

Conditions hydrobiologiques au large du Cap Gris-Nez (France) : premiers résultats

Hydrobiologie
Gradient
Eaux côtières
Pas-de-Calais
Manche orientale

Hydrobiology
Gradient
Coastal waters
Dover Strait
Eastern English Channel

J.-M. Brylinski, J. Dupont, D. Bentley
Université des Sciences et Techniques de Lille, Station Marine, B.P. 41, 62930 Wimereux, France.

Reçu le 19/7/83, révisé le 27/12/83, accepté le 10/1/84.

RÉSUMÉ

Des mesures de température, salinité et turbidité, des dosages de pigments chlorophylliens et des comptages de copépodes pélagiques sont effectués sur une radiale côte-large située en travers du détroit du Pas-de-Calais. Il existe un net gradient côte-large pour l'ensemble des paramètres, mais ce gradient peut être perturbé par l'intrusion au large de masses d'eaux à caractéristiques côtières. La bonne correspondance entre les variations des paramètres permet en effet de distinguer clairement des masses d'eau dont les caractéristiques sont différentes et qui peuvent se côtoyer sans se mélanger pendant le temps d'une marée.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 3, 315-322.

ABSTRACT

Hydrobiology off Cap Gris-Nez (France): first data

Temperature, salinity and turbidity measurements, phytoplankton pigment analysis and densities of copepods were obtained on a sampling line across the Dover Strait. A real gradient exists from the coast to the open sea, but may be disturbed by intrusion of typically coastal waters in the open sea. The very good correlation between variations of different parameters reveals. Some separate water masses which can move side by side without mixing throughout the duration of a tide.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 3, 315-322.

INTRODUCTION

La partie Sud du Pas-de-Calais est à la fois un des lieux de passage des eaux de la Manche vers la Mer du Nord (Prandle, 1978; Maddock *et al.*, 1982; Taylor *et al.*, 1983), et le milieu récepteur de plusieurs effluents côtiers: Somme, Authie, Canche, Liane, Wimereux, Slack (fig. 1). La dérive Nord-Atlantique induit dans le Pas-de-Calais un courant général portant vers le Nord-Est et qui atteint 2,7 milles par jour (Anonyme, 1968). Ainsi, bien que les courants de marée, parallèles à la côte, soient de type alternatif, les eaux françaises côtières dérivent globalement vers le Nord. Ces eaux côtières sont plaquées sur le littoral boulonnais et l'on observe l'établissement d'un gradient côte-large souvent bien marqué (Viollier *et al.*, 1978; Bentley *et al.*, 1981; Dupont *et al.*, 1981). Nous présentons ici les premiers résultats obtenus au cours d'une étude sur la caractérisation des eaux du Pas-de-Calais et sur le devenir des masses d'eaux côtières, chargées en particules diverses et polluants éventuels, leur diffusion vers le large et ou, au contraire, leur maintien à la côte.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Localisation

Le resserrement géographique au niveau du Cap Gris-Nez permet d'étudier un gradient côte-large complet sur une distance relativement faible (13 km). Nos stations sont placées sur l'hyperbole E 32,0 du système de positionnement Decca (fig. 1). Après une campagne d'essais, cinq campagnes numérotées de GN2 à GN6 ont été réalisées à bord du N/O Sepia II.

Paramètres étudiés

Les mesures et prélèvements d'eau sont effectués à plusieurs niveaux de profondeur à chaque station (tab. 1). La température est relevée à l'aide d'une thermosonde. Celle-ci est intégrée à un radiomètre immergeable E.O.S. (Electro Optics Suarez, Hambourg) qui mesure et enregistre les éclaircissements montants et descendants à différentes longueurs d'onde. Les radiations de

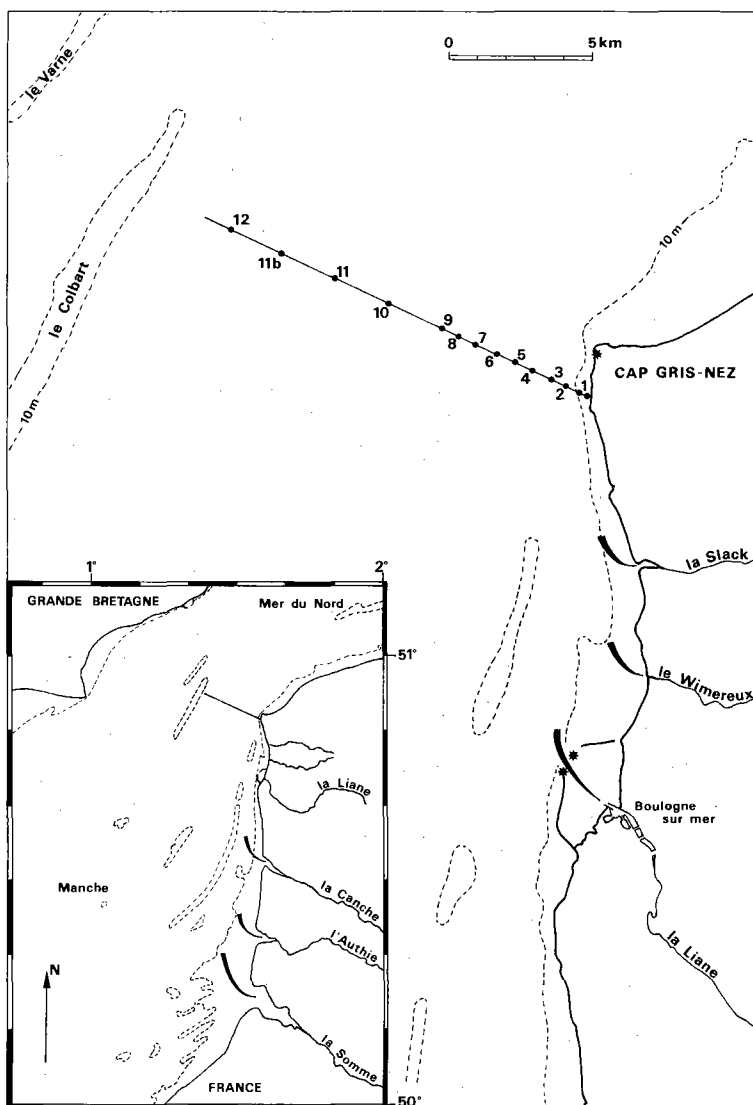


Figure 1
Localisation des stations de prélèvements dans le détroit du Pas-de-Calais.
Position of the sampling stations in the Dover Strait.

longueur d'onde 550 nm sont les plus pénétrantes dans les eaux turbides du Pas-de-Calais. L'évaluation de la transmission d'énergie incidente en profondeur est donc faite par détermination graphique du coefficient d'atténuation diffuse à cette longueur d'onde (Kd 550).

Les prélèvements d'eau sont réalisés à l'aide de bouteilles Niskin pour permettre l'analyse de différents paramètres : salinité (salinomètre à induction Beckman), chlorophylle *a* (dosage spectrophotométrique après filtration sur filtres Wathman GF/C - Unesco, 1966), oxygène dissous (méthode de Winkler) et turbidité. outre la mesure du Kd, la turbidité a été appréciée par mesure néphélométrique sur les échantillons d'eau, et par des pesées des matières en suspension recueillies par filtration d'un litre d'eau sur filtres Wathman GF/C, prépesés et séchés à 110°C. Nous avons également utilisé le disque de Secchi.

Un trait de filet à plancton WP2 (200 µ de mailles), vertical fond-surface, est réalisé à chaque station. Le volume filtré est contrôlé par un débitmètre TSK. Après détermination et comptage du zooplancton, seul sera pris en compte dans ce travail le pourcentage d'abondance de l'espèce *Temora longicornis* parmi le groupe des copépodes. En effet, cette espèce néritique (Colebrook *et al.*, 1961; Razouls *et al.*, 1965) présente dans le Pas-de-Calais une plus forte dominance à la

côte qu'au large (Brylinski, 1975). L'examen comparatif des valeurs du pourcentage d'abondance de cette espèce par rapport aux autres copépodes aux différentes stations de la radiale doit permettre une évaluation du caractère côtier (forte valeur) ou non côtier (faible valeur) des masses d'eau prospectées.

Tableau 1

Niveaux prospectés à chaque station des campagnes GN (mètres sous surface).

Sampling depths at each point during the "Gris-Nez" cruises (in metres beneath the surface).

Campagnes					
Stations	GN2	GN3	GN4	GN5	GN6
0	—	—	2	—	2
1	0.2.5.10.15	2.5.10	2.5	2	
2	2.5.10.15	2.5.10.15	2.10	2.10	2.10
3	2.5.10.20	2.5.10.20			
4					
5				2.10.20	2.20
6			2.10		
7		2.5.10.25	2.10.20		
8	2.10.20.30				
9		2.5.10.20.30			
10		2.5.10.20.30			
11	2.10.20.30.50				
11b	—	—	—		
12	2.10.20.30.50	2.5.10.20.40	2.10.20		

Conditions d'expériences

Compte-tenu du temps nécessaire pour faire les prélèvements et parcourir l'ensemble de la radiale, les conditions de courant évoluent au cours de chaque campagne. La figure 2 présente la position de chaque station par rapport à l'heure de la marée. Trois sorties ont été réalisées en période de vives-eaux et deux en mortes-eaux, deux en période de jusant et trois en flot. Les conditions météorologiques le jour de chaque campagne à la mer, ainsi que les quatre jours précédents, sont présentées dans le tableau 2. Les sorties ont toutes eu lieu en période de calme et de pluviosité faible ou nulle, sauf pour GN3.

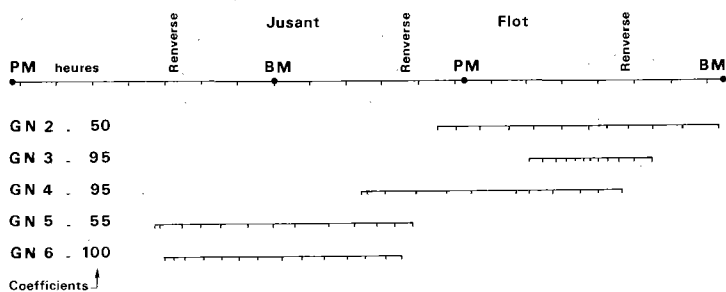


Figure 2
Positionnement des campagnes « GN » et des stations de prélèvement par rapport aux heures de marée.
Conditions of the "GN" cruises and sampling stations in relation to tide hours.

Tableau 2

Données météorologiques pour les sorties GN. Observations à 7 h 00 au Cap Gris-Nez :

- État de la mer.
- Direction et vitesse (nœuds) du vent.
- Pluviométrie : en mm pour les 24 h antérieures.

Meteorological data for GN cruises (at 7 am.):

- Sea surface state.
- Direction and speed (knots) of wind.
- Quantity of rain (mm) during the previous 24 h.

	Intitulé GN2	GN3	GN4	GN5	GN6
Dates	10.09.81	10.12.81	09.03.82	13.05.82	22.06.82
j	belle SSE-12 0	calme NNW-2 5,6	belle SSE-6 0	belle ESE-18 0	belle S-8 traces
j - 1	belle WSW-4 0,1	peu agitée WNW-10 8,3	peu agitée S-8 0	belle ESE-14 0	Calme ESE-4 0,5
j - 2	peu agitée W-12 traces	belle SSE-4 3,4	belle SE-8 0	calme ESE-12 0	peu agitée WSW-6 0,8
j - 3	belle SSE-12 0	belle WNW-6 0	belle S-12 0	calme NNE-10 0,2	peu agitée WSW-23 6,9
j - 4	calme E-2 0	belle NW-10 0,1	peu agitée N-8 0,3	belle NNE-12 0	peu agitée S-18 0,6

RÉSULTATS-DISCUSSION

Les résultats des mesures et dosages sont présentés par campagne dans les figures 4 à 8. Les moyennes sont reportées pour chaque paramètre, ainsi que les valeurs extrêmes obtenues sur la colonne d'eau à chaque station.

L'hétérogénéité verticale

L'étude de l'hétérogénéité verticale des masses d'eau peut être abordée par l'examen des résultats de mesures effectuées pendant la campagne GN3 (fig. 3), campagne au cours de laquelle les niveaux prospectés ont été les plus nombreux (tab. 1). Les écarts peuvent être importants entre les valeurs de deux niveaux consécutifs, ceci principalement aux stations les plus côtières. Signalons qu'au cours de nos sorties, les écarts thermiques n'excèdent que rarement 0,2°C et concernent essen-

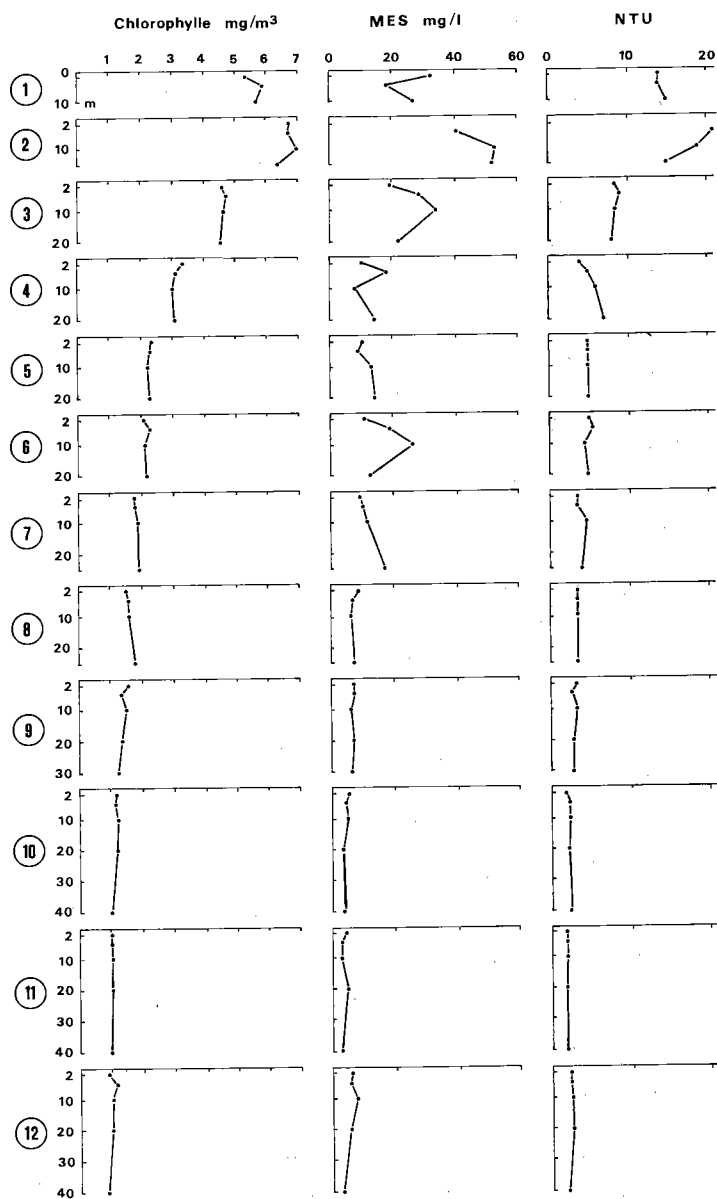


Figure 3
Hétérogénéité verticale au cours de la campagne « GN3 » : chlorophylle a, matières en suspension et turbidité NTU.
Vertical heterogeneity during the "GN3" cruise: chlorophyll a, suspended materials and nephelometric turbidity.

tiellement des modifications de la couche superficielle (5 m). Cette hétérogénéité verticale est mal établie en gradient, tout au moins dans les zones côtières, et semble révéler une certaine turbulence dans ces zones peu profondes (inférieures à 30 m). Cependant, même à la côte et lorsqu'elle est forte, l'hétérogénéité verticale reste négligeable par rapport à l'hétérogénéité horizontale, entre stations.

Le gradient côte-large

Tous les paramètres hydrologiques et biologiques montrent l'existence d'un gradient côte-large bien marqué (fig. 4 à 8). La frange d'eau côtière est nettement influencée par les apports telluriques : la salinité y est plus faible qu'au large et les valeurs de turbidité plus élevées. Le gradient thermique est également bien établi mais il s'inverse suivant que l'on se trouve en saison hivernale (GN4) ou estivale (GN2 - GN5 - GN6), en raison

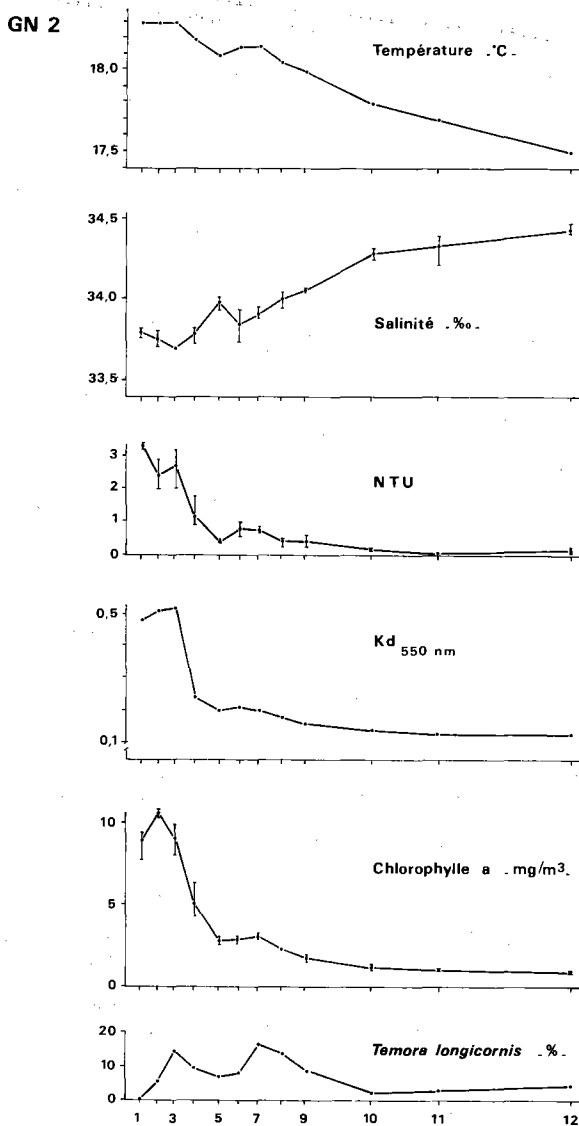


Figure 4
Évolution des paramètres hydrobiologiques sur la radiale côte-large GN2 (valeur moyenne par station et valeurs extrêmes sur la colonne d'eau).
Evolution of hydrobiological parameters on the radial line from coast to open sea GN2 (median values at each station and extreme values for the water column).

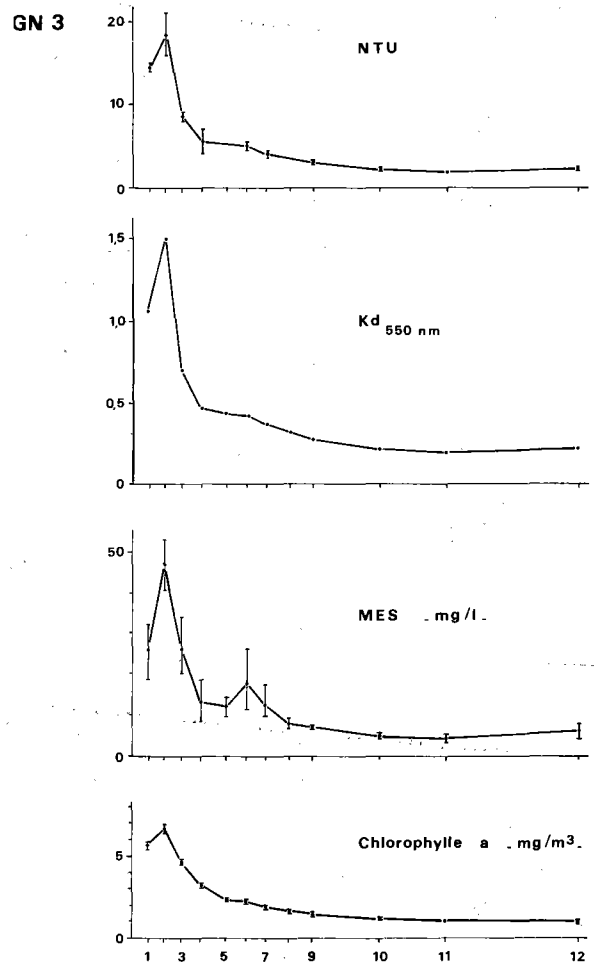


Figure 5
Évolution des paramètres hydrobiologiques sur la radiale côte-large GN3 (valeur moyenne par station et valeurs extrêmes sur la colonne d'eau).

Evolution of hydrobiological parameters on the radial line from coast to open sea GN3 (median values at each station and extreme values for the water column).

de la faible inertie thermique des eaux côtières peu profondes. Le coefficient d'atténuation de la lumière (Kd 550) et la quantité de pigments chlorophylliens sont, pour chaque campagne, de très bons indicateurs de l'évolution du gradient côte-large : très élevées entre les stations côtières n^{os} 2 et 4, les valeurs chutent brutalement jusqu'aux stations n^{os} 5 et 6, pour décroître ensuite plus ou moins irrégulièrement jusqu'aux stations du large n^{os} 11 et 12. En fait, il existe une simultanéité remarquable entre les variations des différents paramètres au cours d'une campagne donnée, tant pour les paramètres hydrologiques que biologiques. Ainsi, on peut définir deux qualités d'eaux, côtières et du large, à caractéristiques bien différenciées (Dupont *et al.*, 1981). Des eaux de type côtier s'opposent aux eaux de type « du large » par une salinité plus faible, une turbidité plus élevée, un taux de pigments chlorophylliens plus forts, ainsi qu'une augmentation relative du pourcentage de *Temora longicornis* parmi la population des copépodes.

On peut mettre en évidence des perturbations importantes de ce gradient côte-large. En effet, s'il est bien établi pour les campagnes GN3, GN4 et GN6, on observe une inversion localisée de ce gradient entre les stations

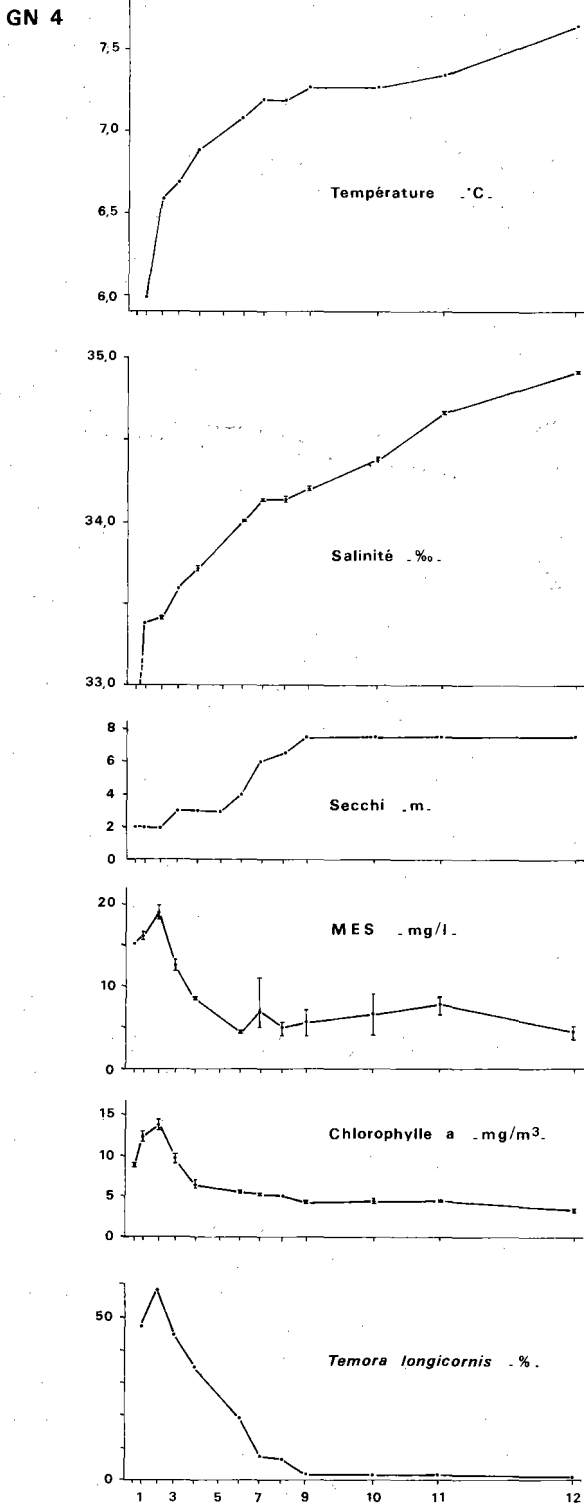


Figure 6
Évolution des paramètres hydrobiologiques sur la radiale côte-large GN4 (valeur moyenne par station et valeurs extrêmes sur la colonne d'eau).
Evolution of hydrobiological parameters on the radial line from coast to open sea GN4 (median values at each station and extreme values for the water column).

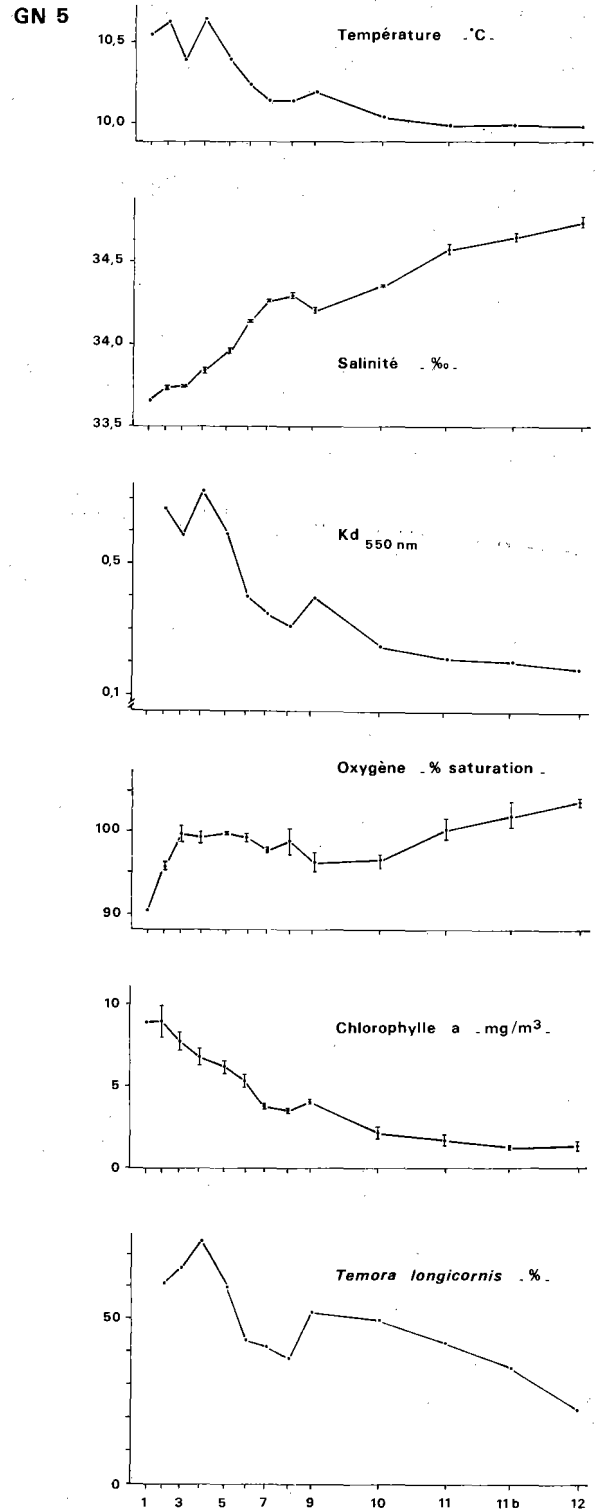


Figure 7
Évolution des paramètres hydrobiologiques sur la radiale côte-large GN5 (valeur moyenne par station et valeurs extrêmes sur la colonne d'eau).
Evolution of hydrobiological parameters on the radial line from coast to open sea GN5 (median values at each station and extreme values for the water column).

n^{os} 5 à 7 pendant la campagne GN2, et n^{os} 7 à 9 pendant la campagne GN5 (fig. 4 à 8). Cette inversion correspond à l'existence d'une langue d'eau à caractéristiques côtières, séparée du Cap Gris-Nez par une langue d'eau à caractéristiques moins côtières.

La comparaison des résultats acquis au cours de nos

cinq campagnes met en évidence certaines constantes dans l'évolution du gradient côte-large à travers le Pas-de-Calais. On peut ainsi déterminer quatre zones, chacune définies par des caractéristiques hydrobiologiques particulières : une frange côtière extrême, une zone côtière, une zone intermédiaire, une zone du large.

La frange côtière extrême : stations 0 et 1

C'est une zone très étroite, où les fonds sont très faibles et peu ou pas accessibles à basse mer avec notre bateau

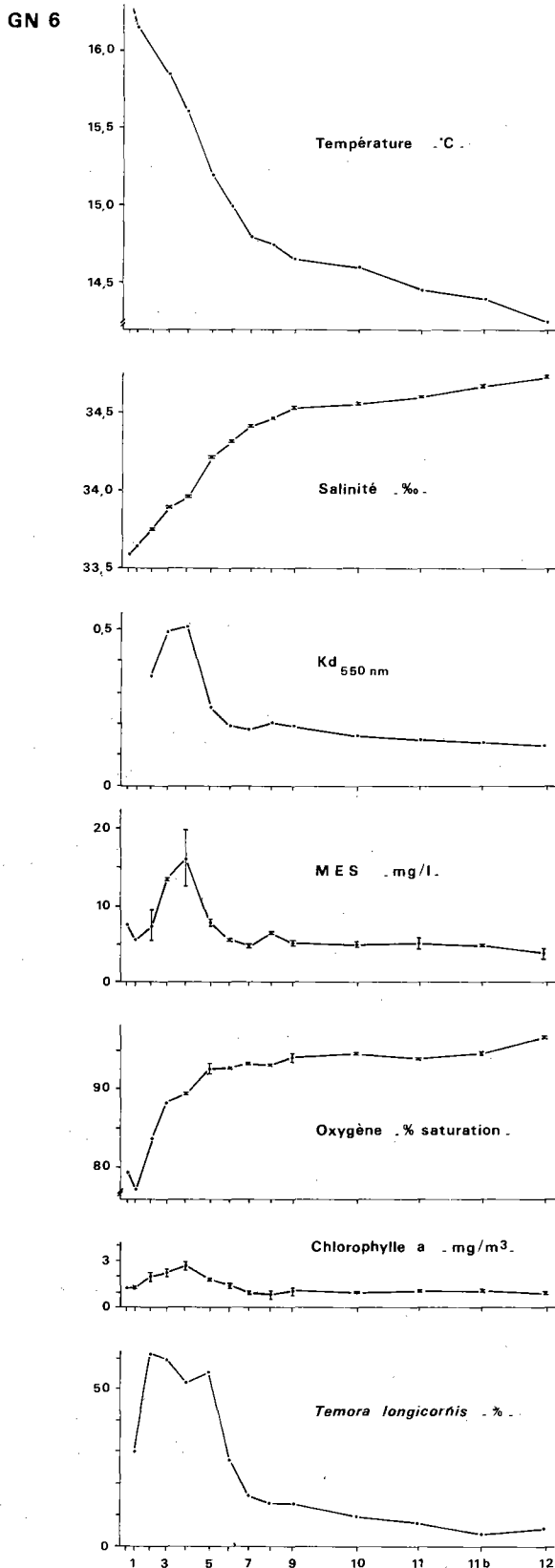


Figure 8
 Évolution des paramètres hydrobiologiques sur la radiale côte-large GN6 (valeur moyenne par station et valeurs extrêmes sur la colonne d'eau).
 Evolution of hydrobiological parameters on the radial line from coast to open sea GN6 (median values at each station and extreme values for the water column).

(fig. 9). En général la turbidité y est faible par rapport aux stations suivantes. Les fonds rocheux constitués de gros blocs y freinent les courants de marée de flot et facilitent, tout au moins par beau temps, le dépôt des matières en suspension avant leur arrivée au Cap Gris-Nez. En période de jusant, cette zone littorale est protégée des courants par l'effet de Cap. Les taux en chlorophylle *a* sont réduits ainsi que la concentration en oxygène dissous. Cette zone ne semble pas favorable à la présence des copépodes et en particulier de *Temora longicornis* dont la biomasse y est faible et parfois même nulle (GN2).

La zone côtière : stations 2 à 4

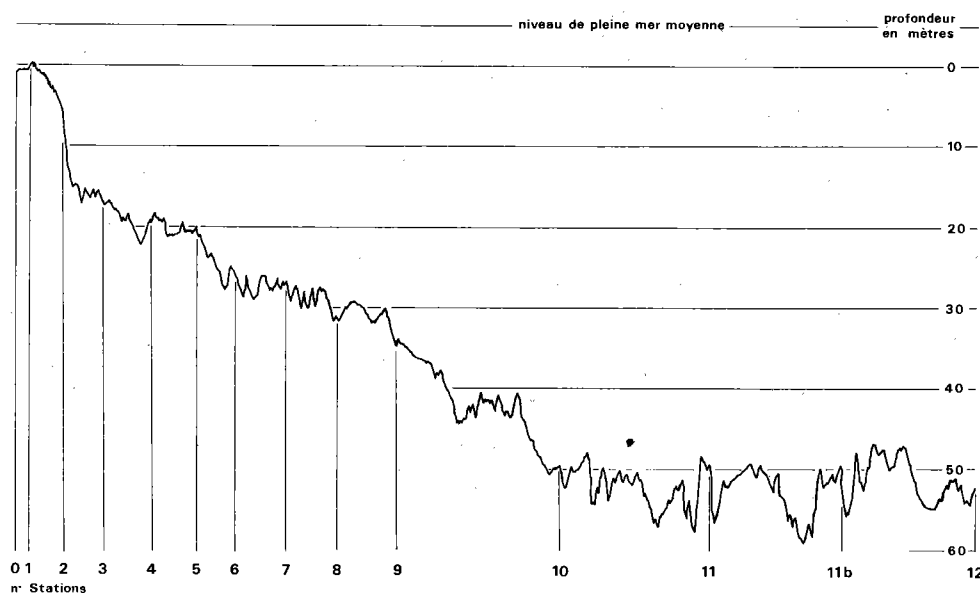
Juste avant la station n° 2, les fonds chutent brusquement (fig. 9), et cette zone se situe sur des fonds voisins de 20 m. La turbidité peut être élevée, même par temps calme et toujours supérieure à celle des zones voisines. Cette turbidité apparaît nettement influencée par les apports telluriques. Le débit moyen des fleuves côtiers de la région est relativement faible (Anonyme, 1981). Moyenné sur cinq ans (1975-1979), il est de 6,5 m³/s pour la Liane, 10,2 m³/s pour la Canche, 6,5 m³/s pour l'Authie et estimé à 0,7 et 1,1 m³/s pour la Slack et le Wimereux. Le débit le plus important est celui de la Somme (25,7 m³/s), dont l'embouchure est la plus éloignée du site étudié. Cependant, comme l'indique la dessalure côtière, les effluents restent plaqués sur le littoral par les courants de marée, et il suffit d'une augmentation de pluviosité pour augmenter fortement la turbidité littorale : au cours de la campagne GN3 réalisée en période pluvieuse (tab. 2), la turbidité est environ trois fois plus élevée qu'au cours des autres campagnes.

La concentration en pigments chlorophylliens est également maximale à ces trois stations pendant toute l'année. Il en est de même pour la proportion de *Temora longicornis* parmi le groupe des copépodes. Les maximums observés semblent, pour chaque paramètre, décalés en fonction du courant : plaqués à la côte en période de flot (stations n°s 2 et 3 - fig. 4, 5 et 6), ils s'en écartent plus ou moins en période de jusant (stations n°s 3 et 4 - fig. 7 et 8).

La zone intermédiaire : stations 5 à 9

Après une nouvelle rupture de pente entre les stations n°s 5 et 6, les fonds s'établissent aux environs de 30 m pour l'ensemble de la zone. Les structures hydrobiologiques y sont assez fluctuantes. C'est ici que l'on peut observer la présence d'une langue d'eau à caractéristiques plus côtières venant s'intercaler parmi les eaux à caractéristiques du large. Le gradient côte-large est alors inversé. Comme pour les maximums observés dans la zone côtière, cette intrusion se situe plus à la côte (stations n°s 6 et 7) en période de flot qu'en période de jusant (stations n°s 8 et 9). Les structures de cette zone intermédiaire sont nettement influencées par les conditions de marées : les perturbations du gradient côte-large sont bien marquées en période de mortes-

Figure 9
Profil bathymétrique de la radiale
"GN".
Bathymetric section under the "GN"
radial line.



eaux (GN2-GN5), alors qu'elles s'atténuent ou même disparaissent en période de vives-eaux (GN3-GN4-GN6). Il faut rappeler le caractère relativement localisé de ce phénomène. Les stations prospectées dans cette zone ne sont en effet séparées que d'environ 600 mètres. La formation de langues d'eau juxtaposées, et de structures hydrobiologiques bien différenciées, est observée lorsque les courants sont faibles : par coefficient de 50 et 55 (GN2 et GN5), ils sont au maximum de 2,1 et 2,2 nœuds (Anonyme, 1968). Cette disposition a tendance à se désintégrer lorsque les courants sont plus forts : par coefficient de 95 et 100 (GN3-GN4 et GN6), ils atteignent 3,4 et 3,5 nœuds. Une certaine homogénéisation s'effectue alors, même par mer belle. Si la perturbation peut rester visible bien que très atténuée (MES, Kd en GN6), elle peut n'être marquée, de façon à peine perceptible, que par une légère inflexion dans l'évolution du gradient côte-large (salinité, température, Copépode en GN4-chlorophylle, Kd en GN3). L'homogénéisation peut être totalement réalisée pour certains paramètres comme la chlorophylle en GN4 ou la température et la salinité en GN6.

La zone du large : stations 10 à 12

Les fonds sont voisins ou supérieurs à 50 m (fig. 9) et relativement tourmentés. Leurs structures en bancs parallèles aux courants dominants sont constituées de roches sédimentaires affleurant sous des cailloutis (Larsonneur *et al.*, 1979). En Manche, la dispersion vers le large est nettement moins importante que la dispersion par les courants de marée longitudinaux (Pingree *et al.*, 1975). Ainsi, bien que les eaux de cette zone ne soient situées qu'à une dizaine de kilomètres de la côte, elles correspondent aux eaux centrales de la Manche provenant de la dérive nord-atlantique vers la Mer du Nord. Elles apparaissent relativement homogènes et claires (fig. 3). Elles restent cependant soumises à l'influence tellurique comme l'indique la persistance des gradients de salinité qui peuvent être encore bien marqués entre les stations n° 10 et 12. La turbidité est

généralement faible et n'est sans doute que partiellement influencée par les apports telluriques régionaux. Cette turbidité du large est probablement d'origine plus lointaine, comme par exemple peut-être les effluents de la Seine (Taylor *et al.*, 1981), ou la remise en suspension de particules sur des bancs sableux plus en amont. Les photos satellitaires montrent en effet l'existence de panaches de turbidité d'origine encore mal définie dans les eaux centrales de la Manche (Viollier *et al.*, 1981). Les séries de photos montrent que ces panaches persistent pendant plusieurs jours consécutifs sans se désintégrer, et peuvent donc dériver vers le Pas-de-Calais. Ce sont ainsi au total près de $11,5$ à 15×10^6 t de matières en suspension qui transitent à travers le détroit chaque année (Eisma, Kalf, 1979).

CONCLUSION

Dans le détroit du Pas-de-Calais, au large du Cap Gris-Nez, les eaux sont relativement homogènes verticalement en raison des turbulences provoquées par des courants de marée importants. On n'observe jamais l'établissement de thermocline. Par contre, il existe un gradient côte-large prononcé pour l'ensemble des paramètres hydrobiologiques. La structure spatiale perpendiculaire à la direction des courants est nettement hétérogène et l'on peut définir de la côte vers le large plusieurs zones à caractéristiques différentes :

- 1) Une zone côtière extrême très étroite et d'une relative pauvreté biologique. L'extension de nos mesures devrait permettre d'en comprendre la raison et d'apprécier le caractère localisé ou général de ce phénomène dans le détroit.
- 2) Une zone côtière, qui peut être définie comme une zone de transport, le long du littoral, de matières en suspension et éventuellement de pollutions.
- 3) Une zone intermédiaire correspondant à une zone de dilution, de diffusion vers le large des apports terrigènes.

4) Une zone du large, qui pourrait servir *a priori* de référence comme « eaux propres » pour notre région. Ces eaux apparaissent néanmoins comme les témoins d'événements hydrologiques qui se sont produits avant leur arrivée dans le détroit du Pas-de-Calais.

Ces différentes zones semblent en partie conditionnées par la bathymétrie, qui influe sur l'hydrodynamisme.

Les eaux côtières, visualisées par une turbidité d'origine tellurique, restent, en période de flot, plaquées sur le littoral. Projetées vers le large par effet de cap en jusant, elles peuvent garder temporairement leurs structures hydrobiologiques propres. Elles ne se mélangent alors que très progressivement, à la marée suivante, aux eaux voisines dont les caractéristiques sont moins côtières.

Le départ vers le large, par effet de cap, de masses d'eau à caractéristiques côtières visualisé par télédétection (Baussart *et al.*, 1979) a pu être retrouvé. Ainsi la calibration des images satellitaires (essais en cours) grâce à nos mesures d'optique effectuées en mer, permettra d'appréhender de façon plus globale les structures hydrobiologiques des eaux du Pas-de-Calais.

Remerciements

Ce travail a pu être réalisé grâce à la collaboration technique de M. A. Janquin (Station Marine de Wimereux) et J.-Y. Balloy (Laboratoire d'Optique Atmosphérique, Université de Lille I).

RÉFÉRENCES

- Anonyme, 1968. *Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique*, Service Hydrographique de la Marine, Paris, 287 p.
- Anonyme, 1981. Synthèse des travaux de surveillance 1975-1979 du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin, Centre National pour l'Exploitation des Océans RNO, 358 p.
- Baussart N., Viollier M., Richard A., 1979. Observation du détroit du Pas-de-Calais (France) à l'aide du satellite Landsat, *Photo Interprét.*, 2, 4 a, 28-30.
- Bentley D., Dupont J., Richard A., 1981. Campagne Hydrobios. Paramètres physicochimiques, *Bull. RNO*, 16, 87-145.
- Brylinski J.M., 1975. Étude du zooplancton marin de la région de Boulogne-sur-Mer, *Mém. DEA, Univ. Lille I*, 90 p.
- Colebrook J.M., John D.E., Brown W.W., 1961. Contribution towards a plankton atlas of the North-Eastern Atlantic and the North-Sea, II. *Copepoda*, *Bull. Mar. Ecol.*, 5, 42, 90-97.
- Dupont J., Bentley D., Richard A., 1981. Suivi hydrobiologique du détroit du Pas-de-Calais, *J. Rech. Océanogr.*, 6, 1, p. 16.
- Eisma D., Kalf J., 1979. Distribution and particle size of suspended matter in the southern bight of the North Sea and the Eastern Channel, *Neth. J. Sea Res.*, 13, 2, 298-324.
- Larsonneur C., Vaslet D., Auffret J.P., 1979. Carte des sédiments superficiels de la Manche, Bureau de Recherche Géologique et Minière/Centre National pour l'Exploitation des Océans.
- Maddock L., Pingree R.D., 1982. Mean heat and salt budgets for the eastern English Channel and the Southern Bight of the North Sea, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 62, 559-575.
- Pingree R.D., Pennycuik L., Battin G.A.W., 1975. A time-varying temperature model of mixing in the English Channel, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 55, 975-992.
- Prandle D., 1978. Monthly-mean residual flows through the Dover strait, 1949-1972, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 58, 965-973.
- Razouls C., Thiriot A., Bodo F., 1965. Étude dynamique et variations saisonnières du plancton de la région de Roscoff, *Cah. Biol. Mar.*, 6, 2, 219-254.
- Taylor A.H., Reid P.C., Marsh T.J., Jonas T.D., Stephens J.A., 1981. Year-to-year changes in the salinity of the Eastern English Channel, 1948-1973: a budget, *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 61, 489-507.
- Taylor A.H., Reid P.C., Marsh T.J., Stephens J.A., Jonas T.D., 1983. Year-to-year changes in the salinity of the southern North Sea, 1948-1973: a budget, *Proc. Symposium on North Sea Dynamics*, Springer-Verlag-Berlin, 200-219.
- Unesco, 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea waters, *Monographs on oceanographic methodology*, Unesco, 69 p.
- Viollier M., Leconte P., Bougard M., Richard A., 1978. Expérience aéroportée de télédétection (température et couleur de la mer) dans le détroit du Pas-de-Calais, *Oceanol. Acta*, 1, 3, 265-269.
- Viollier M., Bentley D., Richard A., 1981. Étude par télédétection des eaux du littoral Nord/Pas-de-Calais, *Contrat CNEXO 80/6259, rapport final*, 35 p.