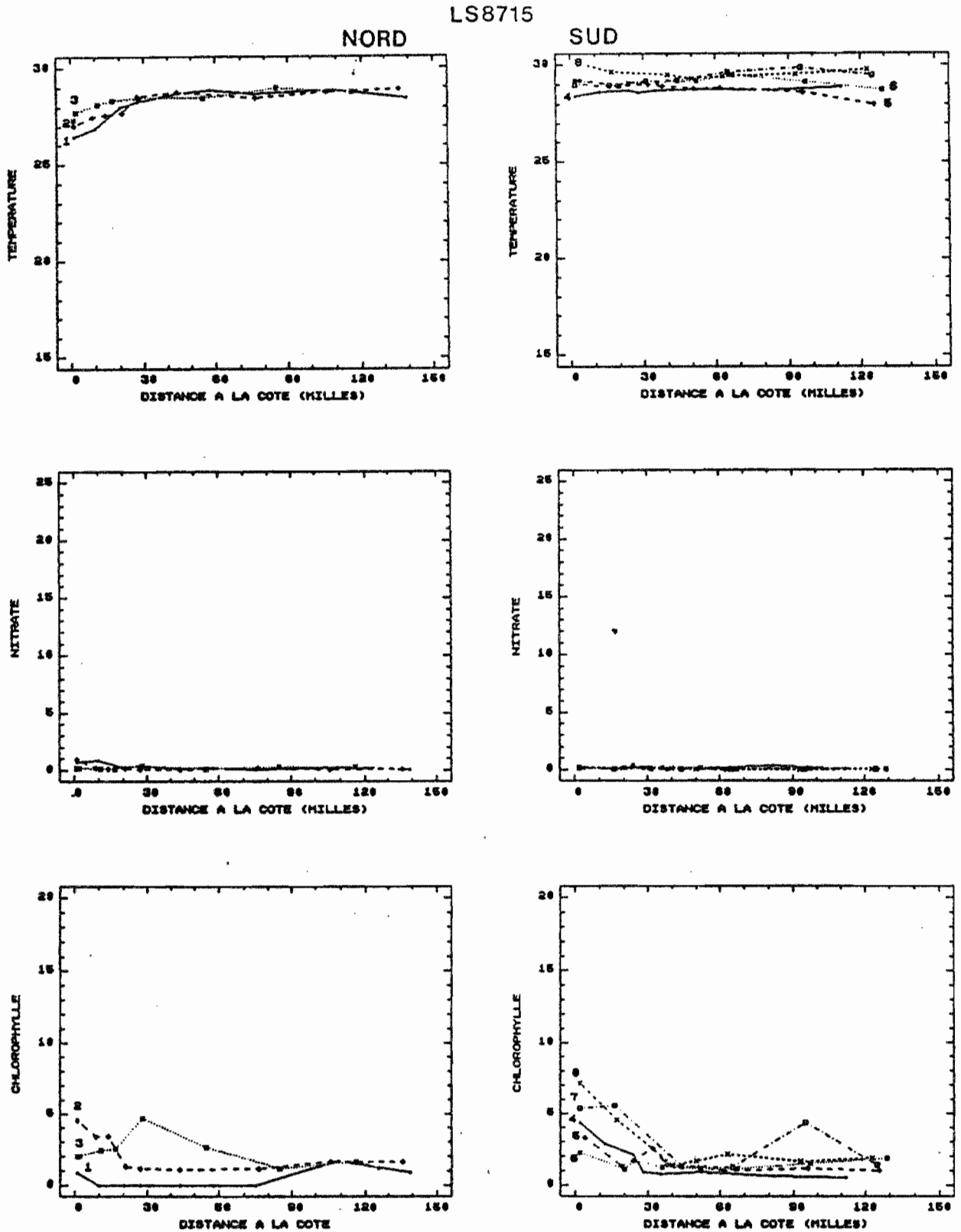


FIGURE 3 : Distribution le long des radiales de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ), des nitrates ( $\mu\text{atg/L}$ ) et de la biomasse phytoplanctonique ( $\mu\text{g/L}$ ) en saison chaude de 1987 : campagne LS8715.

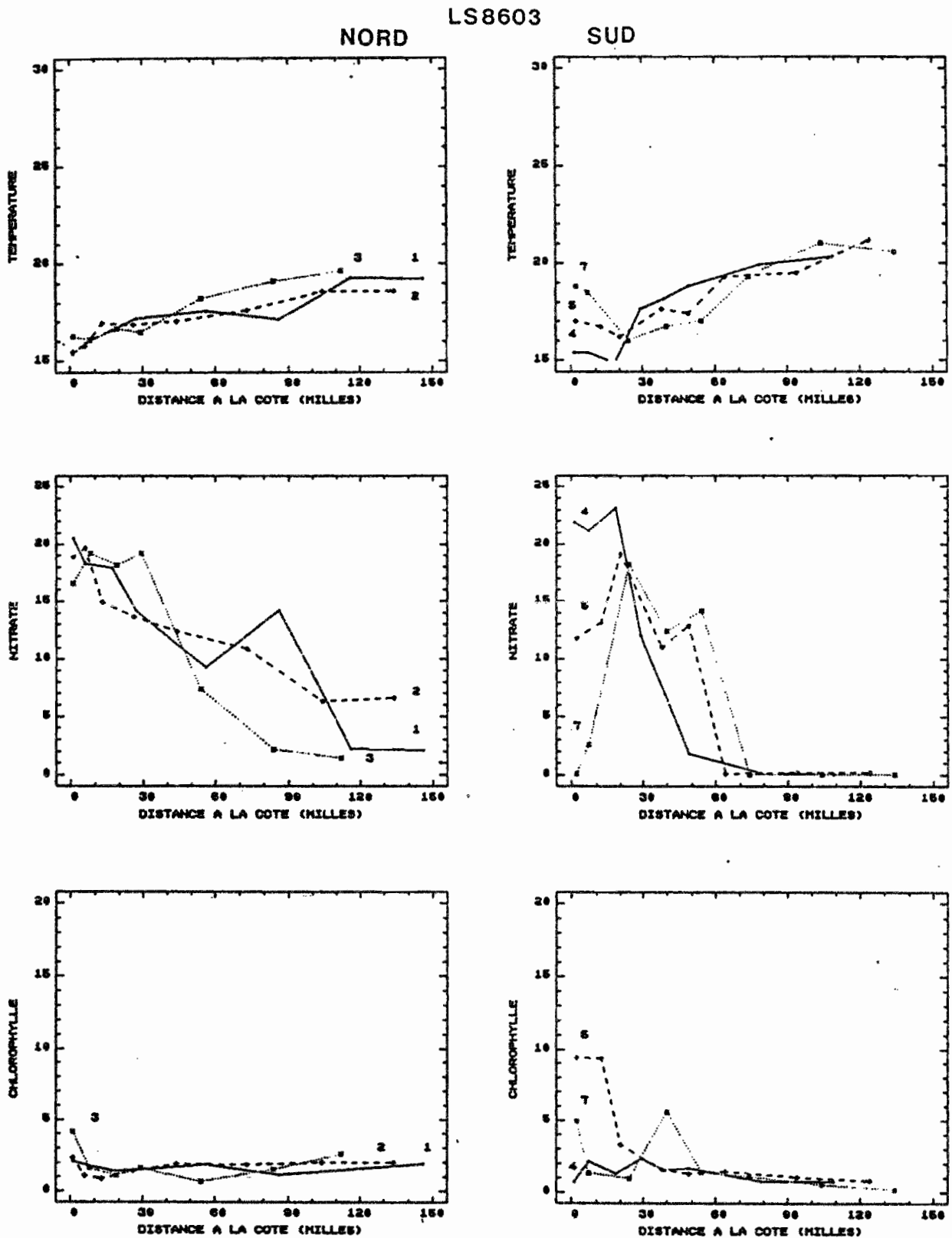


FIGURE 4 : Distribution le long des radiales de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ), des nitrates ( $\mu\text{atg/L}$ ) et de la biomasse phytoplanctonique ( $\mu\text{g/L}$ ) en saison froide de 1986 : campagne LS8603.

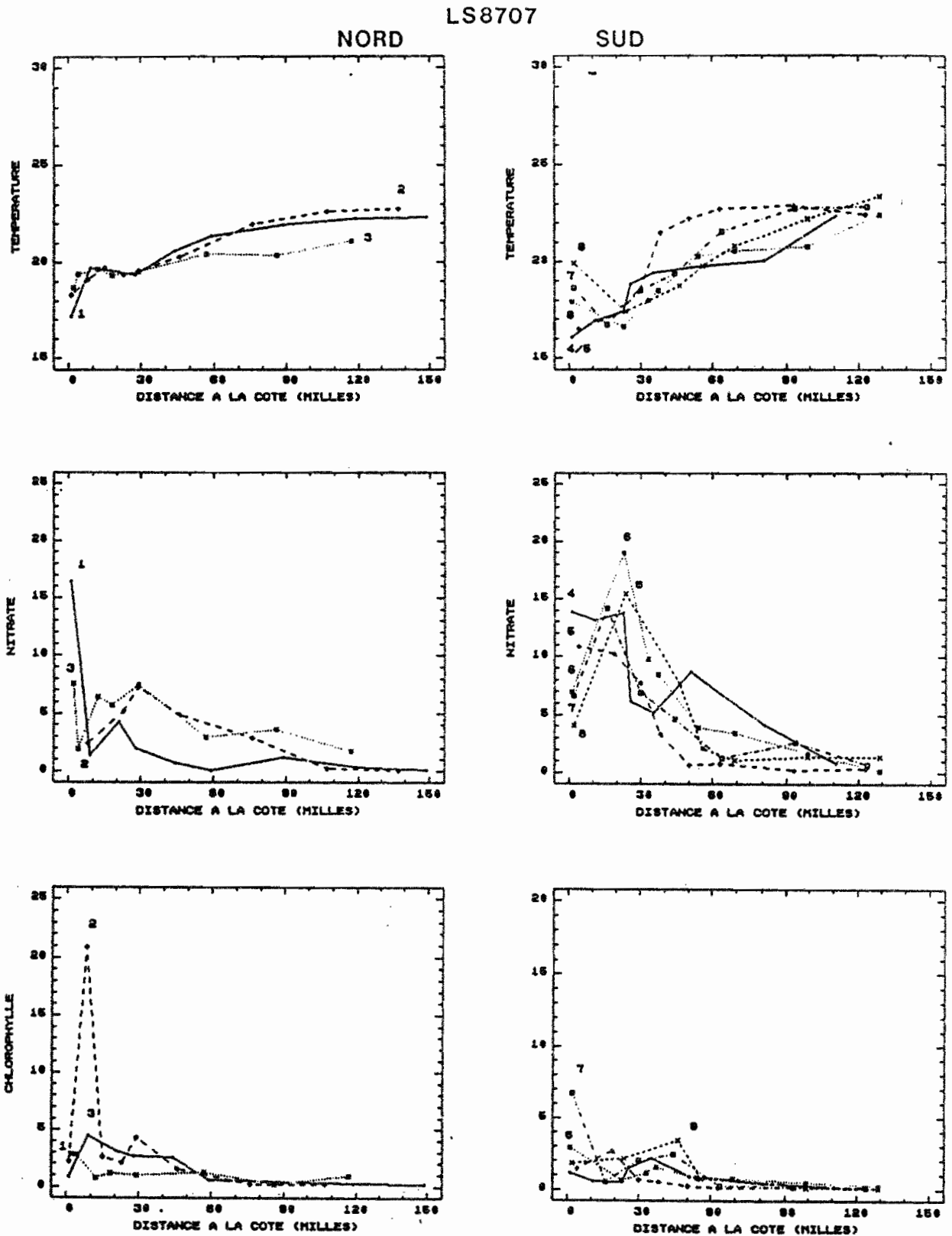


FIGURE 5 : Distribution le long des radiales de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ), des nitrates ( $\mu\text{atg/L}$ ) et de la biomasse phytoplanctonique ( $\mu\text{g/L}$ ) en saison froide de 1987 : campagne LS8707.

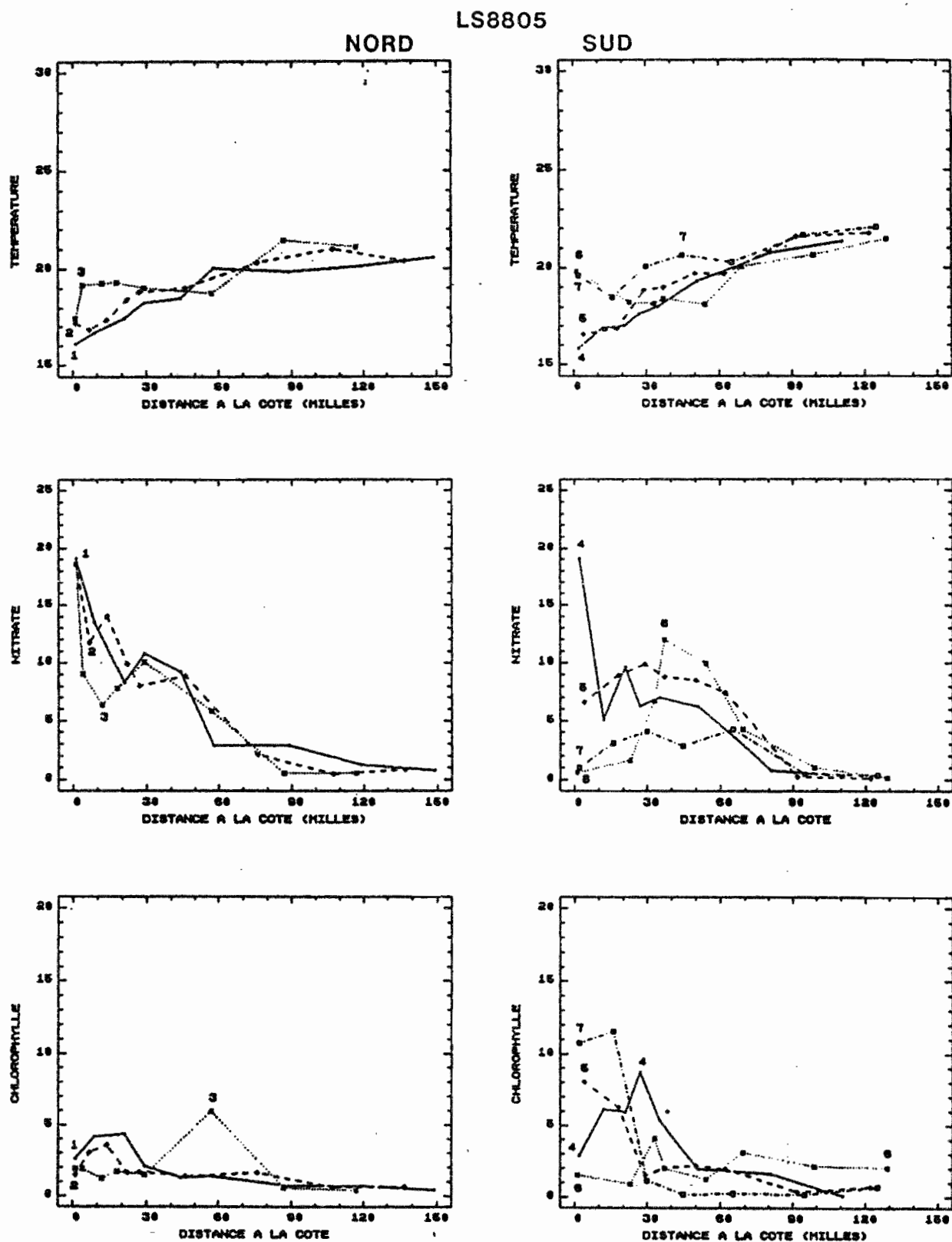


FIGURE 6 : Distribution le long des radiales de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ), des nitrates ( $\mu\text{atg/L}$ ) et de la biomasse phytoplanctonique ( $\mu\text{g/L}$ ) en saison froide de 1988 : campagne LS8805.

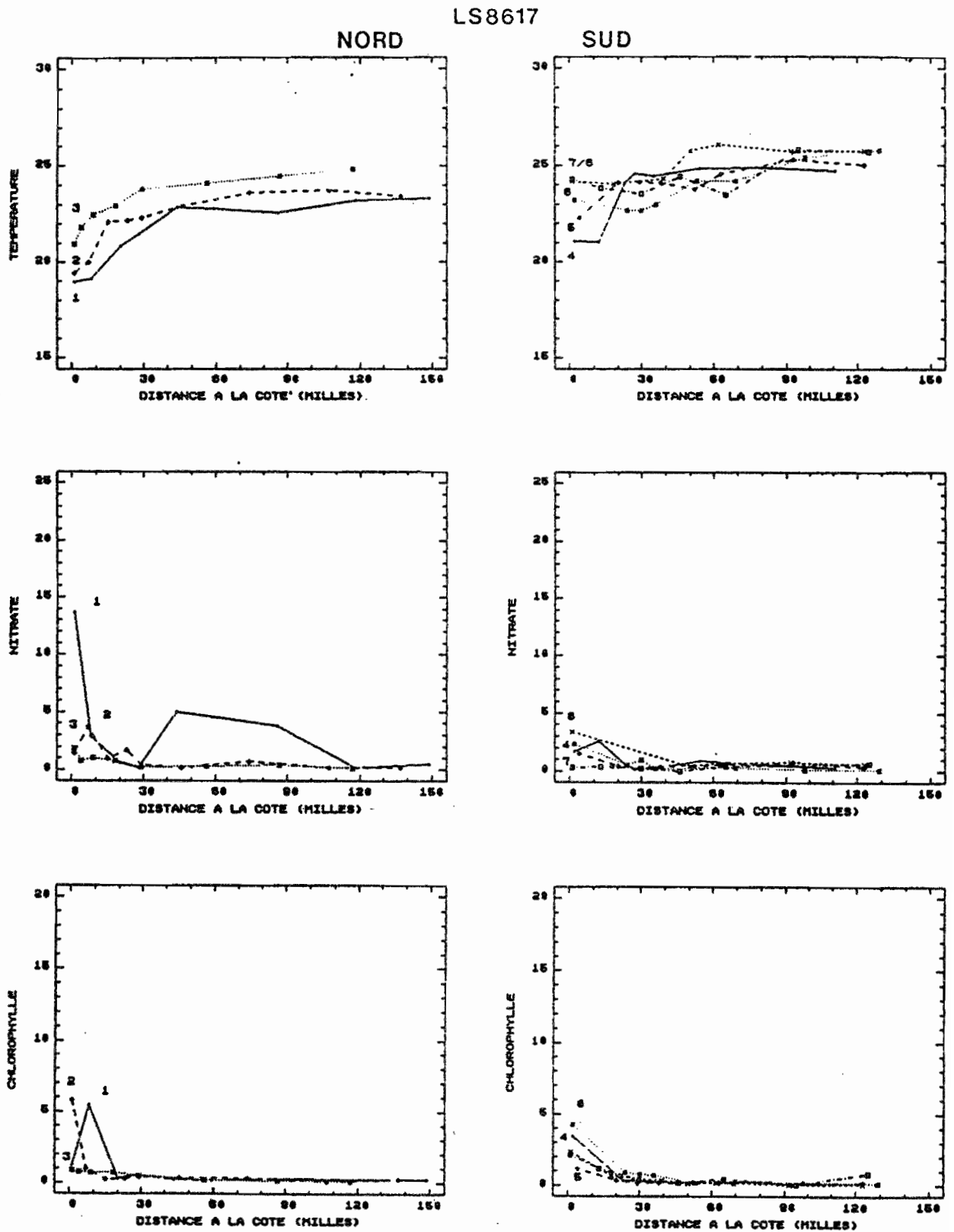


FIGURE 7 : Distribution le long des radiales de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ), des nitrates ( $\mu\text{atg/L}$ ) et de la biomasse phytoplanctonique ( $\mu\text{g/L}$ ) en saison de transition de 1986 : campagne LS8617.

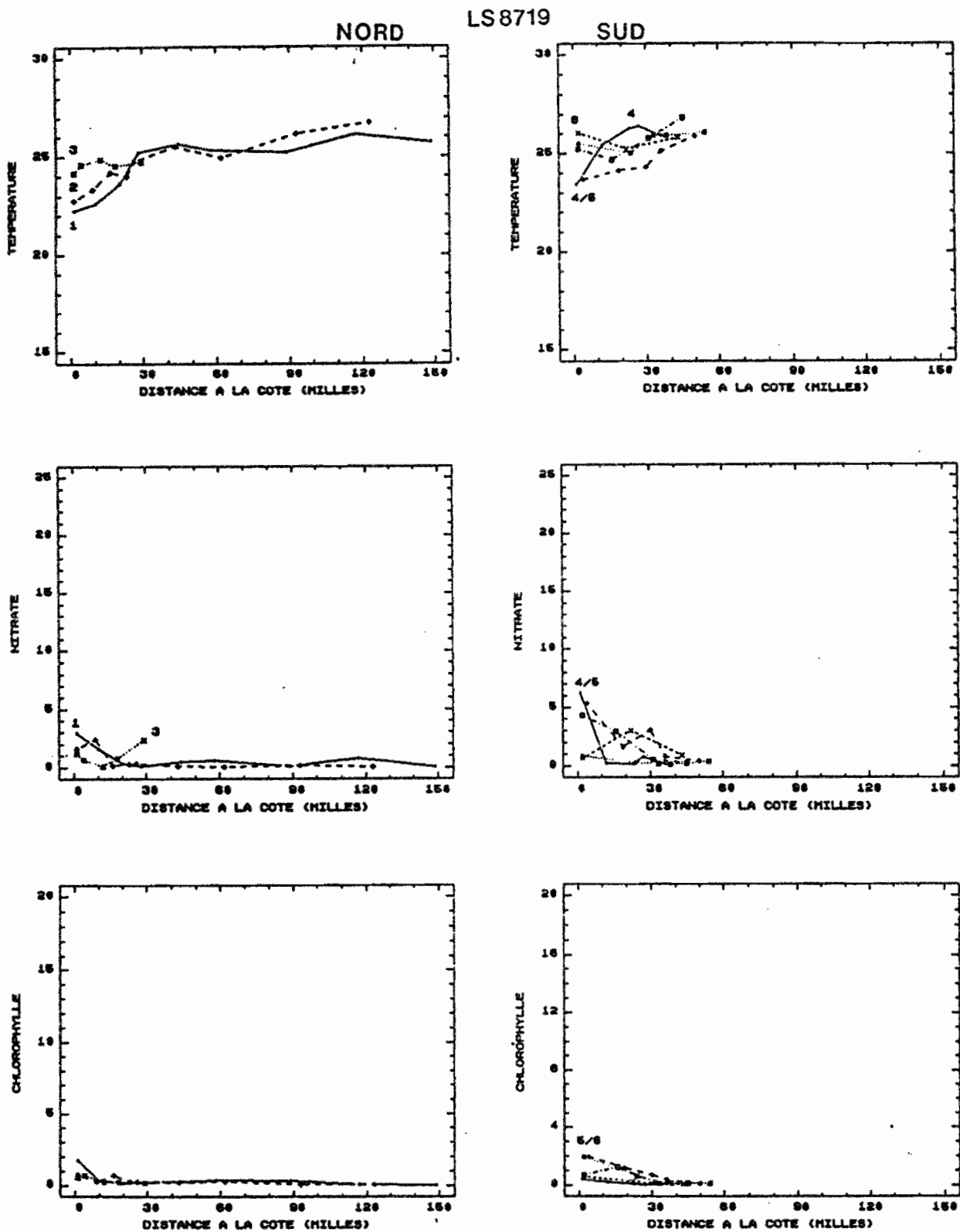


FIGURE 8 : Distribution le long des radiales de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ), des nitrates ( $\mu\text{atg/L}$ ) et de la biomasse phytoplanctonique ( $\mu\text{g/L}$ ) en saison de transition de 1987 : campagne LS8719.