



Publications du

CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS



Actes de colloques

n° 6 - 1978



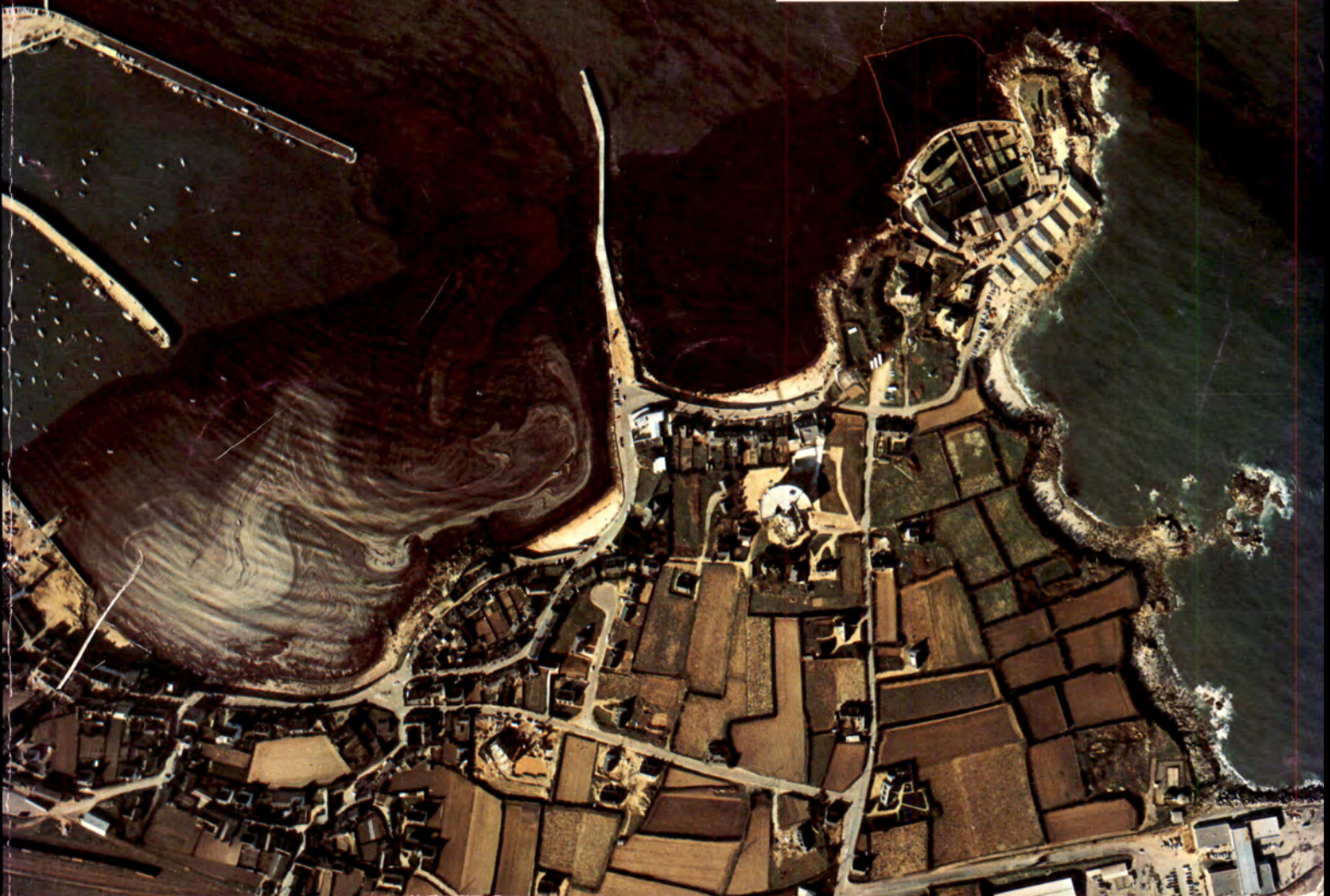
AMOCO CADIZ

PREMIÈRES OBSERVATIONS

SUR LA POLLUTION

PAR LES HYDROCARBURES

BREST, France - 7 Juin 1978



12 008





**PUBLICATIONS DU
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS
(CNEXO)**

Actes de Colloques n° 6

AMOCO CADIZ

**PREMIERES OBSERVATIONS DES CONSEQUENCES
A COURT TERME DE LA POLLUTION PAR HYDROCARBURES
SUR L'ENVIRONNEMENT MARIN**

JOURNEE SPECIALE AMOCO CADIZ,
BREST, FRANCE - 7 JUIN 1978.

AMOCO CADIZ

**PRELIMINARY OBSERVATIONS OF THE OIL SPILL IMPACT
ON THE MARINE ENVIRONNEMENT**

ONE DAY SESSION AMOCO CADIZ,
BREST, FRANCE - JUNE 7, 1978.

préparé par

Gérard CONAN, Laurent D'OZOUVILLE, Michel MARCHAND

**CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE
Boite Postale 337
29273 BREST CEDEX**

TABLE DES MATIERES

LAUBIER, L. Avant-Propos.	5
BERNE, S., R. BROSSIER, A. FONTANEL, L. D'OZOUVILLE, J. SERRIERE et A. WADSWORTH. Télédétection des pollutions par hydrocarbures de l'AMOCO CADIZ.	9
MARCHAND, M. Estimation par spectrofluorométrie des concentrations d'hydrocarbures dans l'eau de mer en Manche Occidentale à la suite du nauffrage de l'AMOCO CADIZ, du 30 mars au 18 avril 1978.	27
MOREL, G. et P. COURTOT. Résultats préliminaires de la pollution pétrolière par l'AMOCO CADIZ. Teneurs en hydrocarbures totaux dans les eaux de mer, de la Rade de Brest à la presqu'île du Cotentin (mars-avril 1978).	39
AMINOT, A. et R. KEROUEL. Premiers résultats sur l'hydrologie, l'oxygène dissous et les pigments photosynthétiques en Manche Occidentale après l'échouage de l'AMOCO CADIZ.	51
D'OZOUVILLE, L., E.R. GUNDLACH et M.O. HAYES. Effect of coastal processes on the distribution and persistence of oil spilled by the AMOCO CADIZ . Preliminary conclusions.	69
ALLEN, G., L. D'OZOUVILLE et J. L'YAVANC. Etat de la pollution par les hydrocarbures dans l'Aber Benoit.	97
CHASSE, C. Esquisse d'un bilan écologique provisoire de l'impact de la marée noire de l'AMOCO CADIZ sur le littoral.	115
MONAT, J.Y. Effet du pétrole de l'AMOCO CADIZ sur les oiseaux de mer. Bilan provisoire.	135

MICHEL, P. et A. ABARNOU. AMOCO CADIZ : informations sur la contamination des espèces exploitées.	143
BERGERARD, J. Observations préliminaires recueillies dans l'exécution des programmes entrepris par la Station Biologique de Roscoff.	151
VANDERMEULEN, J.H., D.E. BUCKLEY, E.M. LEVY, B. LONG, P. Mc LAREN et P.G. WELLS. Immediate impact of AMOCO CADIZ environmental oiling : oil behavior and burial, and biological aspects.	159
HYLAND, J.L. Onshore survey of macrobenthos along the Brittany coast following the AMOCO CADIZ oil spill.	175
SAMAIN, J.F., J. LE FEVRE, J. MOAL, J.Y. DANIEL et J. BOUCHER. Evolution de la biomasse et de la physiologie du zooplancton sur la côte nord de Bretagne en relation après l'échouage de l'AMOCO CADIZ : résultats préliminaires pour la période du 16 mars au 20 mai 1978.	193
HENDRIKSON, P., H.J. HIRCHE et H. JUNGHANS. Preliminary results from POLMAR III (April 13-18, 1978) (SUROIT III) ATP, primary production and respiration rates in seston ; respiration rates in zooplankton.	209
LE ROUX, S. et A. LUCAS. Première série de résultats sur la toxicité du pétrole brut de l'AMOCO CADIZ.	215
LE FEVRE, J. Présentation photographique de quelques aspects de l'échouage de l'AMOCO CADIZ.	227

AVANT - PROPOS

Dans la nuit du 16 au 17 Mars 1978, entre 21 et 22 heures G.M.T., le super pétrolier libérien "AMOCO CADIZ" s'est échoué sur les côtes du Nord Finistère, à 1,5 mille, au large de Portsall. L'"AMOCO CADIZ" transportait une cargaison de 223.130 tonnes, composée de deux types de pétrole brut léger, en provenance d'Iran et d'Arabie. La teneur de ces bruts en hydrocarbures aromatiques est relativement élevée, entre 30 et 35 % selon l'origine du pétrole. A la suite de l'échouement, le navire s'est progressivement ouvert au niveau du château arrière. La quasi totalité de la cargaison a été libérée en mer en moins de deux semaines.

Dès le Vendredi 17 Mars, les premières observations sur le développement de la pollution en mer et les modalités et les conséquences de l'arrivée des premières nappes de pétrole étaient entreprises par diverses équipes de recherche appartenant à l'Université de Bretagne Occidentale, à la Station Biologique de Roscoff (Université Pierre et Marie Curie - Paris VI), à l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, à l'Institut Français du Pétrole, à l'Institut Géographique National et au Centre Océanologique de Bretagne (Centre National pour l'Exploitation des Océans). Très tôt, des équipes scientifiques étrangères vinrent apporter leur concours : celles de la National Oceanic and Atmospheric Administration et de l'Environmental Agency pour les Etats-Unis, celle de Bedford Institute of Oceanography pour le Canada, etc ...

L'échouement de l'"AMOCO CADIZ", par rapport aux nombreux accidents du même type enregistrés à l'échelle mondiale, présente les caractéristiques suivantes :

- L'emplacement du naufrage est très proche de la côte.
- La cargaison transportée s'est répandue dans le milieu marin très rapidement.
- La quantité totale de pétrole brut rejetée en mer surpasse largement les records mondiaux enregistrés en matière de pollution par hydrocarbures.
- Les deux pétroles bruts transportés ont une teneur assez forte en hydrocarbures aromatiques à toxicité élevée.
- La direction générale des vents durant les quinze premiers jours suivant le naufrage a été d'Ouest, comme il est habituel en cette saison.

L'ensemble des observations scientifiques réalisées tant à la côte qu'en mer représentait dès le premier mois après l'accident une quantité importante d'informations et de données qu'il convenait de recueillir. La décision de tenir au Centre Océanologique de Bretagne la réunion annuelle du groupe de Travail du Conseil International pour l'Exploration de la Mer consacrée à l'étude des hydrocarbures dans le milieu marin, a fourni l'occasion recherchée : en dehors de la session ordinaire du groupe, qui s'est déroulée les 8 et 9 Juin 1978, une séance extraordinaire consacrée à l'exposé des résultats préliminaires obtenus par les diverses équipes scientifiques a eu lieu le 7 Juin 1978. Le présent volume regroupe sous forme d'une quinzaine de textes les 19 communications orales présentées au cours de cette journée. Encore préliminaires, ces résultats seront progressivement complétés et approfondis dans le cadre du programme général d'étude d'impact écologique sur la flore et la faune marines décidé par le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, programme dont la coordination et la gestion ont été confiées au Centre National pour l'Exploitation des Océans. Tels qu'ils sont, ces résultats préliminaires ne représentent qu'une étape dans l'évaluation des conséquences sur le milieu marin d'une catastrophe écologique d'une ampleur sans précédent : il était certainement très utile d'en fixer l'image générale. C'est le but que s'est fixé le CNEXO en éditant le présent fascicule.

Lucien LAUBIER
Directeur du C.O.B.

PREFACE

During the night of March 16 to March 17, 1978, between 21.00 and 22.00 hours G.M.T., the super-tanker "AMOCO CADIZ" of the Liberian merchant navy, was grounded on the coasts of Northern Finistere (Brittany) at 1,5 nautic miles off Portsall. The "Amoco Cadiz" was carrying a cargo of 223,130 metric tons of crude Iranian and Arabian light oils. The aromatic hydrocarbon content of these crude oils is quite high, averaging 30 to 35 % depending on their origin. After the grounding, the ship broke apart towards its stern. Almost all of the cargo was spilled at sea within the next fortnight.

As soon as Friday March 17, preliminary observations were made on the extent of the pollution at sea and on the spreading mechanism and direct impact of the oil patches. This survey was achieved by several research teams from the University of Occidental Brittany, the Biological Station of Roscoff (Pierre and Marie Curie University - Paris VI), the Scientific and Technical Institute of Marine Fisheries, the French Institute of Petroleum, the National Geographic Institute of France and the Oceanographic Center of Brittany (National Center for Exploitation of the Oceans). Very soon, foreign scientific teams brought their support, among these teams should be especially mentioned those of the National Oceanic and Atmospheric Administration (USA), of the Environmental Protection Agency (USA) and of the Bedford Institute of Oceanography (Canada).

The "AMOCO CADIZ" grounding when compared with the numerous similar casualties recorded world wide, has the following characteristics :

- The wreckage occurred very close to the shore.
- The cargo was spilled within a very short time lapse.
- The total amount of crude oil spilled at sea was considerably higher than in all previous events.
- The two types of crude oil in the cargo had a fairly high aromatic hydrocarbon content.
- Westerly winds prevailed during the first fortnight after the wreckage. This is the usual situation during the season at which occurred the wreckage.

The bulk of the scientific observations collected on the shore and at sea during the first month posterior to the wreckage already consisted in an important amount of data. The decision made to hold at the Oceanography Center of Brittany the annual meeting of the working group on hydrocarbon pollution in the marine environment of the International Commission for the Exploration of the Sea provided an opportunity for exchanging observations. Apart from the ordinary meeting of the group, which was held from June 8 to June 9 1978, an extraordinary session was held on June 7 for the presentation of preliminary results obtained by the various scientific teams working in the field. The present report summarizes the 19 communications presented during the extraordinary session. These results are still preliminary and will be progressively implemented during the ecological survey program of the pollution on the marine flora and fauna which has now been initiated by the French Ministry of Environment. This coordination and management of this general research program have been taken in charge by the National Center for the Exploitation of the Oceans. In their original form, these preliminary results only represents the first stage of an assessment of the consequences on the marine environment of one of the greatest ecological disasters in marine history. It was most necessary to record the drastic consequences of this event and this was the aim of the CNEXO while editing the present volume.

TELEDETECTION DES POLLUTIONS PAR HYDROCARBURES
DE L'"AMOCO CADIZ"

par

S. BERNE *, R. BROSSIER ****, A. FONTANEL **

L. D'OZOUVILLE *, J. SERRIERE ****, A. WADSWORTH **.

* Centre Océanologique de Bretagne, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX

** Institut Français du Pétrole. Division Géophysique

**** Institut Géographique National. Téléinterprétation

R E S U M E

Une présentation est faite de la chronologie des interventions de télédétection réalisées par le CNEOX, l'IFP et l'IGN et des moyens mis en oeuvre. Quelques phénomènes couramment observés le long de la côte sont détaillés. A partir de l'exemple type de la zone de Roscoff, on présente l'interprétation, réalisée à l'aide des différents enregistrements. Cette méthode a été généralisée afin d'obtenir une cartographie de la pollution de la mer et des côtes à différentes dates, entre le 18 mars et le 26 mai 1978. Deux des cartes ainsi réalisées, pour les journées du 18 et du 21 mars 1978, sont fournies en annexe.

A B S T R A C T

At first, the chronology of remote sensing flights organized by CNEOX, IFP and IGN is summarized. Secondly, examples of the most commonly observed phenomena along the coastline are presented. An interpretation of the various data collected is given for the area of Roscoff, taken as a model. This interpretation is extended to draw a serie of maps of sea and coastline pollution for several days between March 18 to May 26, 1978. The maps for the 18th and 21st of March are enclosed.

M O T S - C L E S : Télédétection, marée noire, cartographie.

K E Y W O R D S : Remote sensing, oil spill, cartography.

1. CHRONOLOGIE ET MOYENS DE L'INTERVENTION

La Marine Marchande française a récemment adopté, pour la détection des débalastages frauduleux en mer, un système comprenant un avion léger équipé d'un radiomètre SAT à balayage dans l'infrarouge thermique et d'une caméra Hasselblad.

A l'occasion de la catastrophe de l'AMOCO CADIZ, il s'est avéré nécessaire d'avoir un avion équipé de capteurs similaires, mais capable de survoler la zone atteinte pendant de nombreuses heures et pouvant embarquer, outre l'équipage, plusieurs spécialistes scientifiques.

Ainsi, dès le lendemain de la catastrophe, le CNEXO, l'I.F.P. et l'I.G.N. se sont associés pour la première mission de télédétection, afin de suivre l'évolution et le déplacement des pollutions à la côte et en mer.

Ces résultats sont indispensables pour diriger avec efficacité les opérations de lutte contre la marée noire, le traitement des nappes en mer, la protection des sites aquacoles et touristiques, le nettoyage des côtes. Par la suite, au vu des résultats, la Marine Nationale, dans le cadre du plan Polmar, a demandé la mise à sa disposition de l'avion équipé et des spécialistes des trois organismes.



Fig. 1 - Thermographie
18.3.78 14h10 Axe A
Région de Porspoder
Dérive vers le nord-est des écoulements
initiaux, le vent étant passé du nord
au sud-ouest.
Echelle : environ 1/30 000.



A bord de l'avion étaient montés un capteur à balayage Daedalus, enregistrant les radiations de l'infrarouge thermique et deux caméras de prises de vues aériennes de format 24 x 24 cm et de focale 152 mm, munies l'une d'un film infrarouge, l'autre d'un film couleur.

Du 18 mars au 7 avril, l'avion de l'I.G.N. a effectué 10 journées de vols, qui ont produit des enregistrements infrarouges thermiques sur 1 352 Km, 1 598 clichés noirs et blancs infrarouges et 422 clichés couleur. A partir du 8 avril, l'avion est resté en alerte pour une nouvelle intervention, si celle-ci s'avérait nécessaire. Un nouveau vol photographique a eu lieu le 26 mai, pour évaluer l'évolution de l'ensemble du phénomène.

L'organisation des vols répondait à une triple mission :

1. La reconnaissance à vue, faite le plus souvent à une altitude de 1 500 à 2 000 pieds, imposée par des conditions météorologiques peu favorables, effectuée généralement selon des axes nord-sud. Les résultats de cette observation étaient transmis par radio au P.C. Polmar et aux navires de traitement des nappes.
2. Dès la détection visuelle du pétrole, la mise en fonctionnement du capteur infrarouge thermique et de la chambre photographique, en vue de recueillir des informations plus fines ; la visualisation dans l'avion, sur papier ultraviolet, des enregistrements thermiques ; l'interprétation et la transmission radio des conclusions de cette étude.



*Fig. 2 - Thermographie
18.3.78 14h10 Axe B
Aspect des pollutions épaisses, en noir, avec leur dérive vers l'est sous l'action du vent et des courants. L'épave est en bas de l'image, en noir.
Les zones de gris clair à blanc sont moyennement atteintes.
Echelle : environ 1/25 000.*



↑
Nord

*Fig. 3 - Thermographie 21.3.78 13h20 Axe 4
Aspect des nappes à la côte :
accumulations importantes sur les portions
de côtes exposées au nord-ouest, en noir
sur l'image : Santec. Echelle:environ 1/25 000.*

Ces deux premières missions répondaient aux besoins immédiats des responsables du plan Polmar. Au retour de l'avion, les informations obtenues en vol étaient interprétées, synthétisées et les résultats présentés sous la forme d'un rapport quotidien et de thèmes cartographiques.

3. Pendant les vols, en fonction des données obtenues à vue et par télédétection, l'équipe embarquée prenait l'initiative d'ajouter au plan de vol préétabli des axes de vol supplémentaires, de façon à approfondir l'étude des zones particulièrement sensibles en mer et sur les côtes.

On trouvera en annexe deux cartes de la pollution des mers et des côtes, réalisées d'après les photographies infrarouge des vols du 18 et 21 mars 1978. Ce type d'interprétation sera complété grâce aux thermographies et aux observations visuelles recueillies à bord. Les autres vols seront dépouillés de la même façon afin d'obtenir une représentation chronologique et exhaustive de la pollution.



↑
Nord

*Fig. 4 - Thermographie 21.3.78 15h00 Axe 16
Mouvements des nappes épaisses, en noir, aux
alentours de l'épave ; la pollution moyenne
est en blanc, les épaisseurs inférieures à une
dizaine de microns sont en gris. Echelle : environ 1/25 000.*

2. EXEMPLES DE PHENOMENES LES PLUS COURAMMENT OBSERVES A LA COTE

Le dépôt des hydrocarbures à la côte est contrôlé par la combinaison de deux types de paramètres :

- . les conditions physiques (vents et courants) régnant dans le secteur considéré ;
- . les caractéristiques géomorphologiques de la côte.

L'intensité et la variabilité des vents et courants, associées au tracé extrêmement découpé de la côte bretonne, expliquent le caractère souvent local des pollutions observées et leur déplacement dans le temps. Les missions de télédétection ont permis de mettre en évidence de tels phénomènes.

2.1. Piégeage des hydrocarbures et protection des côtes sous le vent

La côte bretonne présente de nombreuses baies crénelées propices au piégeage d'hydrocarbures. Dans le coin supérieur gauche, l'orientation des traînées irisées (plus claires que l'eau propre) indique la direction du vent qui souffle du nord-ouest. A proximité de la côte, le pétrole est piégé par la baie et s'accumule en une frange épaisse parallèle au rivage. Sur la plage, d'importants dépôts apparaissent (en noir), parcourus par des traînées plus propres (claires) provoquées par le ruissellement de l'eau contenue dans le sable. Par contre, la plage orientée à l'est (à droite de la photo) ne présente aucune trace de pollution.



Fig. 5 - 21.3.78 Infrarouge noir et blanc.
Pointe des Jacobins, à l'ouest de Roscoff.
Echelle : environ 1/6000

2.2. Autonettoyage et pollution de nouveaux sites

*Fig. 6 - 28.3.78
Infrarouge noir et blanc.
Pointe de Trolouch, nord de
Plouguerneau.
Echelle : environ 1/2800*

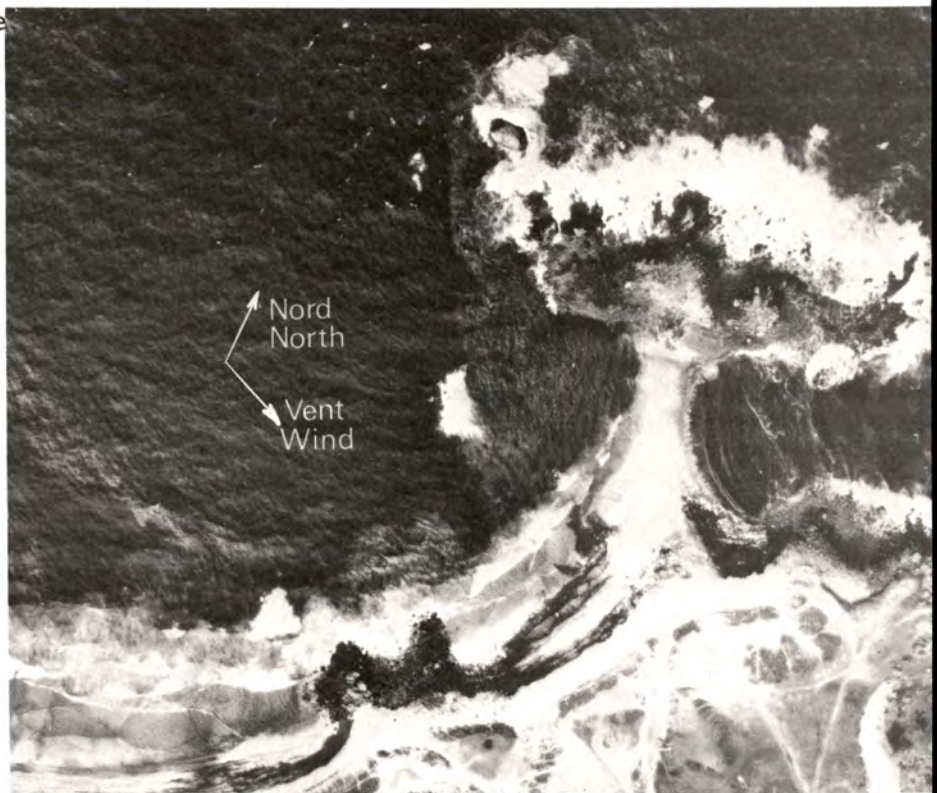
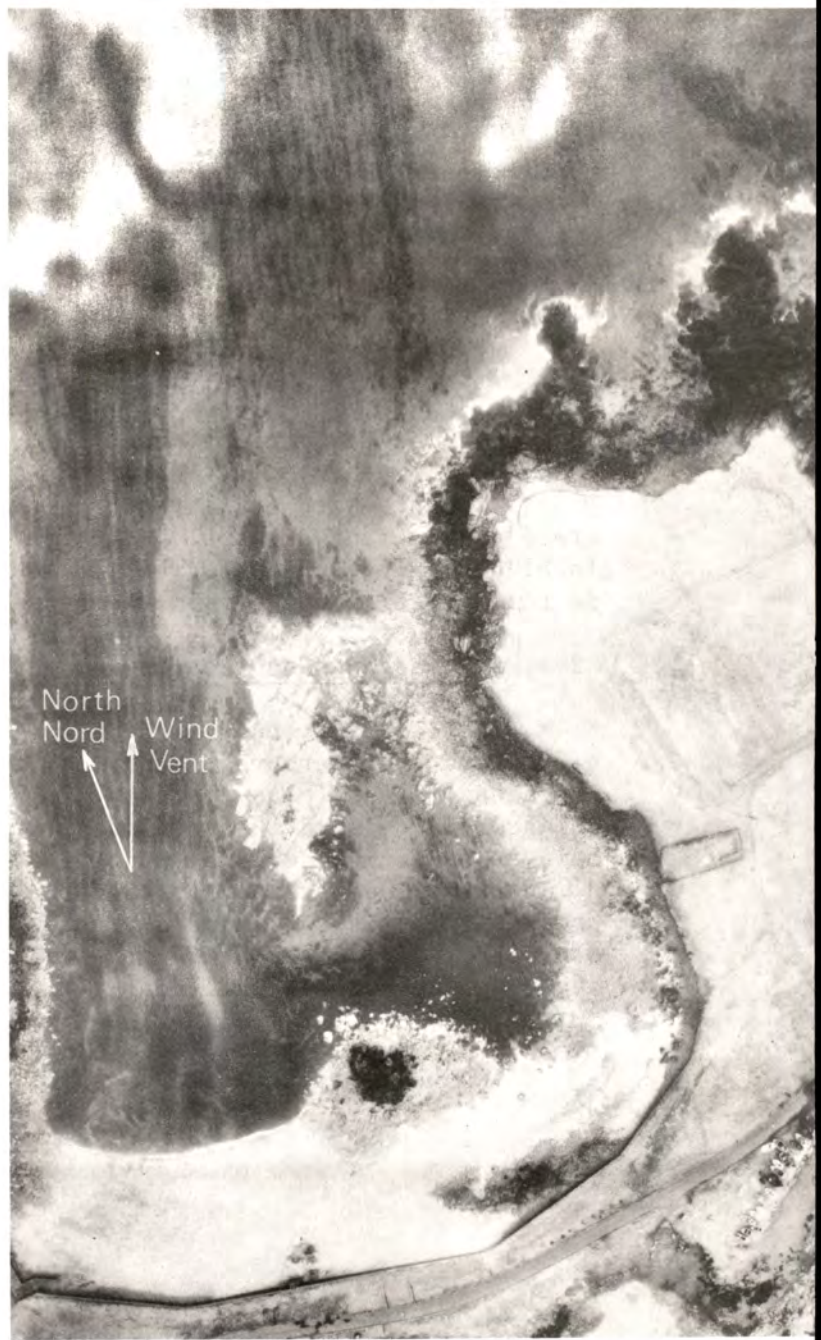
Longtemps après l'échouement de l'Amoco Cadiz, de nouveaux sites furent brusquement pollués, alors qu'aucune nappe provenant du navire n'était repérée. Ce phénomène peut s'expliquer par le changement de direction du vent qui, s'il est assez fort, décolle des nappes de la côte.

Ainsi le 28 mars, souffle un fort vent de sud-ouest (11 m/sec.), favorisant le décollement des nappes du rivage nord de la presqu'île de Trolouch ; ces nappes (de teinte plus claire que l'eau) vont polluer de nouvelles côtes en dérivant vers le nord-est.

2.3. "Effet Tombolo"

*Fig. 7 - 21.3.78
Infrarouge noir et blanc.
Pointe de An Amied : Nord
Est de Plouescat.
Echelle : environ 1/6000*

Un tombolo est formé par le déplacement longitudinal du sédiment le long d'une plage et le développement d'un cordon rejoignant progressivement un îlot. Les mêmes phénomènes guident également le dépôt des hydrocarbures. Cette photographie montre l'accumulation de pétrole, gris sombre, de part et d'autre de la base du tombolo, alors que la plage (coin inférieur gauche) est moins touchée : le sable humide non pollué apparaît en gris clair dans l'infrarouge. La mer est propre, à l'exception de légères irisations, plus claires que l'eau, piégées par le tombolo.



3. INTERPRETATION SUR UN EXEMPLE PARTICULIER : LE SITE DE ROSCOFF

Le 21.3.78 à 13h30 (TU+1)

Basse mer à 10h35

Pleine mer à 16h12

La photographie (Fig. 9 et 16) permet de délimiter les masses d'eau polluées en surface par les hydrocarbures et d'estimer la pollution de la côte. Avec la thermographie (Fig. 8), il est possible de localiser les zones d'accumulation de pétrole et de classer les masses d'eau selon l'épaisseur de la couche d'hydrocarbure à la surface de la mer. On distingue ainsi les secteurs de forte épaisseur (supérieure à plusieurs dizaines de micromètres), où le signal énergétique enregistré est fonction de la température de l'hydrocarbure. Pour les zones d'épaisseur moyenne (de une à quelques dizaines de micromètres), le facteur émissivité devient prépondérant, ce qui explique une réponse apparaissant très froide sur les enregistrements, pour ces zones. Dans les régions où l'épaisseur est faible (inférieure à une dizaine de micromètres), l'hydrocarbure devient transparent pour la longueur d'onde utilisée : la thermographie traduit les températures de l'eau de mer. La présence de pétrole en surface peut être cependant décelée par les aspects des photographies couleurs et infrarouges.

Sur le site de Roscoff, on remarque une masse d'eau très polluée placée contre la côte par les courants de flot et le vent, et envahissant toute la partie est du port. Vers l'est, cette masse se décolle de la côte, puis s'effiloche vers le sud-est. Plus au large, on constate des zones d'accumulation linéaires orientées NW-SE, influencées par la direction des courants de flot et du vent. La mer apparaît moyennement polluée, voire faiblement à l'abri des îlots, qui jouent le rôle d'étrave dans la propagation des nappes vers le sud-est.

On voit sur cet exemple que la pollution de la côte est largement conditionnée par la morphologie. Ainsi, deux types de piégeage de la nappe apparaissent, d'une part un blocage sur les îlots, provoquant à l'inverse un relâchement de la nappe en zone abritée, d'autre part une accumulation dans les ouvertures exposées à l'action des courants de marée et du vent.



Nord

*Fig. 8
21.3.78 13h20
Axe 4
Thermographie
Echelle :
environ 1/18 000.*



4. ANNEXE : DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES ET PHOTOGRAPHIQUES

4.1. Schéma général des opérations de télédétection

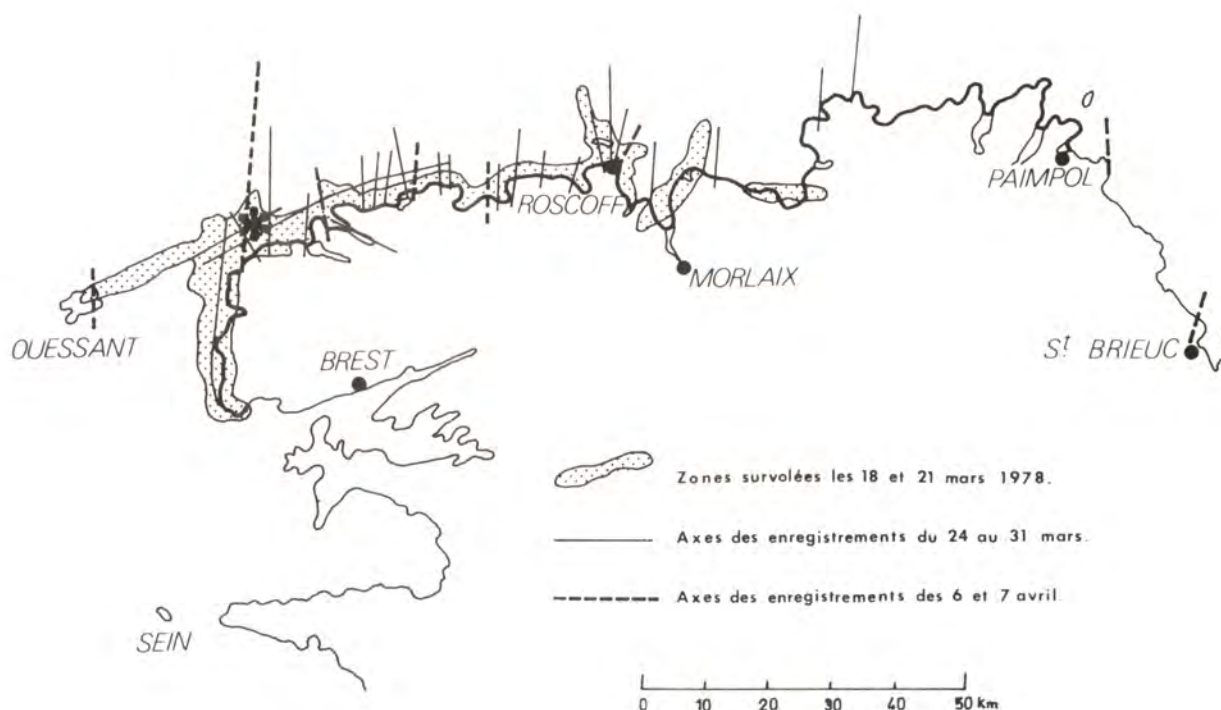


Fig. 11 - Zones survolées au cours des différentes missions.

4.2. Cartographie de la pollution des côtes et de la mer (voir cartes jointes)

4.2.1. 18 mars 1978 - Vol de 11h41 à 12h05 (TU+1) entre le Conquet et l'Aber Wrac'h

La pollution la plus importante est localisée à proximité de l'épave et entre celle-ci et la côte. Le littoral apparaît très atteint entre Porspoder et Portsall. Vers le sud, l'extension maximale des nappes est de 30 kilomètres à partir de l'épave ; elles atteignent le Conquet, après avoir dérivé la veille sous l'effet des vents de secteur nord. Les vents ayant brusquement tourné au sud-ouest, la pollution commence à remonter vers le nord, épargnant ainsi la Rade de Brest. On peut remarquer que la nappe n'est pas encore fragmentée.

Signalons, également, à 30 km au nord de l'épave, deux traces localisées d'hydrocarbures orientées est-ouest, correspondant probablement à un dégazage.

4.2.2. 21 mars 1978 - Vol de 13h14 à 15h38 (TU+1)
entre le Conquet et St-Michel-en-Grève

La zone entre le Conquet et l'épave est largement dégagée par les vents de secteur ouest, qui ont provoqué une dérive générale vers l'est, la nappe atteignant Locquirec.

A la côte, de fortes accumulations apparaissent principalement entre Portsall et l'Aber-Wrac'h, dans la région de Plouguerneau et entre Santec et Roscoff.

La nappe présente maintenant des discontinuités dans son étendue, au moins au voisinage de la côte.

4.3 Documents photographiques en couleur

Figure 12 - Epave de l'AMOCO CADIZ - 18 mars 1978

Figure 13 - Accumulation de "mousse" dans la baie de Portsall et sur la côte de Tremazan le 18 mars 1978.

Figure 14 - Arrivée d'une nappe au Conquet (Pointe de Kermorvan) le 18 mars 1978.

Figure 15 - Pointe des Jacobins (à l'ouest de Roscoff) le 21 mars 1978.

Figure 16 - Importante accumulation de pétrole dans le port de Roscoff le 21 mars 1978.

Figure 17 - Arrivée du pétrole en baie de l'Aber (Santec). La partie orientale (à droite de la photo) présente des hydrocarbures déposés à la marée haute précédente. 21 mars 1978.

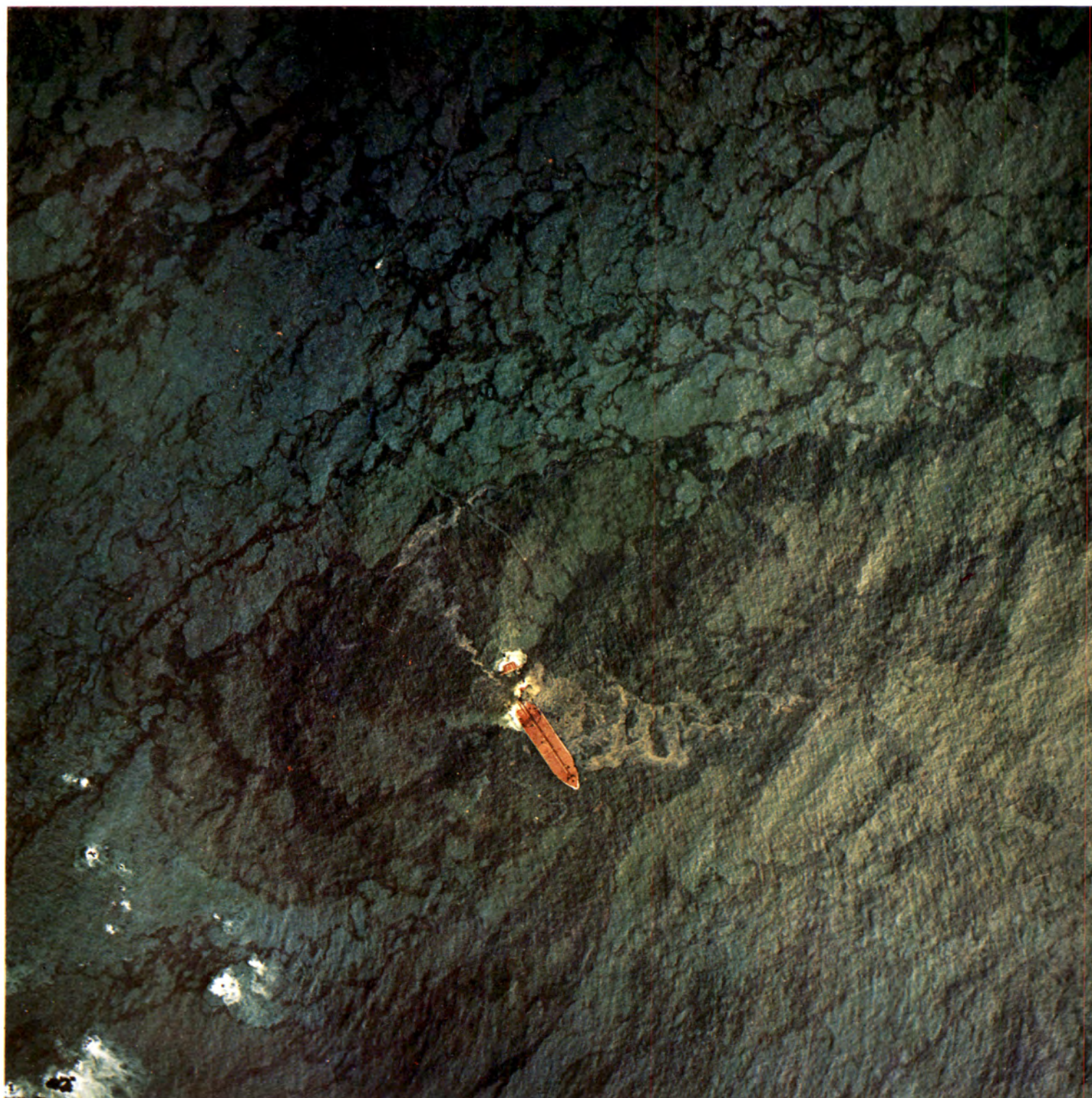


Figure 12 — Epave de l'AMOCO CADIZ - 18 mars 1978.



Figure 13 — Accumulation de « mousse » dans la baie de Portsall et sur la côte de Tremazan le 18 mars 1978.

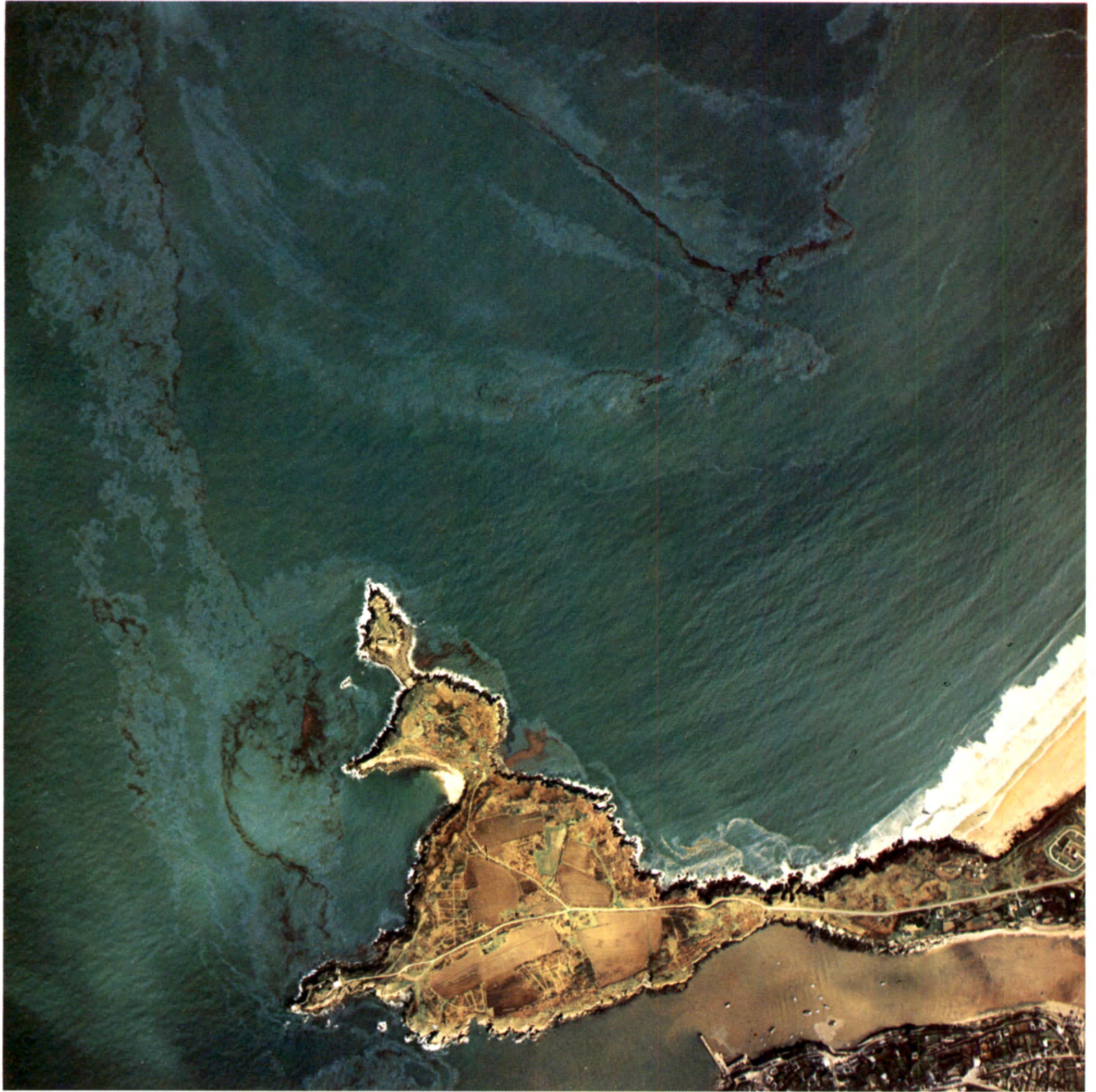


Figure 14 — Arrivée d'une nappe au Conquet (Pointe de Kermorvan) le 18 mars 1978.

11.11.78
11.11.78
11.11.78



Figure 15 — Pointe des Jacobins (à l'ouest de Roscoff) le 21 mars 1978.



Figure 16 — Importante accumulation de pétrole dans le port de Roscoff le 21 mars 1978.

L.S.T.P.M.
Bibliothèque
NANTES

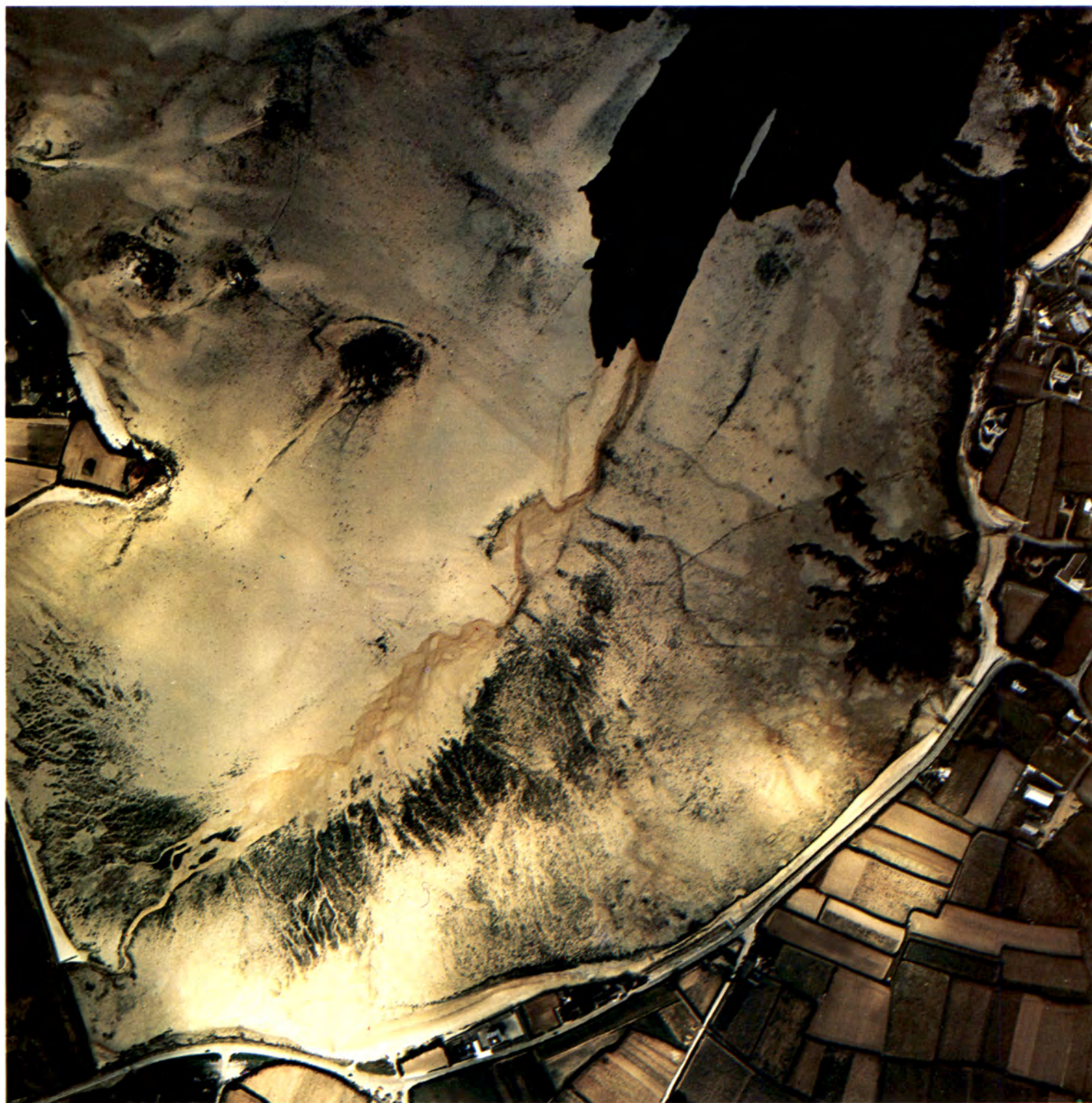
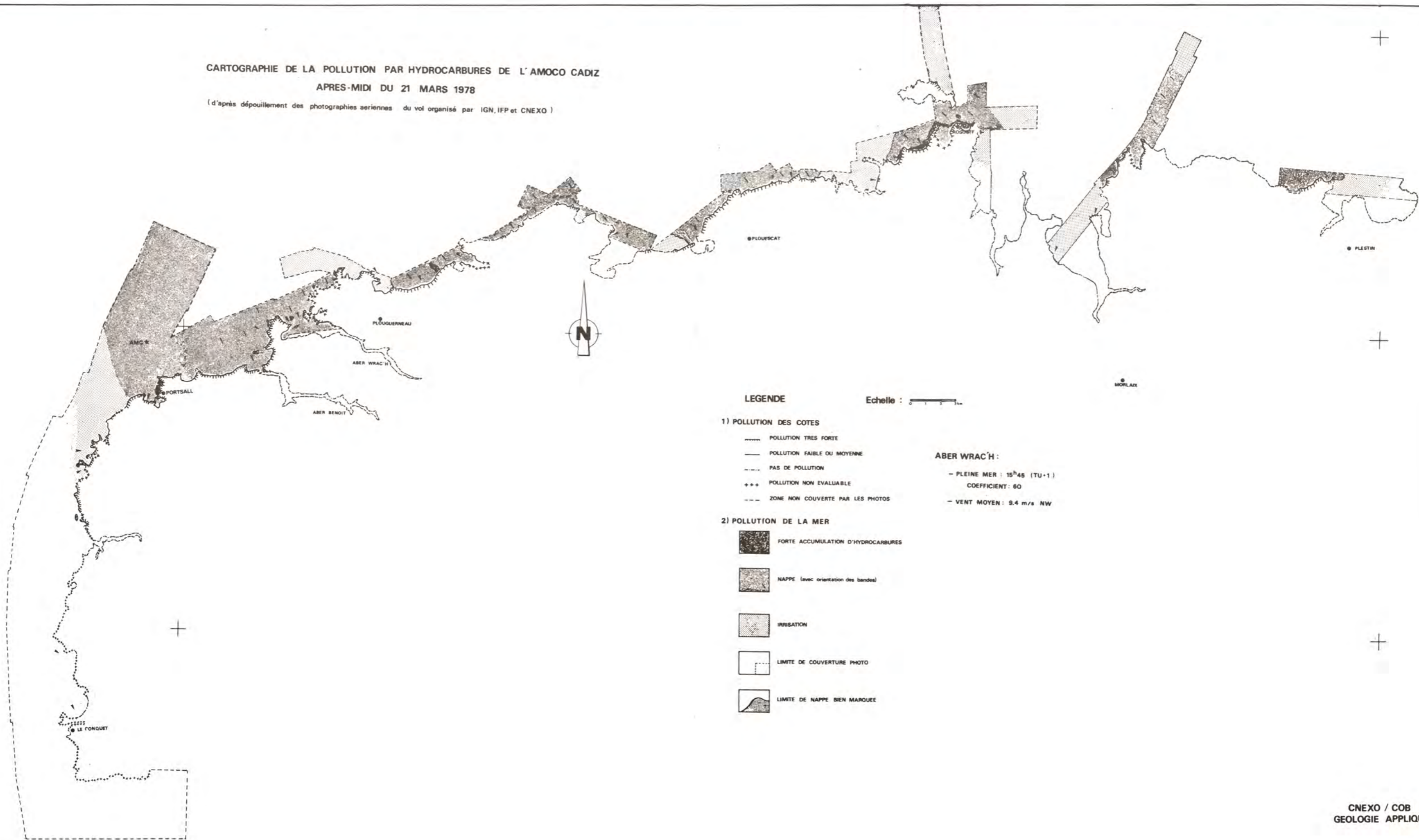


Figure 17 — Arrivée du pétrole en baie de l'Aber (Santec). La partie orientale (à droite de la photo) présente des hydrocarbures déposés à la marée haute précédente. 21 mars 1978.

CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION PAR HYDROCARBURES DE L'AMOCO CADIZ
 APRES-MIDI DU 21 MARS 1978

(d'après dépouillement des photographies aériennes du vol organisé par IGN, IFP et CNEXO)



LEGENDE

Echelle : 0 1 2 3 4 km

1) POLLUTION DES COTES

- POLLUTION TRES FORTE
- POLLUTION FAIBLE OU MOYENNE
- PAS DE POLLUTION
- +++ POLLUTION NON EVALUABLE
- ZONE NON COUVERTE PAR LES PHOTOS

ABER WRAC'H :

- PLEINE MER : 15^h45 (TU+1)
- COEFFICIENT : 60
- VENT MOYEN : 9,4 m/s NW

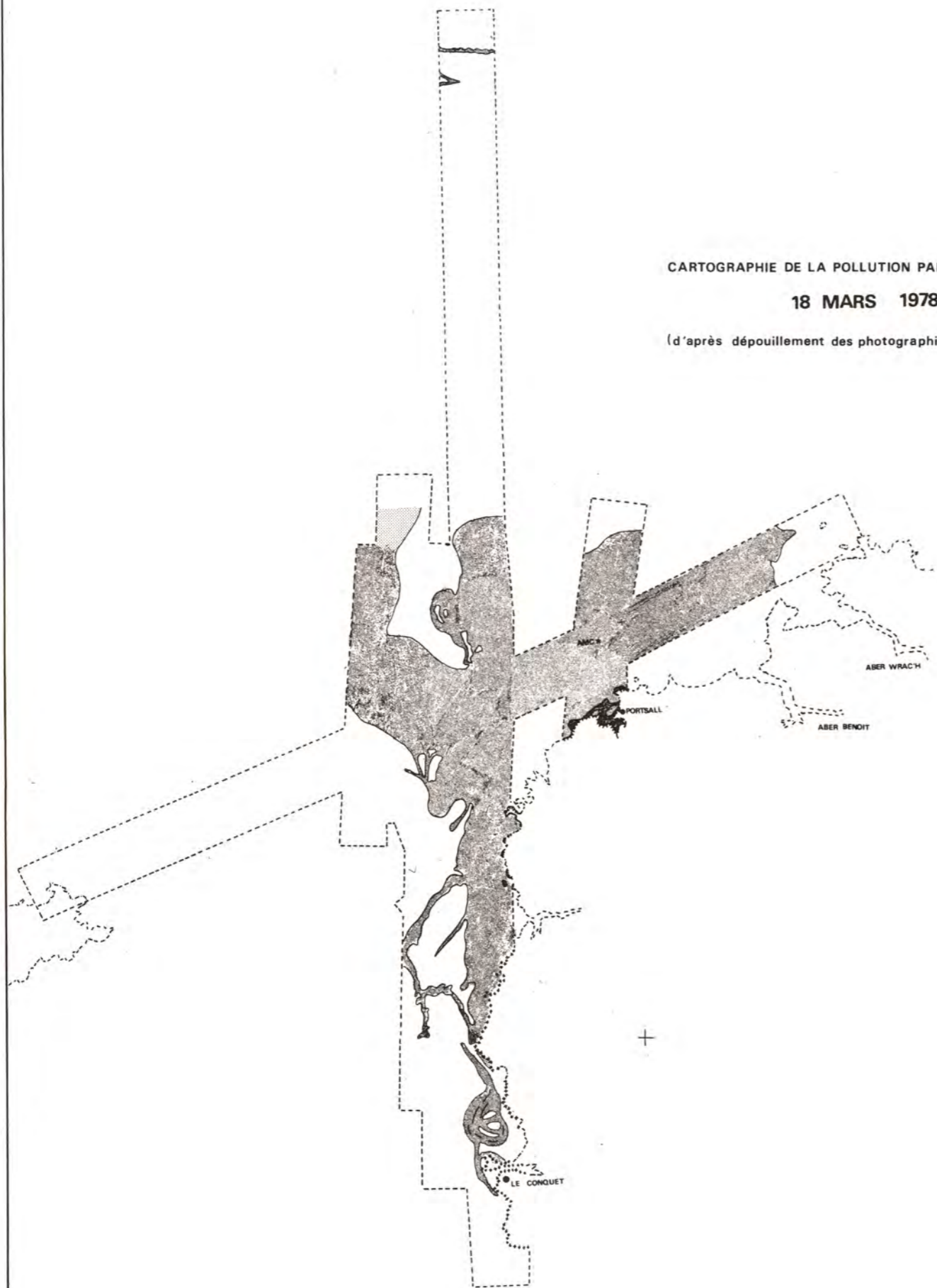
2) POLLUTION DE LA MER

- FORTE ACCUMULATION D'HYDROCARBURES
- NAPPE (avec orientation des bandes)
- IRRIGATION
- LIMITE DE COUVERTURE PHOTO
- LIMITE DE NAPPE BIEN MARQUEE

CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION PAR HYDROCARBURES DE L'AMOCO CADIZ

18 MARS 1978 (12 h)

(d'après dépouillement des photographies aériennes des vols organisés par IGN, IFP, CNEXO)



LEGENDE :

Echelle :

1) POLLUTION DES COTES :



- POLLUTION TRÈS FORTE
 - POLLUTION FAIBLE OU MOYENNE
 - - - PAS DE POLLUTION
 - + + + POLLUTION NON ÉVALUABLE
 - - - ZONE NON COUVERTE PAR LES PHOTOS
- ABER WRACH :**
- PLEINE MER : 12^h25 (TU+1)
 - COEFFICIENT : 32
 - VENT MOYEN : 4 m/s SW

2) POLLUTION DE LA MER :

- FORTE ACCUMULATION D'HYDROCARBURES
- NAPPE (avec orientation des bandes)
- IRRADIATION
- LIMITE DE COUVERTURE PHOTO
- LIMITE DE NAPPE BIEN MARQUÉE

ESTIMATION PAR SPECTROFLUOMETRIE
DES CONCENTRATIONS D'HYDROCARBURES
DANS L'EAU DE MER EN MANCHE OCCIDENTALE
A LA SUITE DU NAUFRAGE DE L'AMOCO CADIZ"
DU 30 MARS AU 18 AVRIL 1978

par

M. MARCHAND

Centre Océanologique de Bretagne
B.P. 337
29273 BREST CEDEX (FRANCE)

R E S U M E

La pollution pétrolière résultant de l'échouage du pétrolier "AMOCO CADIZ" sur la côte bretonne du Finistère nord, le 16 mars 1978, a affecté un très large secteur de la Manche Occidentale limité, pour la période comprise entre le 30 mars et le 18 avril, à l'ouest par le méridien 5°W, à l'est par la baie de St-Brieuc comprise, et au nord par le parallèle 49°20'. Les teneurs d'hydrocarbures observées dans l'eau de mer à différentes profondeurs montrent que l'ensemble de la colonne d'eau est contaminée par les hydrocarbures et présagent vraisemblablement de la pollution de la phase sédimentaire dans les secteurs touchés par la dérive des nappes.

A B S T R A C T

The oil pollution resulting from the "AMOCO CADIZ" tanker spill on the Brittany coast of North Finistère has affected a very large section of the western Channel, limited for the period covering March 30 to April 18 to the west by the 5°W meridian, to the east by the St-Brieuc Bay, to the north by the 49°20' parallel. The contents of hydrocarbons observed in sea water at different levels show that the whole of water column is contaminated by hydrocarbons and indicate very probably the pollution of the sedimentary phase in the areas hit by the drifting sheets.

M O T S - C L E S : Amoco Cadiz, Hydrocarbures, eau de mer, spectrofluorométrie, Manche.

K E Y W O R D S : Amoco Cadiz, sea-water, spectrofluorometry, English Channel.

INTRODUCTION

Dans la nuit du 16 au 17 mars 1978, le pétrolier libérien "AMOCO CADIZ", transportant 223 000 tonnes de pétrole brut, mélange d' "Arabian Light" (100 000 tonnes) et d' "Iranian Light" (123 000 tonnes), faisait naufrage sur les hauts fonds rocheux, près de Portsall (Finistère nord), à moins de deux milles de la côte. Cet échouage occasionnait la plus gigantesque marée noire jamais enregistrée à l'heure actuelle. L'écoulement du pétrole s'est poursuivi pratiquement sans interruption du 17 au 30 mars, date à laquelle les autorités décidaient le pétardage du navire pour libérer définitivement le reste de brut encore présent dans les cuves et procéder ainsi aux opérations de nettoyage des côtes.

Durant cette période, le régime des vents de W. à N.W., combiné au régime général hydrodynamique (courants de marée), provoquait une large dérive côtière des nappes d'hydrocarbures vers l'est, les nappes atteignant successivement l'Aber Wrach (19 mars), Roscoff (20 mars), la baie de Lannion (21 mars), les Sept Iles (22 mars), le Sillon de Talbert (23 mars). Au total, 200 km de côtes étaient pollués, de Porspoder (10 km à l'ouest de Portsall) au Sillon de Talbert, limite ouest de la baie de St-Brieuc (Sullivan, 1978).

Trois campagnes, à bord du navire océanographique "LE SUROIT" ont été organisées par le CNEXO, en Manche Occidentale (de Brest aux îles anglo-normandes), du 30 mars au 18 avril pour mesurer, d'une part, l'étendue et l'importance de la pollution pétrolière dans l'eau de mer et la phase sédimentaire et évaluer, d'autre part, l'impact immédiat sur les peuplements benthiques et pélagiques. Une campagne côtière était également réalisée du 15 au 18 avril, à bord du navire océanographique "THALIA" entre l'Aber Benoit et le chenal du Trieux, soit un mois après l'échouage du pétrolier.

Le présent travail est consacré aux premiers résultats concernant la teneur en hydrocarbures dans l'eau de mer prélevée en surface et à différentes profondeurs, durant, successivement, la première campagne du N/O "LE SUROIT" (30 mars - 4 avril) et la campagne "THALIA" (15 - 18 avril).

MATERIEL ET METHODES

Les échantillons d'eau de mer (deux litres) sont prélevés immédiatement sous la surface (1 m de profondeur) à l'aide d'un flacon en verre, logé dans un bati en plomb, et surmonté d'un clapet à ressort commandé par le manipulateur au moment où le flacon est immergé à la profondeur de 1 m (*). Les prélèvements dans la colonne d'eau sont effectués avec des sacs plastiques stériles, adaptés sur un préleveur Niskin (type "Butterfly"). L'ouverture et la fermeture du sac ont lieu à la profondeur de l'échantillonnage. L'analyse comparée de deux échantillons prélevés à la même station par les deux systèmes utilisés ne montre pas de différence caractéristique (cf. tableau II).

(*) Préleveur mis au point par le Laboratoire d'Océanographie Chimique de l'Université de Bretagne Occidentale, Brest.

Immédiatement après le prélèvement, l'échantillon d'eau est extrait par 100 ml de chloroforme et 100 ml d'hexane. Les deux extraits sont mélangés, conservés au congélateur et ramenés au laboratoire. La phase organique est ensuite concentrée à l'évaporateur rotatif jusqu'à 5 ml, deshydratée par addition de sulfate de sodium anhydre, concentrée à sec sous jet d'air purifié et ramenée à 5 ml avec de l'hexane.

Les hydrocarbures totaux sont mesurés par spectrofluométrie (appareil TURNER, modèle 430), selon la méthode déjà décrite par LEVY (1971) et KEIZER et GORDON (1973). La longueur d'onde d'excitation est fixée à 310 nm. Le spectre d'émission est pris entre 500 et 320 nm. Le maximum de fluorescence se situe généralement entre 390 et 360 nm, selon les échantillons analysés. Le spectrofluomètre est calibré avec une solution d'hexane préparée à partir d'un résidu de brut (émulsion à 60 % d'eau) (**), ramassé à proximité de l'épave, le 26 mars. Bien que seuls les composés aromatiques soient détectés, les résultats sont exprimés en hydrocarbures totaux par rapport à la solution de calibration. La gamme linéaire de réponse de l'appareil se situe entre 0 et environ 4 µg/ml. Toutefois les concentrations massives ne représentent pas nécessairement les concentrations absolues d'hydrocarbures dans l'eau de mer.

RESULTATS ET DISCUSSION

Nous présentons successivement les résultats des analyses d'hydrocarbures dans les échantillons d'eau de mer prélevés au cours des campagnes "SUROIT" (30 mars - 4 avril) et "THALIA" (15 - 18 avril).

1. CAMPAGNE "SUROIT 1" (30 MARS - 4 AVRIL) EN MANCHE OCCIDENTALE

Au total, 46 stations d'échantillonnage ont été réalisées, du 30 mars au 4 avril, couvrant une zone limitée à l'ouest par Brest-Ouessant, à l'est par St-Brieuc-Guernesey et au nord par le parallèle 49°30' (figure 1).

Dans neuf stations, devant Plouguerneau, au plateau des Triagoz et sur les radiales face à Portsall et Roscoff, des prélèvements d'eau de surface ont été faits de deux à quatre jours d'intervalle.

Sur six stations, des prélèvements d'eau à différentes profondeurs (1 m, 2 m, 5 m, 20 m, fond) ont été effectués pour évaluer la diffusion des hydrocarbures dans la colonne d'eau.

1.1. Eau de surface

Les résultats des analyses d'hydrocarbures totaux dans l'eau de mer de surface (1 m de profondeur), exprimés en µg/l, sont présentés dans le tableau 1. Les valeurs les plus fortes sont observées à Portsall - st. 1- (138 µg/l) et à Roscoff -st. 6- (46,6 µg/l). Les concentrations les plus faibles observées au large et à l'ouest de Portsall (de 0,6 à 1,0 µg/l) sont analogues aux teneurs constatées par d'autres auteurs pour des secteurs non pollués, notamment l'Atlantique nord-ouest (<1 µg/l) (GORDON et al., 1974). Les valeurs significatives, supérieures à 5 µg/l, attestant la présence d'une pollution de l'eau de mer, sont relevées essentiellement dans la zone comprise entre la côte et le 49° parallèle. La décroissance des teneurs d'hydrocarbures de Roscoff (st. 6) à la baie de St-Brieuc (st. 12) semble bien confirmer la dérive côtière est des hydrocarbures dispersés.

L'ensemble des valeurs obtenues montrent que sur la période comprise entre le 30 mars et le 4 avril, la pollution pétrolière dans l'eau de mer couvre un large secteur limité schématiquement à l'ouest par le méridien 5°W, à l'est par la baie de St-Brieuc comprise (où des valeurs significatives sont relevées) et au nord par le parallèle 49°20'.

(**) Echantillon donné par le Dr. CALDER (NOAA).

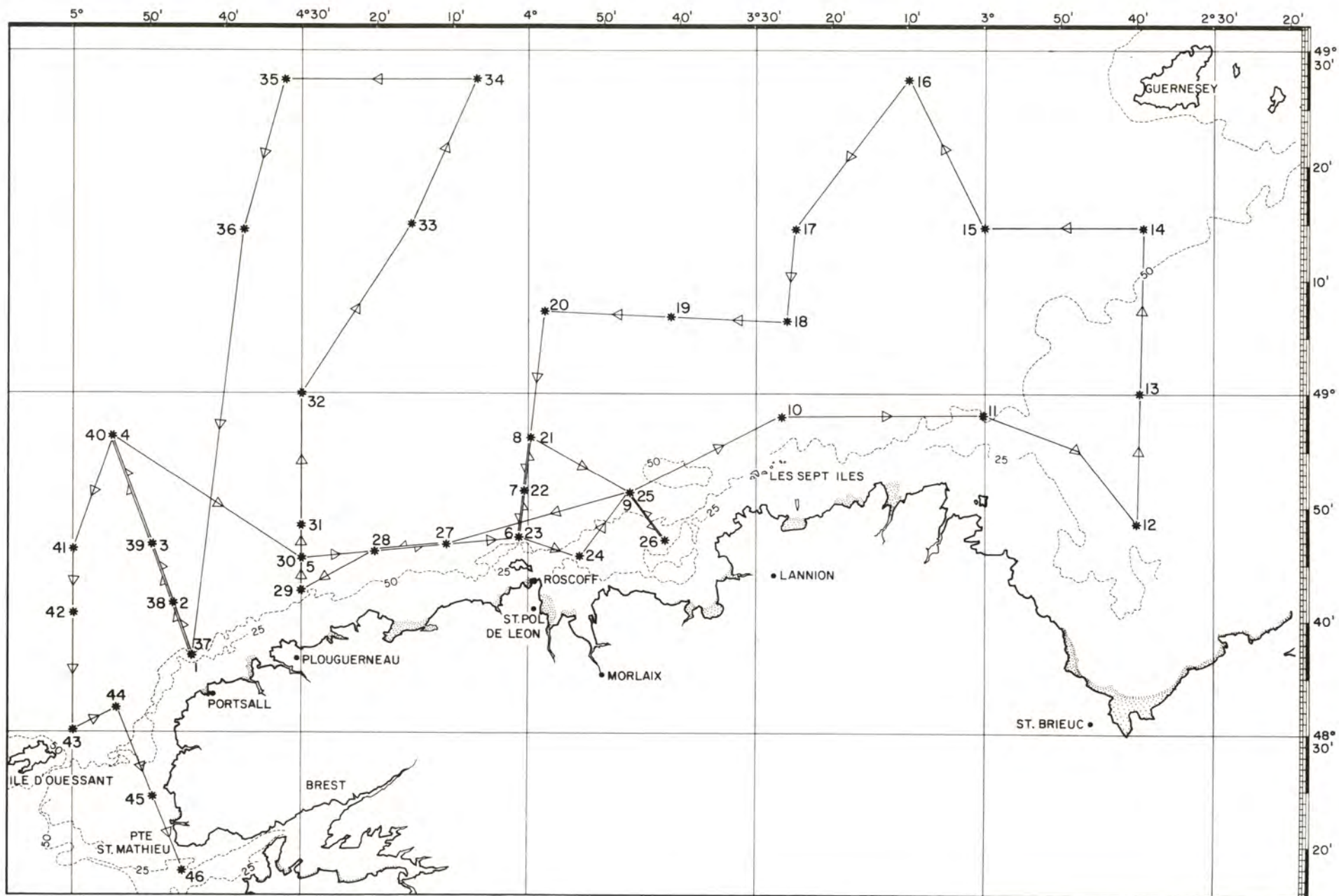


Figure 1. Stations de prélèvement. Campagne "SUROIT 1" (30 mars - 4 avril 1978)

Tableau 1

CONCENTRATION DES HYDROCARBURES TOTAUX ($\mu\text{g/l}$)
 DANS L'EAU DE MER DE SURFACE (1 m DE PROFONDEUR)
 DE LA MANCHE OCCIDENTALE DU 30 MARS AU 4 AVRIL 78

Date	Localisation	N° de station	Position		Sonde (mètres)	Hydrocarbures totaux ($\mu\text{g/l}$)
			LAT (N)	LONG (W)		
30/3	Radiale N.W. face à Portsall	1	48°37'	04°42'5	44	138,0
		2	48°41'1	04°45'6	100	11,7
		3	48°45'6	04°49'2	100	14,3
31/3	Radiale face à Roscoff	4	48°56'	04°54'5	100	5,2
		5	48°44'8	04°30	98	16,6
		6	48°46'6	04°00'7	45	46,4
		7	48°49'2	03°57'7	75	15,6
		8	48°54'	03°58'	80	9,1
		9	48°52'5	03°49'3	75	17,9
1/4	Des "Triagoz" à la baie de St-Brieuc	10	48°57'	03°25'8	65	9,1
		11	48°57'9	02°59'6		3,9
		12	48°48'1	02°40'1		2,9
	Radiale face à St-Brieuc	13	49°00'3	02°40'		7,6
		14	49°14'	02°40'2		0,9
		15	49°14'5	03°00'	70	3,6
		16	49°27'4	03°10	70	1,0
2/4	Zone au large	17	49°14'3	03°24'5		0,9
		18	49°06'5	03°25'3	75	2,9
	Radiale face à Roscoff	19	49°07'2	03°40'5	80	2,1
		20	49°07'3	03°57'4		4,3
		21	48°56'2	03°59'5		3,5
		22	48°51'2	04°01'	80	9,4
Baies de Morlaix et de Lannion	23	48°47'2	04°01'1		19,2	
	24	48°45'5	03°52'1		8,8	
	25	48°51'5	03°46'3	70	5,5	
	26	48°46'7	03°42'2	49	12,3	
	27	48°46'3	04°11'4		3,2	
3/4	Radiale face à Plouguerneau	28	48°45'9	04°20'7		6,1
		29	48°42'7	04°30'		26,8
		30	48°45'1	04°30'	90	10,2
		31	48°48'4	04°29'8	90	18,9
		32	49°00'	04°29'8	100	1,8
	Radiale face à Portsall	33	49°15'	04°14'5	94	3,2
		34	49°27'4	04°06'8	90	1,3
		35	49°27'6	04°31'9	90	0,8
		36	49°15'1	04°35'1	90	2,1
		37	48°37'	04°42'5		1,5
4/4	Radiale face à Portsall	38	48°41'5	04°46'5		2,1
		39	48°45'5	04°53'5		2,7
		40	48°56'5	04°55'1		1,7
	Radiale face à Ouessant, Chenal du Four	41	48°46'1	04°59'8	110	non prélevé
		42	48°40'5	05°00'		1,0
		43	48°29'7	05°01'7	85	1,0
		44	48°32'	04°54'	45	0,6
		45	48°24'5	04°48'8		non analysé
		46	48°17'6	04°46'5	32	1,8

1.2. Colonne d'eau

Les concentrations d'hydrocarbures totaux dans les échantillons d'eau de mer prélevés à différentes profondeurs (tableau 2) montrent que l'ensemble de la colonne d'eau est contaminée par les hydrocarbures et présagent vraisemblablement de la pollution de la phase sédimentaire dans les secteurs touchés par la dérive des nappes. La diffusion des hydrocarbures en profondeur est attribuable au mélange dynamique des masses d'eau (régime hydrologique, état de la mer), à la nature du pétrole déversé (brut léger favorisant le phénomène naturel de dissolution), à son évolution physique et chimique (émulsification, précipitation naturelle) et à l'utilisation de produits anti-pétrole (dispersants,...). Ce phénomène de diffusion des hydrocarbures dans la colonne d'eau doit être rapide, car chaque masse d'eau garde une certaine homogénéité verticale dans les teneurs observées d'un site de prélèvement à l'autre.

Tableau 2

HYDROCARBURES TOTAUX ($\mu\text{g/l}$) DANS LA COLONNE D'EAU

Station : 1		Station : 3		Station : 6	
Profondeur (m)	Hydrocarbures ($\mu\text{g/l}$)	Profondeur (m)	Hydrocarbures ($\mu\text{g/l}$)	Profondeur (m)	Hydrocarbures ($\mu\text{g/l}$)
1	138,0 (*)	1	14,3	1	46,4
1	136,1 (**)	2	19,7	2	36,4
5	152,9	5	19,9	5	38,6
20	84,1	20	18,6	20	51,1
44	102,7	100	42,3	40	27,7
Station : 7		Station : 9		Station : 16	
Profondeur (m)	Hydrocarbures ($\mu\text{g/l}$)	Profondeur (m)	Hydrocarbures ($\mu\text{g/l}$)	Profondeur (m)	Hydrocarbures ($\mu\text{g/l}$)
1	15,6	1	17,9	1	1,0
2	9,9	2	8,3	2	0,6
5	12,1	5	13,8	20	1,1
20	16,6	20	19,8		
70	18,3	70	19,6		

1.3. Evolution dans le temps

Le tableau 3 montre l'évolution des concentrations observées, entre deux et quatre jours d'intervalle, sur des échantillons d'eau de surface prélevés sur un même site de prélèvement. Une diminution systématique des teneurs d'hydrocarbures est observée dans les échantillons prélevés début avril (époque à laquelle le brut avait cessé de s'écouler de l'épave) par rapport à ceux prélevés fin mars (pétardage du navire). Cette diminution est très marquée sur les stations de la radiale N.W. face à Portsall, elle est moins importante sur les stations de la radiale face à Roscoff. Cette observation confirme la dérive rapide des hydrocarbures vers l'est, sous un régime de vent W. à N.W..

(*) Prélèveur : flacon de verre

(**) Prélèveur : sac plastique, préleveur Niskin type "Butterfly".

Tableau 3

ANALYSES COMPAREES D'HYDROCARBURES TOTAUX DANS L'EAU DE MER PRELEVEE
SUR UN MEME SITE DE PRELEVEMENT ENTRE 2 ET 4 JOURS D'INTERVALLE

Zone	Station	Date de prélèvement	Hydrocarbures totaux ($\mu\text{g}/\text{l}$)
Radiale N.W. face à Portsall	1	30/3	138,0
	37	3/4	1,5
	2	30/3	11,7
	38	3/4	2,1
	3	30/3	14,3
	39	3/4	2,7
	4	30/3	5,2
	40	3/4	1,7
Radiale N. face à Roscoff	6	31/3	46,4
	23	2/4	19,2
	7	31/3	15,6
	22	2/4	9,4
Plateau des Triagoz	8	31/3	9,1
	21	2/4	3,5
Plateau des Triagoz	9	31/3	17,9
	25	2/4	5,5

2. CAMPAGNE COTIERE "THALIA 1" (15 -18 AVRIL)

Au total 18 stations d'échantillonnage (figure 2.) ont été effectuées entre l'Aber Benoit et le Chenal du Trieux. L'eau de mer était prélevée uniquement sous la surface, à un mètre de profondeur, à l'aide d'une bouteille de prélèvement Van Dorn. Les hydrocarbures ont été mesurés selon le même protocole analytique décrit précédemment.

Les résultats des analyses d'hydrocarbures totaux dans l'eau de mer sont présentés dans le tableau 4.

Les concentrations observées, de 3,0 à 46,9 $\mu\text{g}/\text{l}$, indiquent une contamination plus ou moins importante de l'ensemble des échantillons d'eau de mer analysés.

Les plus fortes teneurs ($>30 \mu\text{g}/\text{l}$) sont relevées dans le secteur de l'Aber Benoit et de l'Aber Wrach.

La persistance de la pollution de l'eau par les hydrocarbures, un mois après l'échouage du pétrolier, est relevée également de façon significative au niveau de Roscoff, dans les baies de Morlaix et de Lannion, ainsi qu'au sud du plateau des Triagoz.

Les plus faibles valeurs ($<5 \mu\text{g}/\text{l}$) observées face à la rivière de Tréguier et dans la rivière du Trieux confirment que l'extension de la pollution côtière est limitée par le Sillon de Talbert.

Il est à noter une augmentation des teneurs d'hydrocarbures totaux dans l'eau en amont de l'Aber Wrach, de la baie de Morlaix et de la rivière de Lannion. Cette observation n'est pas constatée pour la rivière du Trieux où les concentrations mesurées en amont et en aval sont sensiblement analogues (de 3 à 4,6 $\mu\text{g}/\text{l}$).

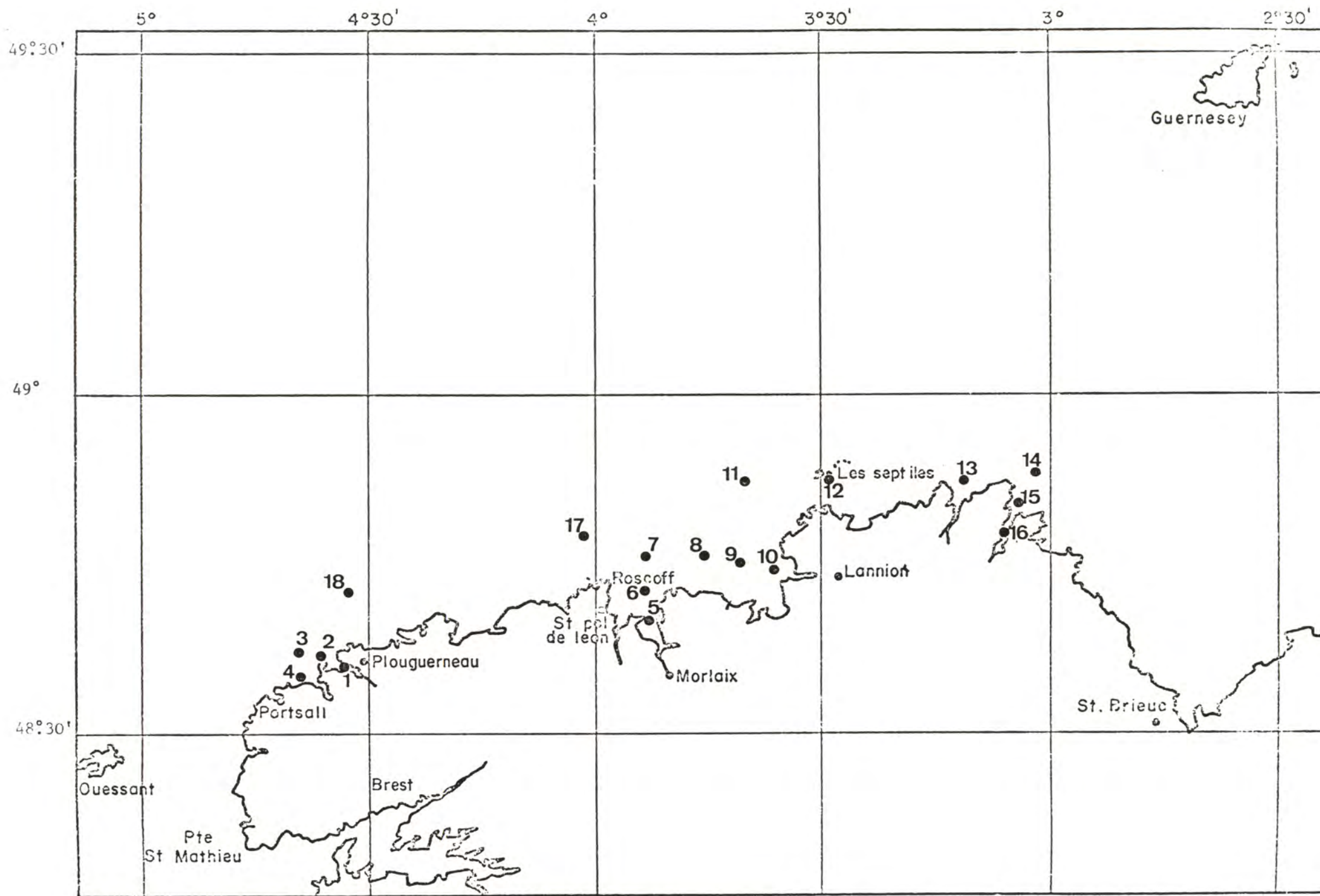


Figure 2. Stations de prélèvement de la campagne "THALIA 1" (15 - 18 avril 78)

Certains secteurs de prélèvements étudiés au cours des campagnes "THALIA" et "SUROIT 1" se regroupent.

Nous avons ainsi quelques éléments comparatifs d'évolution des teneurs d'hydrocarbures totaux sur une période d'une quinzaine de jours, entre le 30 mars et le 18 avril (tableau 5.).

Une très nette diminution des hydrocarbures dans l'eau est observée au niveau de Plouguerneau - île Vierge. Cette diminution est moins accentuée vers Roscoff - île de Batz et non observable en baies de Morlaix et de Lannion.

Tableau 4

CONCENTRATIONS DES HYDROCARBURES TOTAUX ($\mu\text{g/l}$)
DANS L'EAU DE MER DE SURFACE (1 m DE PROFONDEUR)

Date	Localisation	N° de station	Localisation		Hydrocarbures totaux ($\mu\text{g/l}$)
			LAT (N)	LONG (W)	
15/4	Aber Wrach	1	Roche aux Moines		46,9
	"	2	Petit Pot de Beurre		35,9
	"	3	Libenter (entrée du chenal)		31,5
	Aber Benoît	4	Bouée Rusven (entrée du chenal)		41,4
16/4	Baie de Morlaix	5	Banc de Flot		17,4
	"	6			8,7
	"	7			8,5
	Baie de Lannion	8	48°45'2	03°47'0	9,1
17/4	"	9	48°45'3	03°40'3	8,8
	"	10	48°44'4	03°34'5	14,2
	Plateau des Triagoz	11	48°49'8	03°36'9	16,5
	Les Sept Iles	12	48°52'8	03°23'8	6,1
	Rivière de Tréguier	13	48°52'6	03°09'3	5,0
	Rivière du Trieux	14	48°54'3	02°56'5	4,6
18/4	"	15	Chenal du Trieux		3,0
	"	16	Chenal du Trieux		4,0
	Ile de Batz	17	48°48'1	04°00'5	8,4
	Ile Vierge	18	48°41'0	04°37'3	4,6

Tableau 5

EVOLUTION DES TENEURS DES HYDROCARBURES TOTAUX DANS L'EAU DE MER
ENTRE LA FIN MARS ET LA MI-AVRIL
(COMPARAISON AVEC CERTAINES CONCENTRATIONS MESUREES
AU COURS DE LA PREMIERE CAMPAGNE DU N/O "LE SUROIT")

Zone	Campagne	Station	Date de prélèvement	Hydrocarbures totaux (µg/l)
Ile Vierge	SUROIT 1	29	3/4	26,8
Plouguerneau	THALIA	18	18/4	4,6
Ile de Batz	SUROIT 1	6	31/3	46,4
Roscoff	SUROIT 1	23	2/4	19,2
	THALIA	17	18/4	8,4
Baie de Morlaix	SUROIT 1	24	2/4	8,8
	THALIA	7	16/4	8,5
Baie de Lannion	SUROIT 1	26	2/4	12,3
	TTHALIA	8	16/4	9,1
	THALIA	9	16/4	8,8

CONCLUSION

Cette première étude montre que la pollution pétrolière résultant de l'échouage de l'"AMOCO CADIZ" a affecté un très large secteur de la Manche occidentale, limité à l'ouest par le méridien 5°W., à l'est par la Baie de St-Brieuc comprise, et au nord par le parallèle 49°20'. La présence des hydrocarbures dans l'ensemble de la colonne d'eau présage vraisemblablement de la pollution de la phase sédimentaire dans les secteurs touchés par la dérive des nappes.

Ces résultats confirment également la persistance de la pollution par hydrocarbures de l'eau de mer dans la zone côtière, un mois après l'échouage de l'"AMOCO CADIZ". Cette persistance est particulièrement importante au niveau des deux abers (Aber Benoît et Aber Wrach) et dans le secteur côtier constitué par la baie de Morlaix et la Baie de Lannion. La rivière du Trieux constitue à l'est approximativement la limite de l'extension de la pollution.

Les travaux complémentaires montreront si cette contamination des eaux de surface et en profondeur a provoqué une pollution correspondante des sédiments et un impact immédiat ou à plus long terme sur les peuplements benthiques et pélagiques.

Des analyses chimiques plus détaillées concernant la répartition et l'évolution des composants chimiques et aromatiques du pétrole brut déversé dans l'eau de mer sont envisagées.

Ces résultats préliminaires seront prochainement associés aux résultats des analyses d'hydrocarbures totaux dans les échantillons d'eau de mer prélevés à la même époque en Manche Occidentale (campagne N/O SUROIT III).

Le suivi spatio-temporel de la contamination des eaux côtières est actuellement en cours (campagne PLUTEUS, mi-mai 78 ; campagne THALIA, mi-juin 78).

Références Bibliographiques

GORDON, D.C., KEIZER, P.D. & DALE J. (1974). Estimates using fluorescence spectroscopy of the present state of petroleum hydrocarbon contamination in the water column of the north-west Atlantic ocean. *Mar. Chem.*, 2 : 251-61.

KEISER, P.D., & GORDON, D.C., (1973). Detection of trace amounts of oil in sea water by fluorescence spectroscopy. *J. Fish. Res. Bd Canada*, 30 (8) : 1039-46.

LEVY, E.M., (1971). The presence of petroleum residues off the east coast of Nova Scotia, in the Gulf of St Lawrence and the St Lawrence River. *Water Res.*, 5 : 723-33.

SULLIVAN, A.J., (1978). The AMOCO-CADIZ oil spill. *Mar. Poll. Bull.*, 9 : 123-28.

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DE LA POLLUTION PETROLIERE
PAR L'AMOCO CADIZ

Teneurs en hydrocarbures totaux dans les eaux de mer, de la Rade
de Brest à la presqu'île du Cotentin.

(Mars - Avril 1978)

par

G. MOREL* et P. COURTOT *

*Laboratoire d'Océanographie Chimique - Institut d'Etudes Marines de
l'Université de Bretagne Occidentale - 6, Avenue Le Gorgeu
29283 BREST.

R E S U M E

Les résultats des mesures préliminaires d'hydrocarbures totaux dans l'eau de mer par la méthode infra-rouge font apparaître des valeurs normales en rade de Brest et des teneurs de 100 à 200 µg/l dans les eaux de la côte nord-finistérienne en avril 1978. Des augmentations significatives en fonction de la profondeur sont notées.

A B S T R A C T

Results of preliminary measurements of sea water total hydrocarbon content by infra-red show normal values in Bay of Brest but values between 100 and 200 µg/l in North-Finistère sea waters during April 1978. Significant increases of these values are observed with increasing depths.

M O T S - C L E S : Hydrocarbures totaux, méthode infra-rouge, eau de mer, Amoco Cadiz, Nord-Finistère.

K E Y - W O R D S : Total hydrocarbons, infra-red method, sea water, Amoco Cadiz Nord-Finistère.

Les hydrocarbures présents dans l'eau de mer font l'objet d'études nombreuses depuis la dernière décade. Ils constituent en effet une source prépondérante de pollution des écosystèmes marins dans les eaux littorales mais aussi dans l'ensemble des masses d'eaux des océans.

Jusqu'à ces dernières années leur dosage nécessitait des volumes d'eaux relativement importants pour une analyse quantitative (MARTY J.C. 1974). Le Laboratoire d'Océanographie Chimique de l'Institut d'Etudes Marines s'est orienté dès 1974 vers la mise au point des méthodes sensibles et précises pour la mesure quantitative et qualitative des hydrocarbures dissous dans des échantillons d'eau de mer de faible volume. Ceci a rendu possible l'étude de l'évolution de leur répartition dans l'eau en fonction de différents paramètres (figure 1).

En 1976, P. GENTIEN a mis au point une méthode de dosage des alcanes par chromatographie en phase gazeuse et l'a appliquée à l'étude des eaux de la Rade de Brest. D'une façon générale, les teneurs totales mesurées dans les eaux côtières sont inférieures à 20 µg/l. Lors d'une étude effectuée en avril 1976, il a montré que ces teneurs, habituellement liées à la floraison printanière, avaient subi des variations importantes. En effet, en raison de l'échouage du "BOEHLER", des teneurs de 7 à 15 fois supérieures avaient été observées dans les eaux de la Rade de Brest.

Nous poursuivons actuellement l'étude commencée par P. GENTIEN en utilisant la chromatographie sur colonnes capillaires. A cette analyse fine

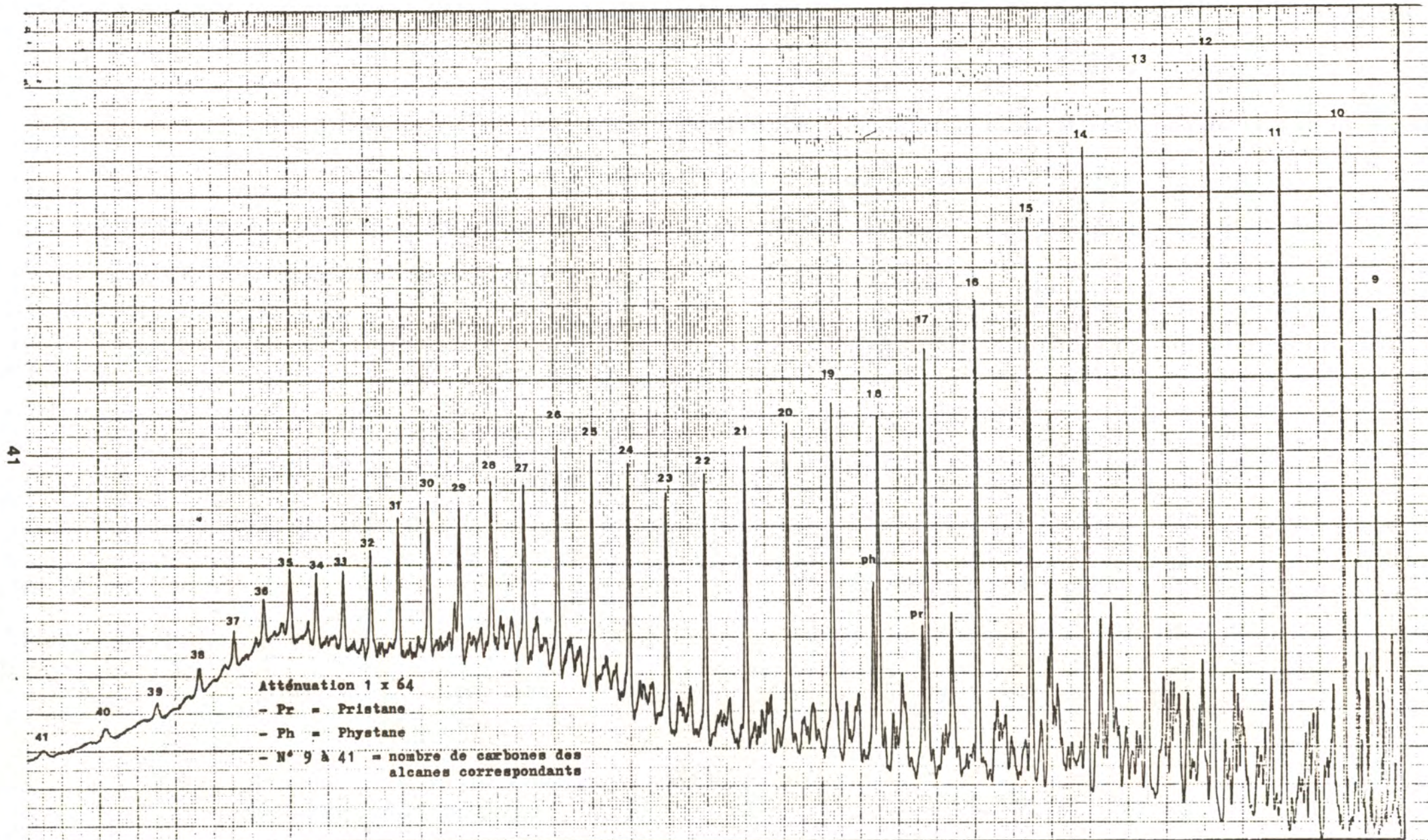


Figure 1

Fuel à la Côte de Portsall le 17.3 à 14 h.

nous associons un dosage des hydrocarbures totaux. Différentes techniques sont utilisées pour ce dosage global :

- le dosage par infra-rouge, indicatif des liaisons C-H
- le dosage par fluorescence, sensible aux composés aromatiques.

Les résultats obtenus par ces deux méthodes dépendent largement des conditions d'étalonnage et de l'évolution de la composition des hydrocarbures in-situ. Ils sont donc à priori discutables en valeur absolue et pour notre part, nous pensons que seules des techniques élaborées comme la chromatographie sur colonne capillaire avec étalonnage interne, la spectrométrie de masse, et la chromatographie liquide sous-pression permettent une évaluation quantitative et qualitative correcte des teneurs en hydrocarbures.

Ces techniques sont cependant trop sophistiquées pour permettre le suivi immédiat de l'évolution d'un écosystème soumis à perturbation. C'est pourquoi, tout en lui accordant une valeur relative, nous utilisons le dosage global par spectrophotométrie Infra-Rouge tel qu'il a été mis au point par CAUSSE et MESTRES pour le Réseau National d'Observation de la Qualité du milieu marin, à partir des travaux de CARLBERG et SKRUSTEDT en 1972. Dans la perspective d'un suivi écologique des eaux de mer touchées par la pollution pétrolière de l'AMOCO-CADIZ, nous avons effectué des prélèvements dans les eaux côtières et dans les eaux du large, de la Rade de Brest à la Presqu'île du Cotentin.

A ce jour, seules les analyses globales (par I.R.) ont été effectuées et ce sont les résultats que nous présentons ici. Les analyses en chromatographie sur colonne capillaire se poursuivent et leurs résultats seront présentés ultérieurement.

I - ZONES ETUDIÉES - METHODOLOGIE

1. Zones étudiées.

3 types de prélèvements :

- a) à la côte - Saint-Brieuc - Roscoff - Les Abers
- b) dans la Rade de Brest et à la sortie du Goulet
- c) lors des Campagnes I et III du Suroît

(I du 30 mars au 4 avril 1978)

(III du 13 avril au 18 avril 1978)

au-delà de fonds de 50 m (c'est-à-dire au-delà de 4 miles du rivage jusqu'à la latitude 49°30'N).

2. Méthodologie.

Echantillonnage : Nous avons effectué des prélèvements en surface au seau en acier inoxydable, en profondeur avec le système américain "Butterfly", et en subsurface par la méthode mise au point au Laboratoire. Cette dernière méthode qui présente les qualités requises pour un dosage fin, a été réservée aux échantillons à doser en chromatographie gazeuse.

Dans le cas du prélèvement par seau, des manipulations de reproductibilité de l'échantillonnage nous ont permis de mettre en évidence des variations de $\pm 10 \%$.

Mode opératoire : La méthode utilisée pour l'extraction permet des rendements proches de 100 % avec une marge d'erreur de 5 %.

La courbe d'étalonnage est effectuée à l'aide d'une solution étalon :

iso-octane	37,5% en volume
hexadécane	37,5% en volume
benzène	25,0% en volume

La mesure est faite sur trois bandes caractéristiques des vibrations ν_{C-H} à 2959, 2924 et 2857 cm^{-1} .

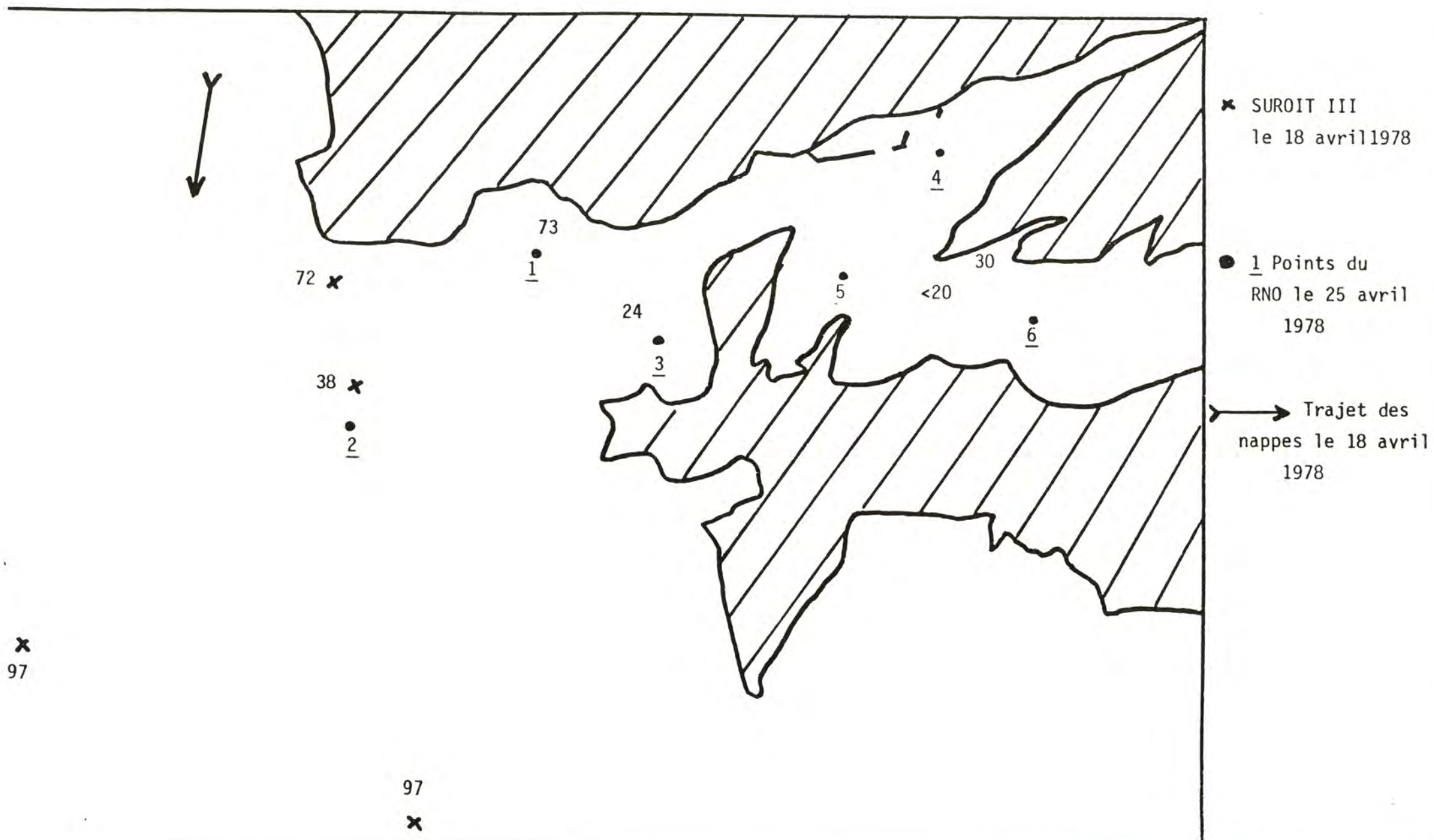
RESULTATS

a) à la côte (Tableau 1)

LITTORAL ROSCOFF - HYDROCARBURES TOTAUX $\mu\text{g. l}^{-1}$

LIEU \ DATE	21-4-78	28-4-78	10-5-78	30-5-78
TRADIBON	75	35	32	27
BARRE DE FLOT	< 20	< 20	< 20	25
KERARMEL	< 20	< 20	45	25
DOURDUFF		20	42	26
TOURGHI		≤ 20	59	20
PIERRE NOIRE		20	40	71

Fig. 2 - RADE de BREST
Hydrocarbures totaux en microgrammes par litre les 18 et 25 avril 1978



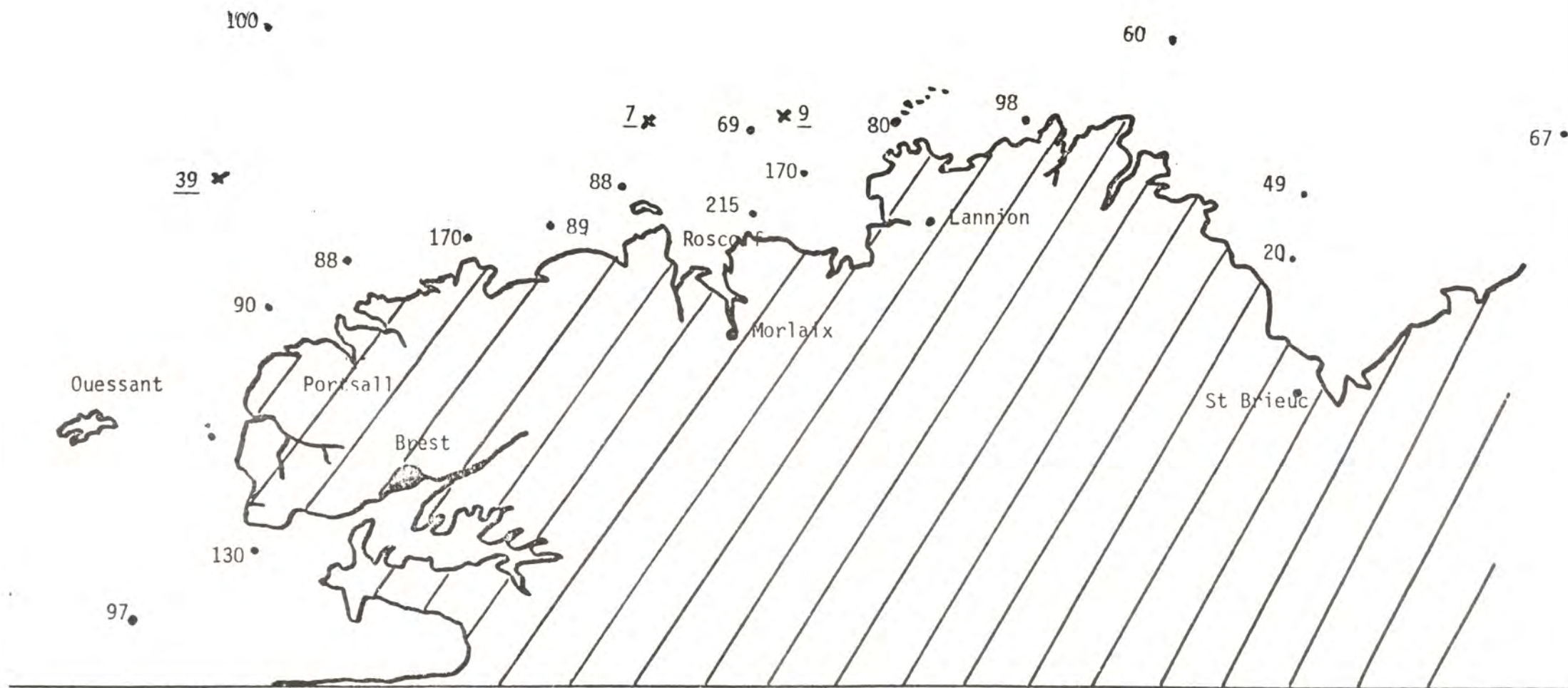


Fig. 3 - Campagne SUROIT (III) du 13 au 18 avril 1978.

Hydrocarbures totaux en microgrammes par litre.

x : 7, 9 39 : stations où ont été effectués des profils.

On peut remarquer :

- des zones à concentration relativement élevée comme à TRADIBON (75 $\mu\text{g}/\text{l}$ le 21 avril), qui tendent à revenir à la normale 2 mois 1/2 après l'accident.

- des zones où les concentrations sont restées au niveau de la normale comme à la BARRE DE FLOT (20 $\mu\text{g}/\text{l}$).

- des secteurs d'accumulation comme la PIERRE NOIRE où les teneurs n'ont cessé de croître (20 $\mu\text{g}/\text{l}$ le 28-4-78, 40 $\mu\text{g}/\text{l}$ le 10-5-78, 70 $\mu\text{g}/\text{l}$ le 30-5-78).

En fait on remarque aux différents points des variations rapides de teneurs avec une tendance à l'homogénéisation des concentrations (20 à 30 $\mu\text{g}/\text{l}$) dans l'ensemble des masses d'eaux.

b) dans la Rade et à la sortie (figure 2).

Le 13 avril, 28 jours après l'échouage, les eaux côtières à la sortie de la Rade sont polluées comme le confirment les résultats de la campagne SUROIT III. En effet, si au Sud de la Point Saint-Mathieu, on observe 38 $\mu\text{g}/\text{l}$ en surface, plus au large, sur le trajet des nappes, les valeurs sont proches de 100 $\mu\text{g}/\text{l}$. Le 25 avril, des teneurs inférieures à 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ sont mesurées dans la Rade de Brest, donc à leur niveau habituel. Par contre, dès la sortie du Goulet, de Camaret (24 $\mu\text{g}/\text{l}$) à la Parquette (66 $\mu\text{g}/\text{l}$) et à Bertheaume (75 $\mu\text{g}/\text{l}$), des teneurs anormales sont encore trouvées en surface.

c) dans les eaux du large (figure 3).

Les campagnes SUROIT I et III nous permettent de donner une représentation générale de l'évolution des teneurs en hydrocarbures.

1. - Lors de la campagne SUROIT I (figure 4).

A la station 39, 15 milles au large des côtes, l'ensemble de la masse d'eau (5 à 90 mètres) contient des concentrations anormalement élevées en hydrocarbures (de 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ à 5 m jusqu'à 170 $\mu\text{g}/\text{l}$ à 20 m et 1300 $\mu\text{g}/\text{l}$ au fond). De même, aux stations 7 (45 $\mu\text{g}/\text{l}$ à 20 m jusqu'à 209 $\mu\text{g}/\text{l}$ à 70 m) et à la station 9 (64 $\mu\text{g}/\text{l}$ à 20 m jusqu'à 86 $\mu\text{g}/\text{l}$ à 70 m) les teneurs sont plus importantes en profondeur.

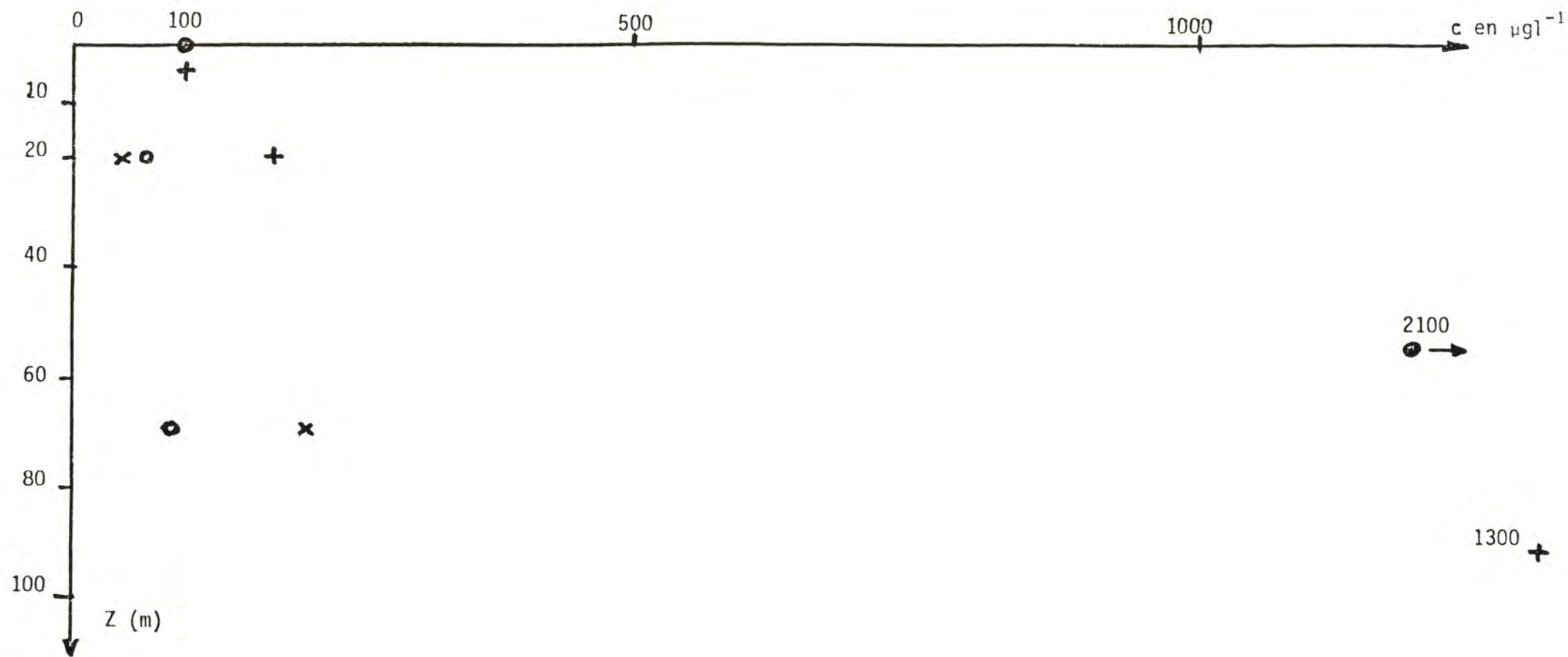


Fig.4 - Variations en fonction de la profondeur

+ Station 39, X station 7, O station 9 (Suroit I)

● Station 47 (Suroit III)

Des résultats analogues sont obtenus à SUROIT III à la station 47 : en face de PORTSALL à 1 mille de l'AMOCO-CADIZ des teneurs de 2130 $\mu\text{g}/\text{l}$ sont mesurées au fond (contre 90 $\mu\text{g}/\text{l}$ à 5 m de fond).

2. - Les teneurs de la Campagne SUROIT III (figure 3) réalisée 15 jours plus tard permettent de donner une représentation de la répartition superficielle, qui semble correspondre au trajet et aux points de convergence des nappes.

D'une façon générale, l'ensemble des masses d'eaux superficielles contient des teneurs anormales en hydrocarbures ($>$ à 60 $\mu\text{g}/\text{l}$). Plus on se rapproche de la ligne des 50 m, plus les teneurs augmentent pour atteindre 170 $\mu\text{g}/\text{l}$ au Nord de GOULVEN et plus de 200 $\mu\text{g}/\text{l}$ au Nord de PRIMEL.

3. - Conclusion et suite du programme.

Cette approche préliminaire permet de tirer les conclusions suivantes :

- 1) la pollution pétrolière s'étend bien au-delà des taches visibles.
- 2) la répartition du pétrole dans l'ensemble de la colonne d'eau présente des maximums de concentration en surface et au fond.
- 3) dans certaines zones il y a accumulation du pétrole en profondeur avec remise en solution à partir du fond.
- 4) des variations relativement rapides de concentration sont observées à la côte.

Bien que ceci dépasse le cadre de cette communication, on peut s'interroger sur les causes des phénomènes observés.

Le facteur prépondérant à l'origine de la répartition horizontale et verticale des hydrocarbures, est à notre avis le brassage des eaux de la Manche dû aux vents et aux courants de marée. Cependant la nature du pétrole, sa fluidité et sa capacité naturelle à s'émulsionner (asphaltènes), l'usage des dispersants et des précipitants sont des facteurs qui interviennent également sur sa dispersion dans l'ensemble de la colonne d'eau et en particulier sur sa précipitation au niveau du fond.

BIBLIOGRAPHIE

- CARLBERG S.R. et SKARSTEDT C.B., 1972 - Determination of small amounts of non-polar hydrocarbons (oil) in sea water.
J. Conseil Int. Explor. Mer 34, n°3, 506-515.
- CAUSSE C. et MESTRES R., 1975 - Dosage des résidus d'hydrocarbures par infra-rouge dans l'eau de mer et les sédiments marins.
Manuel des Méthodes de Prélèvement et d'Analyse, 2, Ministère de la Qualité de Vie et CNEEXO.
- GENTIAN P., 1977 - Dosage des alcanes dans la rade de Brest. Variations saisonnières et facteurs extérieurs.
Thèse de Spécialité, Laboratoire d'Océanographie Chimique, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 60 pp.
- MARTY J.C., 1974 - Contribution à l'étude de la pellicule ultra-superficielle des océans : atténuation de l'ultra-violet, composition en acides gras et en hydrocarbures.
Thèse de Spécialité, Université de Paris VI, 77 pp.

PREMIERS RESULTATS SUR L'HYDROLOGIE, L'OXYGENE DISSOUS
ET LES PIGMENTS PHOTOSYNTHETIQUES EN MANCHE OCCIDENTALE
APRES L'ECHOUAGE DE L'AMOCO CADIZ"

par

A. AMINOT et R. KEROUËL

Centre Océanologique de Bretagne
B.P. 337 - 29273 BREST Cedex

R E S U M E

Au cours des campagnes "SUROIT 1" (30 mars - 4 avril), "SUROIT 3" (13-18 avril) et "THALIA 1" (15-17 avril) un grand nombre de mesures d'oxygène dissous et de chlorophylle ont été réalisées afin d'analyser les effets de la pollution pétrolière de l'AMOCO CADIZ" sur l'oxygénation du milieu et sur le comportement du phytoplancton.

Ces premiers résultats mettent en évidence une désoxygénation de l'eau jusqu'à quatre semaines après l'échouage dans une zone située entre 10 et 20 milles à l'est de l'AMOCO CADIZ". Ces données permettent d'effectuer certaines considérations sur la dégradation des hydrocarbures.

En revanche, les analyses d'oxygène effectuées dans les estuaires et en particulier dans l'Aber Wrac'h, un des plus pollués, n'ont pas révélé d'anomalies caractéristiques un mois après la pollution.

Les résultats quantitatifs concernant la chlorophylle "a" et les phaeopigments ne semblent pas montrer de perturbation très notable entre 2 et 4 semaines après l'échouage, que ce soit au large ou à la côte.

A B S T R A C T

During the cruises "SUROIT 1", "SUROIT 3" and "THALIA 1", many analyses of dissolved oxygen and chlorophyll have been carried out in order to ascertain some effects of oil spill of "AMOCO CADIZ" on oxygen concentrations and phytoplankton behaviour.

These first results show an under-saturation of oxygen, four weeks after stranding, in sea-water standing between 10 to 20 milles eastward of "AMOCO CADIZ". These data allow to do some considerations about oxydation of hydrocarbons in sea-water.

In estuaries, especially Aber Wrac'h, one of the most polluted, the analyses do not show obvious anomaly one month after oil spill.

Quantitative results on chlorophyll "a" and phaeopigments don't seem to show any noticeable disturbance, neither off, nor near the coast, from two weeks to four weeks after oil spill.

M O T S - C L E S : Amoco Cadiz, Chlorophylle, Oxygène dissous, Manche.

K E Y W O R D S : Amoco Cadiz, Chlorophyll, dissolved oxygen, English Channel.

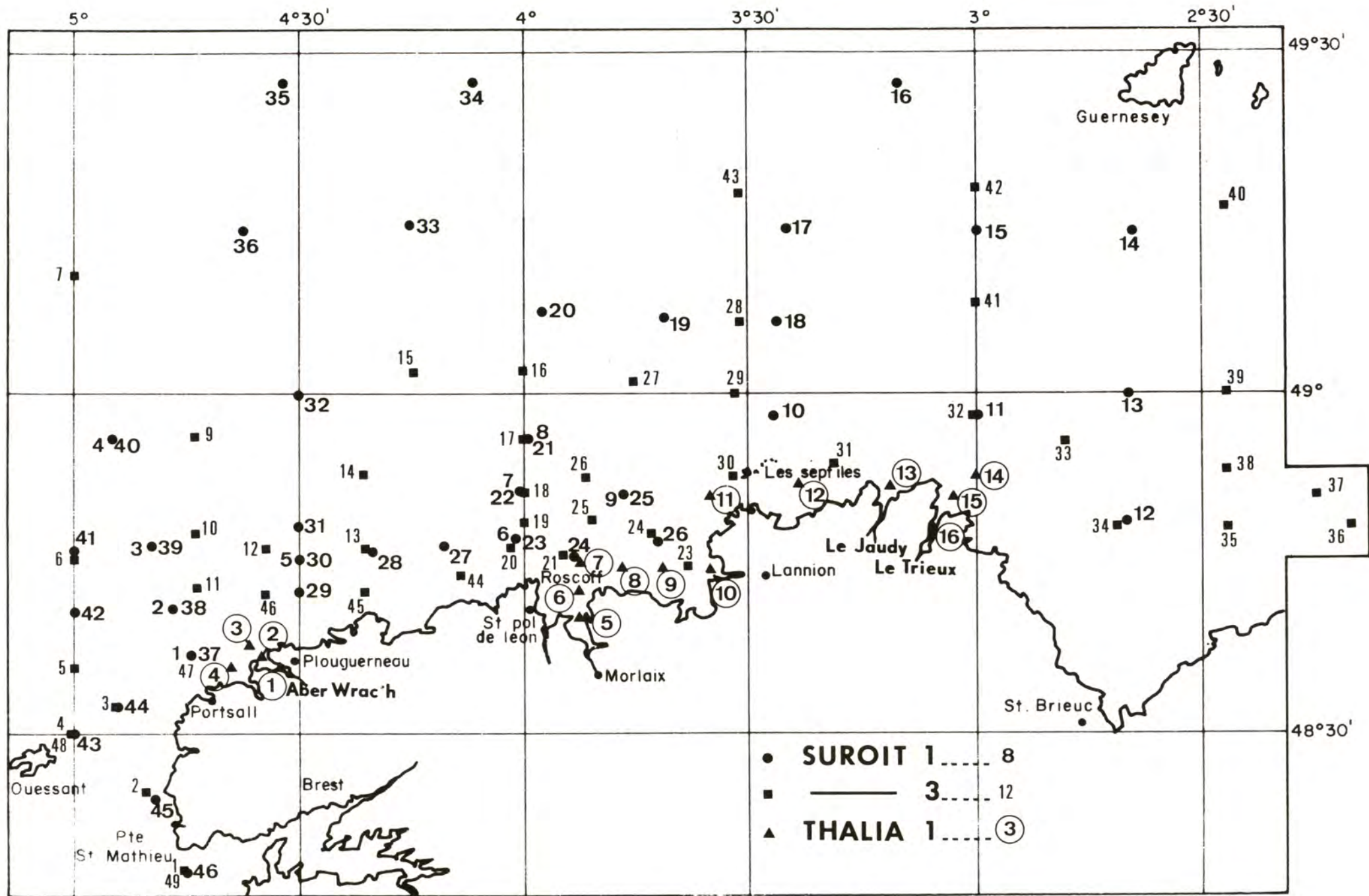


FIGURE 1 Position des stations de prélèvements aux campagnes "SUROIT 1", "SUROIT 3" et "THALIA 1".

INTRODUCTION

Le 16 mars 1978, l'"AMOCO CADIZ" s'échouait près de PORTSALL sur la côte nord du Finistère (France). Toute la cargaison, soit 223.000 tonnes de brut, était répandue avant la fin mars. Afin d'étudier les conséquences de cette catastrophe sur le milieu, plusieurs campagnes ont été effectuées en Manche Occidentale et sur la frange côtière de la Bretagne Nord.

Nous présentons ici les premiers résultats des deux campagnes "SUROIT 1" (30/3-4/4), et "SUROIT 3" (13/4-18/4) en Manche et de la campagne côtière "THALIA 1" (15/4-17/4). Les positions des stations de prélèvement sont présentées en figure 1. Lors de la campagne "SUROIT 1", la zone ouest a été couverte à l'aller et au retour, certaines stations ayant ainsi pu être doublées à quelques jours d'intervalle. Nous considérerons comme faisant partie du trajet aller les stations 1 à 19 et comme faisant partie du trajet retour les stations 20 à 46.

Outre l'hydrologie, nous avons étudié en particulier la distribution des concentrations en oxygène dissous ainsi que celle des pigments photosynthétiques (chlorophylle "a" et phaeopigments). L'analyse de ces paramètres prend en compte les relations physico-chimiques entre l'oxygène dissous et les hydrocarbures (oxydations, échanges à l'interface eau-atmosphère) ainsi que les incidences biologiques au niveau de la production primaire.

MATERIEL ET METHODES

Les prélèvements ont été effectués à l'aide de bouteilles NISKIN de 5 litres.

Les concentrations en oxygène dissous ont été déterminées selon la méthode de CARRITT et CARPENTER (1966). Les précautions prises pour respecter très strictement les conditions opératoires nous permettent d'attribuer aux résultats une reproductibilité de l'ordre de $\pm 0,02$ ml/l d'oxygène (soit $\pm 0,3$ % environ). L'absence d'interférences chimiques liées à la présence des hydrocarbures dans l'eau a été vérifiée au niveau du milligramme par litre de ces composés.

Les résultats d'oxygène dissous ont été comparés aux valeurs de saturation théorique, compte tenu de la température et de la salinité, en nous référant aux travaux de WEISS (1970) d'où sont extraites les tables Internationales de l'UNESCO (POSTMA et coll. 1976) Nous avons ainsi déterminé l'écart relatif de concentration par rapport à la saturation ; cet écart est exprimé en pourcentage (abréviation : ΔO_2 %).

Les analyses de chlorophylle "a" et de phaeopigments ont été effectuées selon la méthode spectrophotométrique de LORENZEN (1967) après filtration de deux litres d'eau de mer sur membrane de fibre de verre Whatman GF/C (porosité : environ $1 \mu m$). Les filtres ont été immédiatement immergés dans 10 ml d'acétone à 90 % et placés à l'obscurité et à $-20^\circ C$ jusqu'à l'analyse effectuée environ une semaine plus tard.

Les phaeopigments sont exprimés en pourcentage par rapport aux pigments "a" totaux, à savoir :
$$\text{Phaeopigments} = \frac{(\text{Phaeopigments})}{(\text{Chlorophylle}) + (\text{Phaeopigments})} \times 100$$

RESULTATS

1. CAMPAGNES "SUROIT 1" ET "SUROIT 3" EN MANCHE SUD-OCCIDENTALE

1.1 Hydrologie

Les cartes de salinité (fig 2a,b,c et 3a,b) font apparaître aux deux campagnes un gradient de salinité décroissante du Nord-Ouest vers le Sud-Est. Ce gradient tend à s'orienter Ouest-Est dans la bande côtière, au-dessous d'une immersion de 20 mètres.

Les salinités dépassent de très peu la valeur de 35‰ dans la partie Ouest tandis que les valeurs les plus basses (mesurées à environ 5 milles de la côte) sont de l'ordre de 34,5 ‰ dans les baies de Morlaix et de Lannion.

Lors de la campagne "SUROIT 1" on observe en surface au Nord de Plouguerneau, l'extension vers l'Ouest d'une langue de salinité réduite s'étendant entre 5 et 15 milles de la côte environ.

Cette situation n'apparaît pas à la campagne "SUROIT 3", qui présente cependant peu de différences avec la campagne "SUROIT 1" en ce qui concerne la distribution des salinités, excepté au voisinage de la côte.

Le tracé des isothermes (fig. 4) met en évidence au début avril deux zones principales dans le secteur étudié de la Manche : à l'Est du 3ème degré de longitude, une zone froide (< 8,5°C) et à l'Ouest une masse d'eau de température légèrement plus élevée (9,5 à 10°C). Le gradient horizontal de température entre ces deux zones est plus faible à la côte qu'au large où il atteint 1°C pour 15 milles.

Deux semaines plus tard (fig. 5), on constate un refroidissement de l'ordre de 0,5°C à l'Ouest tandis qu'à son extrémité Est la zone étudiée présente un léger réchauffement ; l'isotherme 8,5°C est resté inchangé au voisinage du 3ème degré de longitude pendant ce laps de temps.

1.2 Oxygène dissous

Les résultats d'oxygène dissous sont exprimés sous la forme de leur écart relatif à la saturation théorique. En raison des faibles variations de température et de salinité, les concentrations d'oxygène correspondant à la saturation sont comprises dans la fourchette 6,30 - 6,60 ml/l. En conséquence la transformation des écarts relatifs en écarts absolus peut s'effectuer simplement par la relation $\Delta O_2(\text{ml/l}) = \Delta O_2\% \times 0,065$.

Lors de la campagne "SUROIT 1" (fig. 6,a,b) on constate que la zone Est présente de très faibles sursaturations (< +1%) tandis que dans la partie Nord-Ouest elles atteignent plus de 3%, en surface.

Cependant, au nord de Plouguerneau, 10 milles à l'Est du lieu de l'échouage, on observe une zone où la sous-saturation est particulièrement nette (jusqu'à -4,6%). Cette sous-saturation existe sur toute la profondeur aux stations 29 et 31 où trois immersions ont été analysées. La station 30 montre une anomalie de surface négative à l'aller mais légèrement positive lors du deuxième passage environ 3 jours plus tard (tableau 1).

Lors de la campagne "SUROIT 3" (mi-avril), le gradient Est-Ouest s'est estompé pour faire place à une sursaturation de surface de l'ordre de +2 à +3% sur presque toute la zone (fig. 7).

L'anomalie négative observée près de la côte deux semaines auparavant existe toujours sur toute la profondeur mais elle s'est déplacée légèrement vers l'Est et ne s'étend plus aussi loin vers le large (on ne la note qu'à la station 45) ; la sous-saturation est de -2,5%.

1.3 Chlorophylle "a" et phaeopigments

Au début avril (campagne "SUROIT 1") de faibles teneurs en chlorophylle "a" délimitent une zone pauvre en phytoplancton depuis la baie de Saint-Brieuc jusqu'à la limite

TABLEAU 1 : COMPARAISON DES MESURES DE SURFACE EFFECTUEES AUX MEMES POINTS LORS DE L'ALLER ET DU RETOUR DE LA CAMPAGNE "SUROIT 1".

(a) = aller ; (r) = retour. Le temps écoulé entre l'aller et le retour au même point est compris entre 44 et 71 heures.

STATION	S‰	TEMPERATURE	O ₂ %	CHLOROPHYLLE "a" mg/m ³	PHAEOPIGMENTS %
1(a)	34,96	10,0	+2,7	2,26	16
37(r)	34,86	10,0	+2,4	1,72	6
2(a)	35,05	9,9	+1,1	1,68	7
38(r)	34,93	10,1	+4,4	1,44	2
3(a)	35,03	9,9	+0,6	1,24	5
39(r)	35,04	10,2	+3,3	1,57	0
4(a)	35,01	9,8	+2,1	2,22	6
40(r)	35,02	9,9	+3,9	2,23	2
5(a)	34,67	9,7	-1,7	2,31	1,5
30(r)	34,64	9,75	+0,9	2,62	1
6(a)	34,56	9,5	+1,4	3,30	7
23(r)	34,55	9,6	+1,9	2,56	3
7(a)	34,61	9,6	+1,6	2,82	2
22(r)	34,60	9,55	+1,9	2,94	0
8(a)	34,61	9,55	+1,7	2,66	3
21(r)	34,60	9,5	+1,7	2,47	0
9(a)	34,59	9,45	+2,7	2,16	5
25(r)	34,62	9,6	+3,1	3,67	3

TABLEAU 2 : RESULTATS DE LA CAMPAGNE COTIERE "THALIA 1" (prélèvements de surface)

LIEU	N° DE STATION	S‰	TEMP.(°C)	O ₂ %	CHLOROPHYLLE "a" (mg/m ³)	PHAEO. %
ABER WRAC'H	1	31,63	10,1	+8,8	1,31	17,6
	2	33,54	10,1	+13,2	0,83	5,8
	3	34,74	9,7	+3,9	1,33	1,8
ABER BENOIT	4	34,79	-	+2,2	1,01	5,8
BAIES DE MORLAIX ET DE LANNION	5	33,20	-	+5,4	2,19	5,2
	6	34,14	9,3	+5,9	2,30	6,5
	7	34,51	-	+2,9	1,52	3,9
	8	34,53	9,5	+4,1	1,76	8,1
	9	34,09	9,7	+10,2	3,07	10,2
	10	32,54	9,4	+11,4	2,83	3,7
TRIAGOZ	11	34,56	9,1	+1,2	1,33	6,3
SEPT ILES	12	34,59	9,5	+2,8	1,42	0,8
LE JAUDY	13	34,10	8,85	+7,7	2,78	2,1
LE TRIEUX	14	34,64	8,4	+2,4	1,21	0,0
	15	34,46	8,6	+7,2	1,52	0,0
	16	32,68	9,0	+8,4	1,40	0,0

Nord de la zone étudiée ($<1\text{mg}/\text{m}^3$). Les teneurs s'élèvent ensuite rapidement vers l'Ouest jusqu'à plus de $2\text{ mg}/\text{m}^3$ au large et plus de $3\text{ mg}/\text{m}^3$ près de la côte (fig. 8a,b).

On peut noter entre l'aller et le retour de la campagne un déplacement vers l'Est de la distribution générale des valeurs de chlorophylle, mais en particulier de la zone de concentrations élevées du Nord de la baie de Morlaix.

A la mi-avril (fig. 9) les valeurs relevées en surface sur la presque totalité de la zone restent inférieures à $1,5\text{ mg}/\text{m}^3$; seules quelques poussées planctoniques sont notées très près de la côte, principalement en baie de Lannion ($>3\text{ mg}/\text{m}^3$).

Pour la campagne "SUROIT 1", les pourcentages de phaeopigments (fig. 10) se répartissent de façon approximativement inverse des concentrations en chlorophylle "a". Les valeurs les plus fortes se situent à l'Est dans la zone où ont été notées les plus faibles quantités de chlorophylle. Dans le reste de la zone étudiée les pourcentages sont inférieurs à 5%, excepté dans l'extrême Sud-Ouest où ils s'élèvent légèrement.

Deux semaines plus tard (fig. 11) on observe une forte chute des phaeopigments dans la zone Est. En revanche, dans la bande côtière de 15 à 20 milles allant de Plouguerneau à Lannion, le pourcentage s'est élevé de façon notable sans toutefois dépasser 10%.

2. CAMPAGNE COTIERE "THALIA 1"

Les principaux résultats de la campagne côtière "THALIA 1" sont reportés dans le tableau 2.

On remarque que les salinités restent supérieures à 34‰ pour la plupart des prélèvements ; seuls les quelques points situés les plus en amont présentent des dessalures notables (Aber Wrac'h : $31,63\text{‰}$, baie de Morlaix : $33,20\text{‰}$, baie de Lannion : $32,54\text{‰}$, Le Trieux : $32,68\text{‰}$).

Les températures confirment ce qui a pu être observé lors des campagnes en Manche : décroissance d'Ouest en Est avec $9,5$ à 10°C dans les Abers et $8,5$ à 9°C dans le Trieux.

Les pourcentages de saturation en oxygène sont en tous les points supérieurs à 100% ; les sursaturations, qui sont de +2 à +4% aux stations les plus marines, s'élèvent à environ +10% lorsque l'on se rapproche ou pénètre dans les estuaires (+13% dans l'Aber Wrac'h). Les valeurs de chlorophylle "a" sont proches de $1\text{ mg}/\text{m}^3$ dans les Abers où elles sont associées à des proportions de phaeopigments généralement supérieures à 5%.

En baies de Morlaix et de Lannion, les concentrations en chlorophylle sont plus élevées ($1,5$ à $3\text{ mg}/\text{m}^3$) tandis que les quantités de phaeopigments sont comprises entre 4 et 10%.

Dans la partie Est, et en particulier dans le Trieux, on note des valeurs supérieures à $1\text{ mg}/\text{m}^3$ pour la chlorophylle "a", associées à un pourcentage très faible ou nul de phaeopigments.

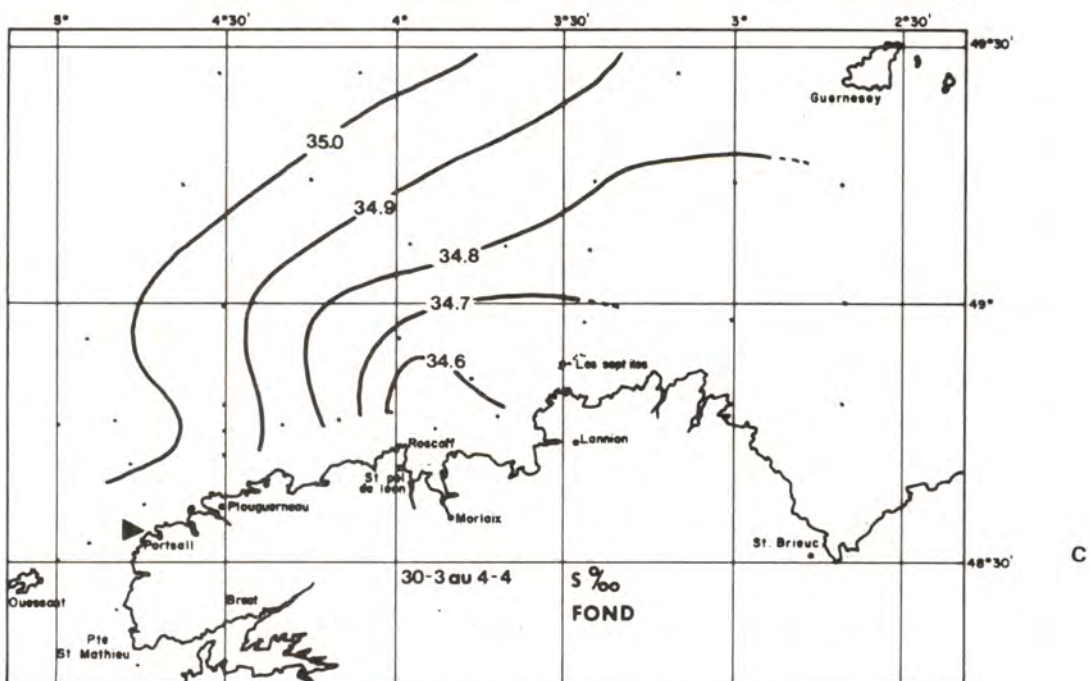
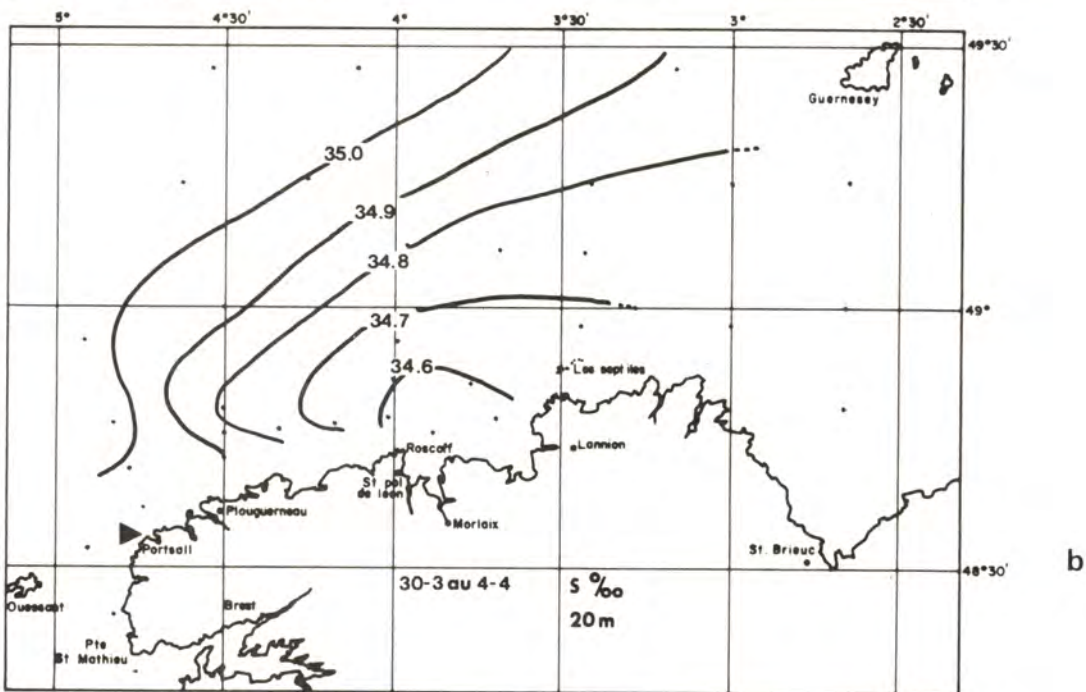
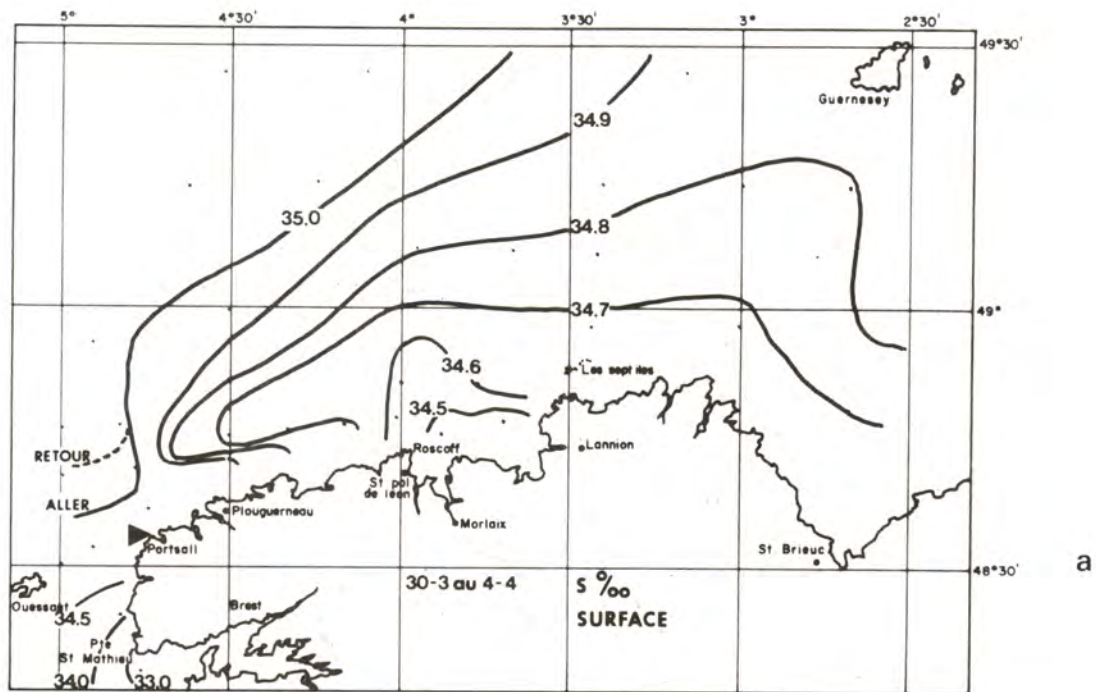


FIGURE 2a, b, c
Salinité en surface, à 20 m et au fond au début avril (campagne "SUROIT 1").

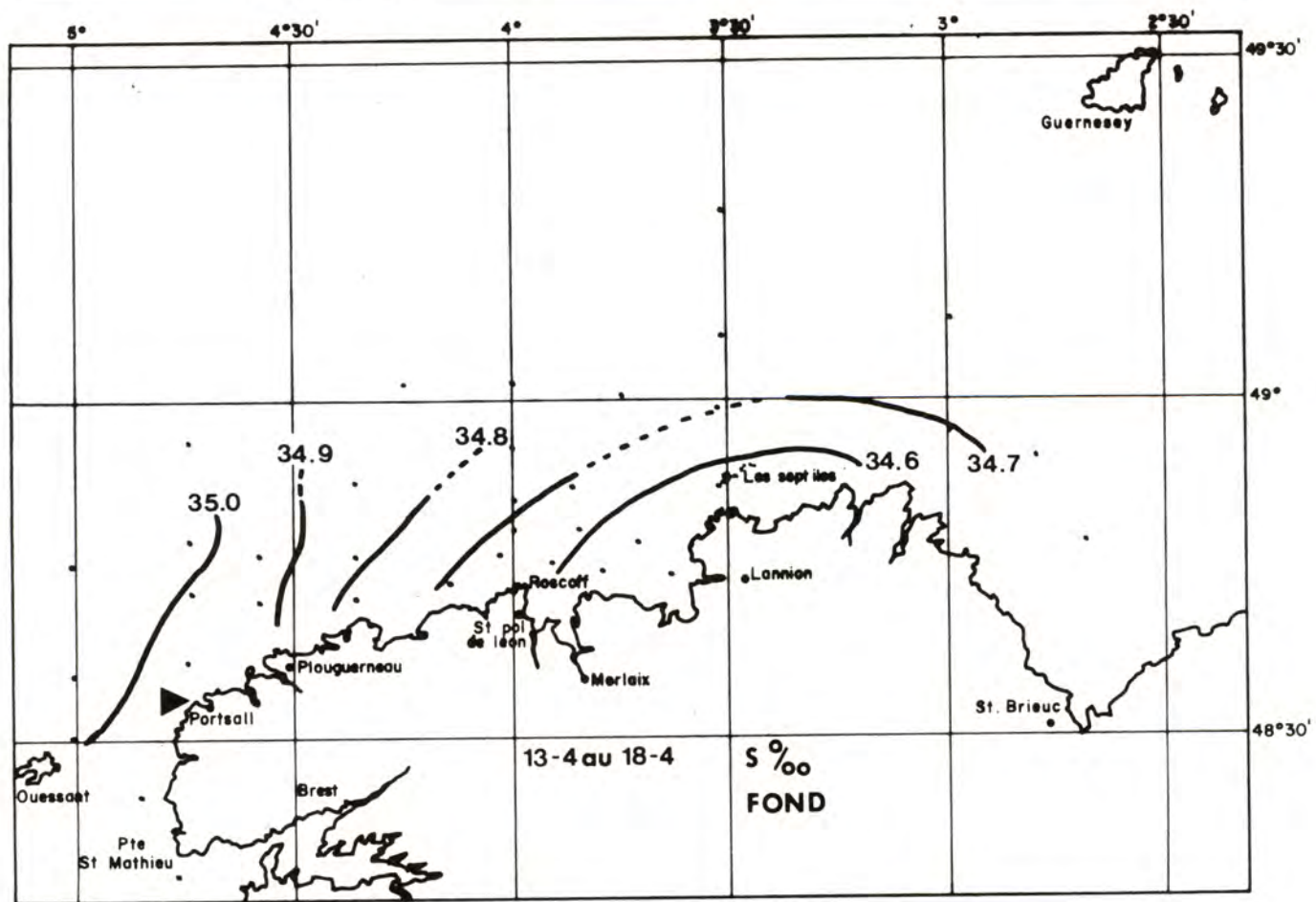
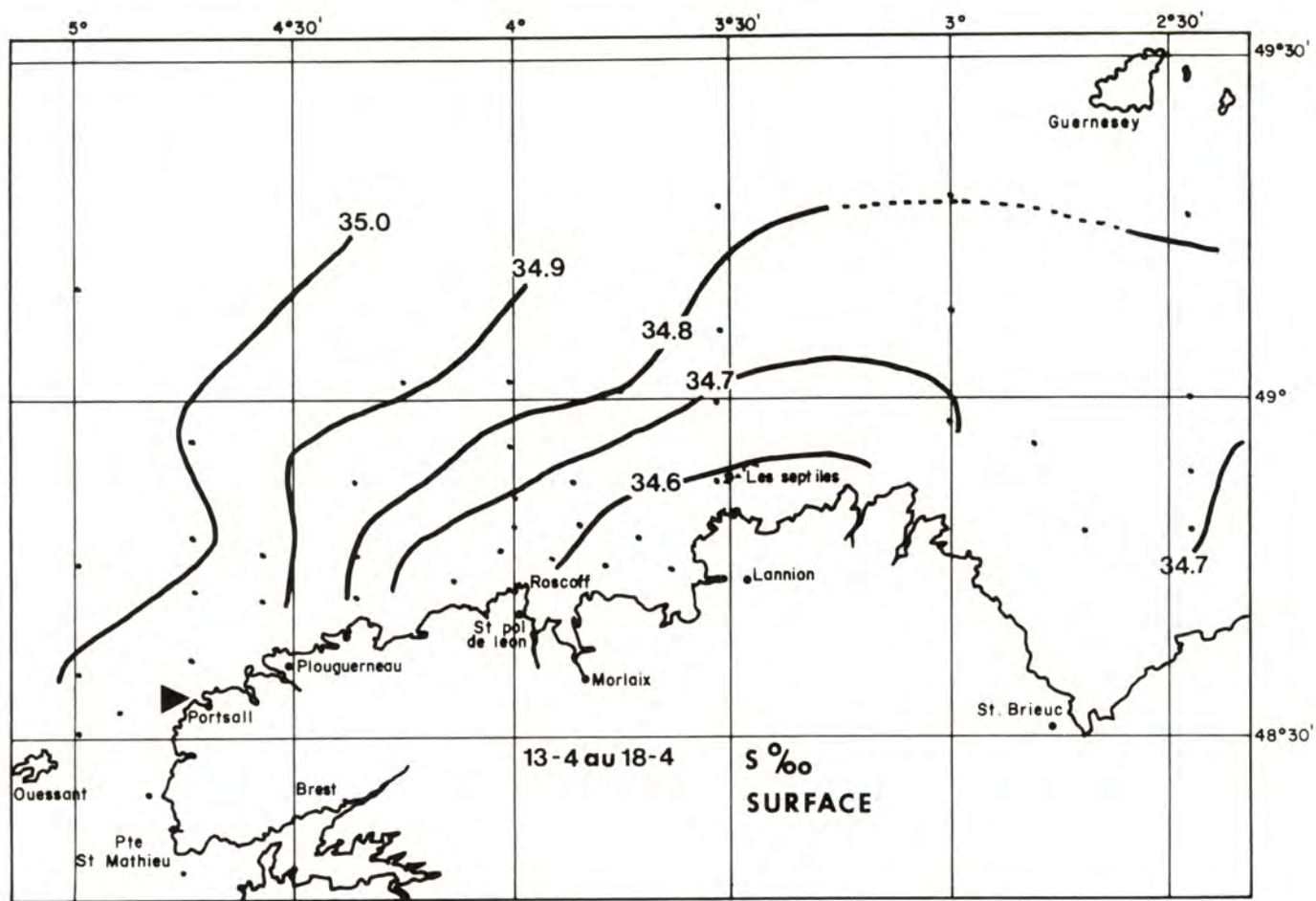


FIGURE 3a, b

Salinités en surface et au fond à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").

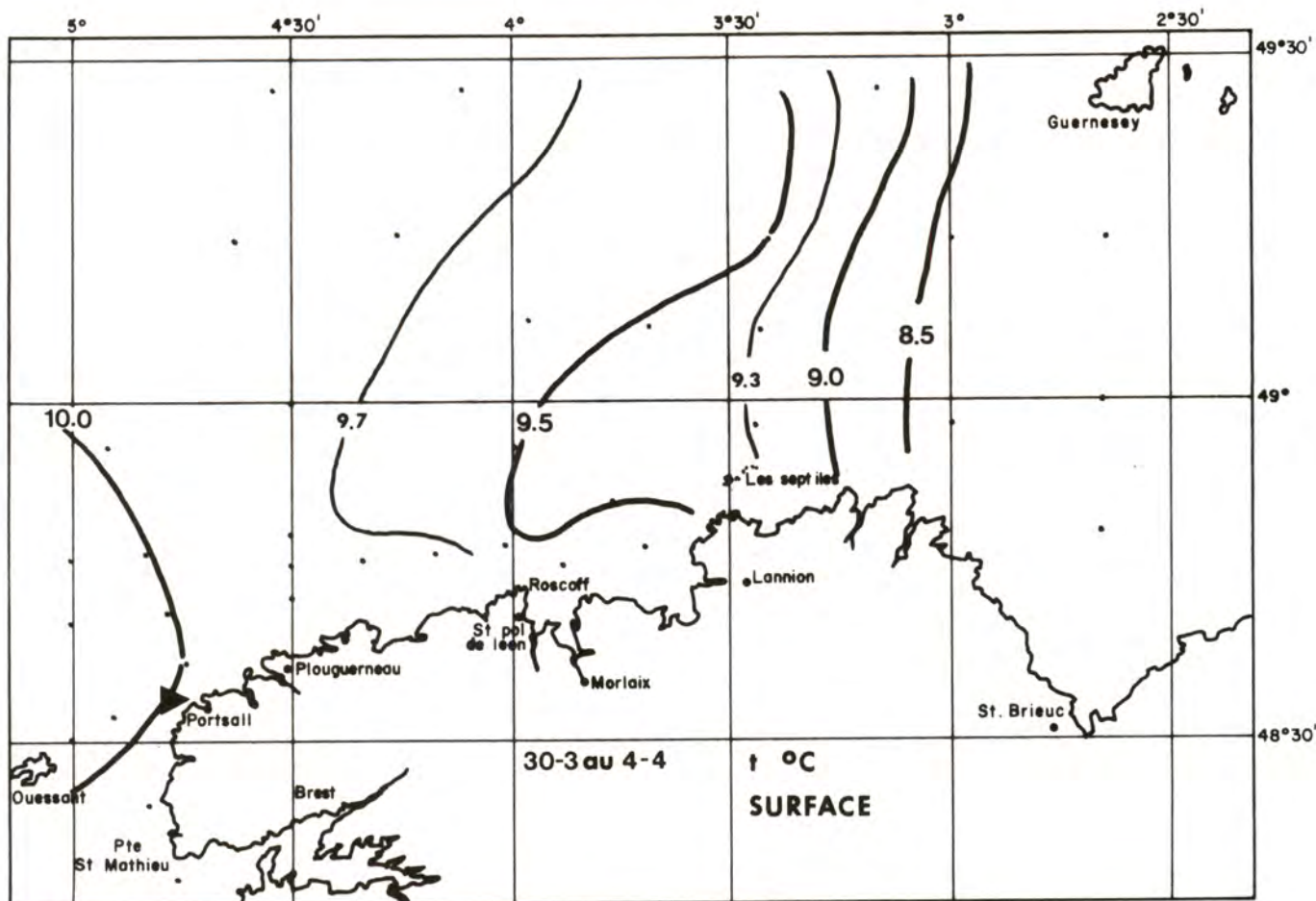


FIGURE 4

Températures de surface au début avril (campagne "SUROIT 1").

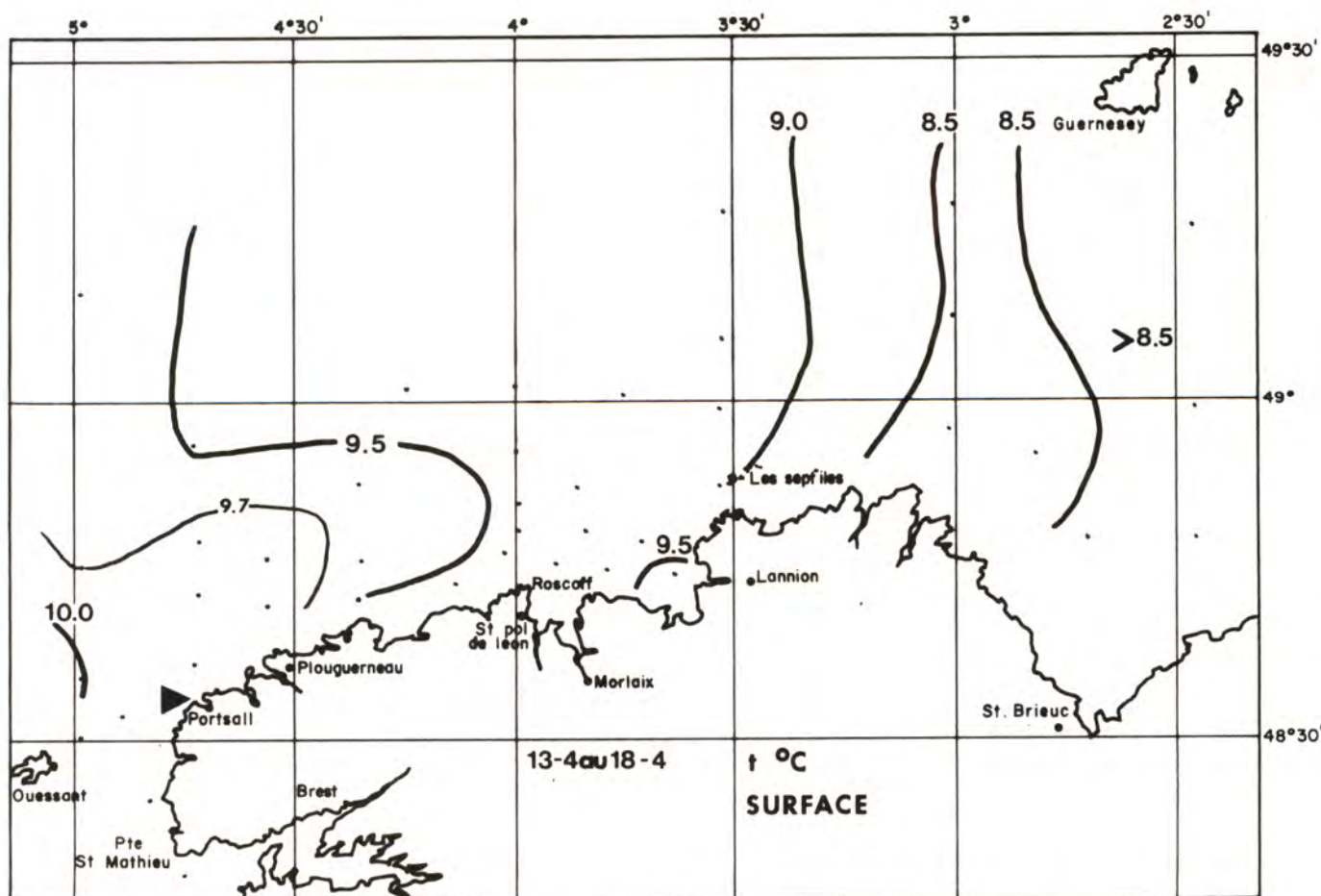
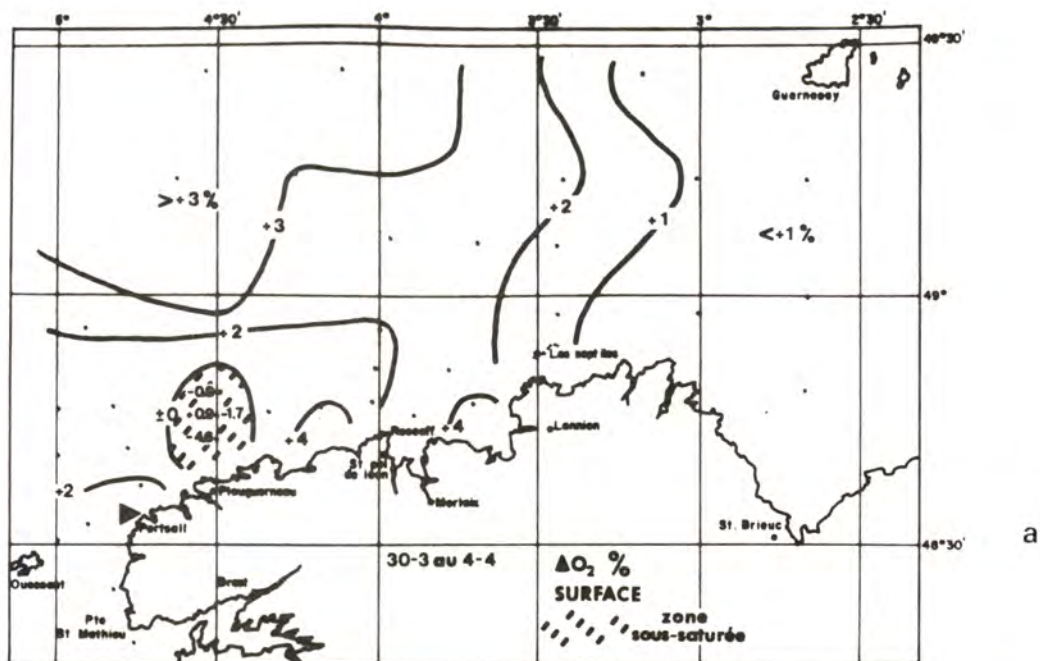
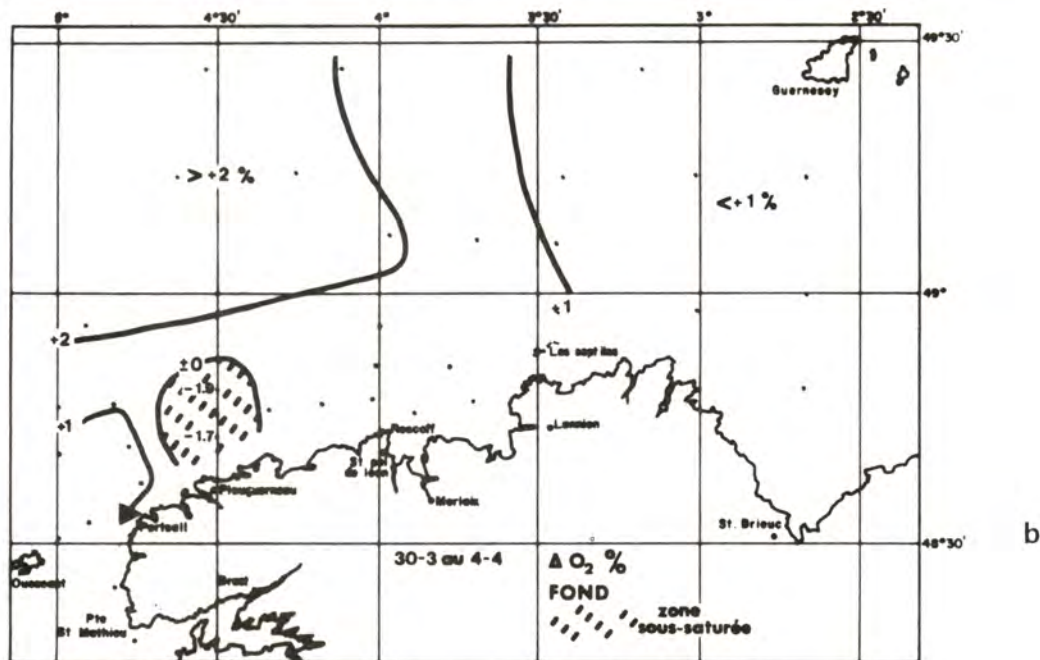


FIGURE 5

Températures de surface à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").



a



b

FIGURE 6a, b

Ecarts d'oxygène dissous par rapport à la saturation, en surface et au fond au début avril (campagne "SUROIT 1").

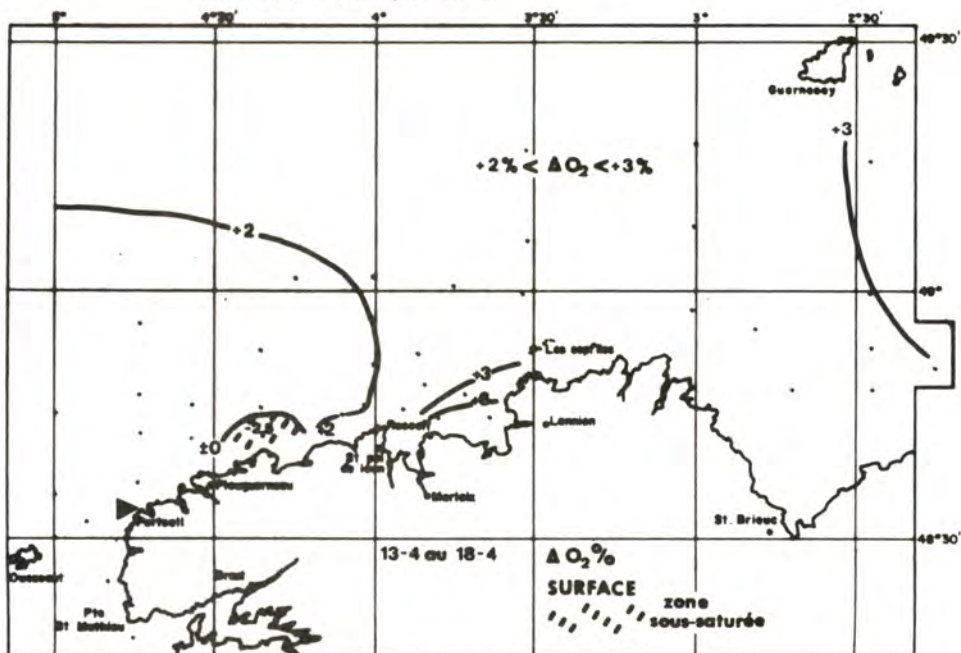


FIGURE 7

Ecarts d'oxygène dissous par rapport à la saturation, en surface à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").

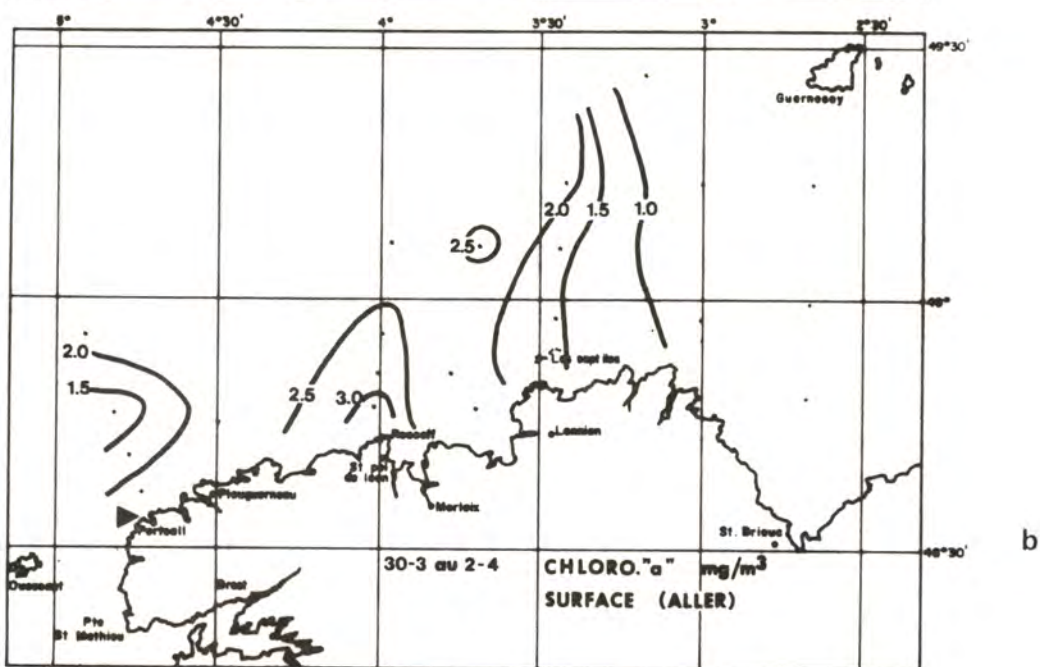
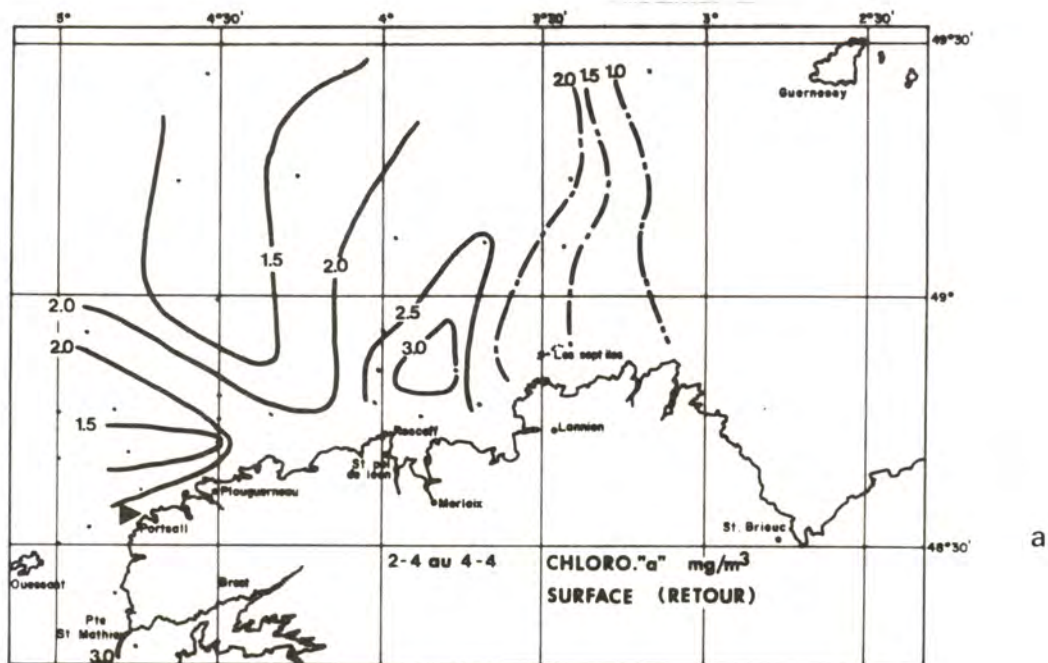


FIGURE 8a, b

Chlorophylle "a" en surface au début avril (aller et retour de la campagne "SUROIT 1").

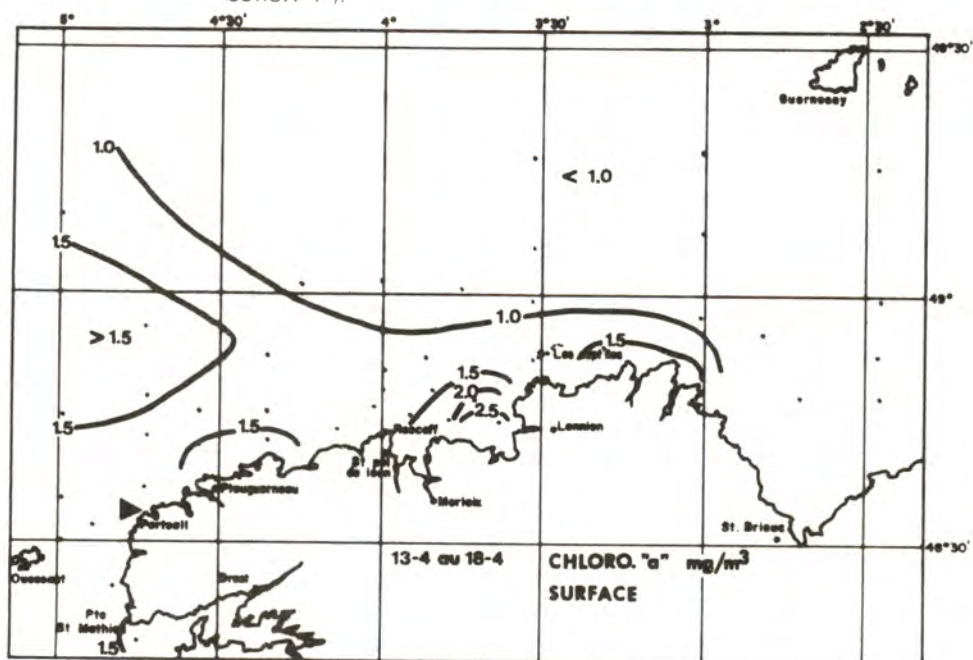


FIGURE 9

Chlorophylle "a" en surface à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").

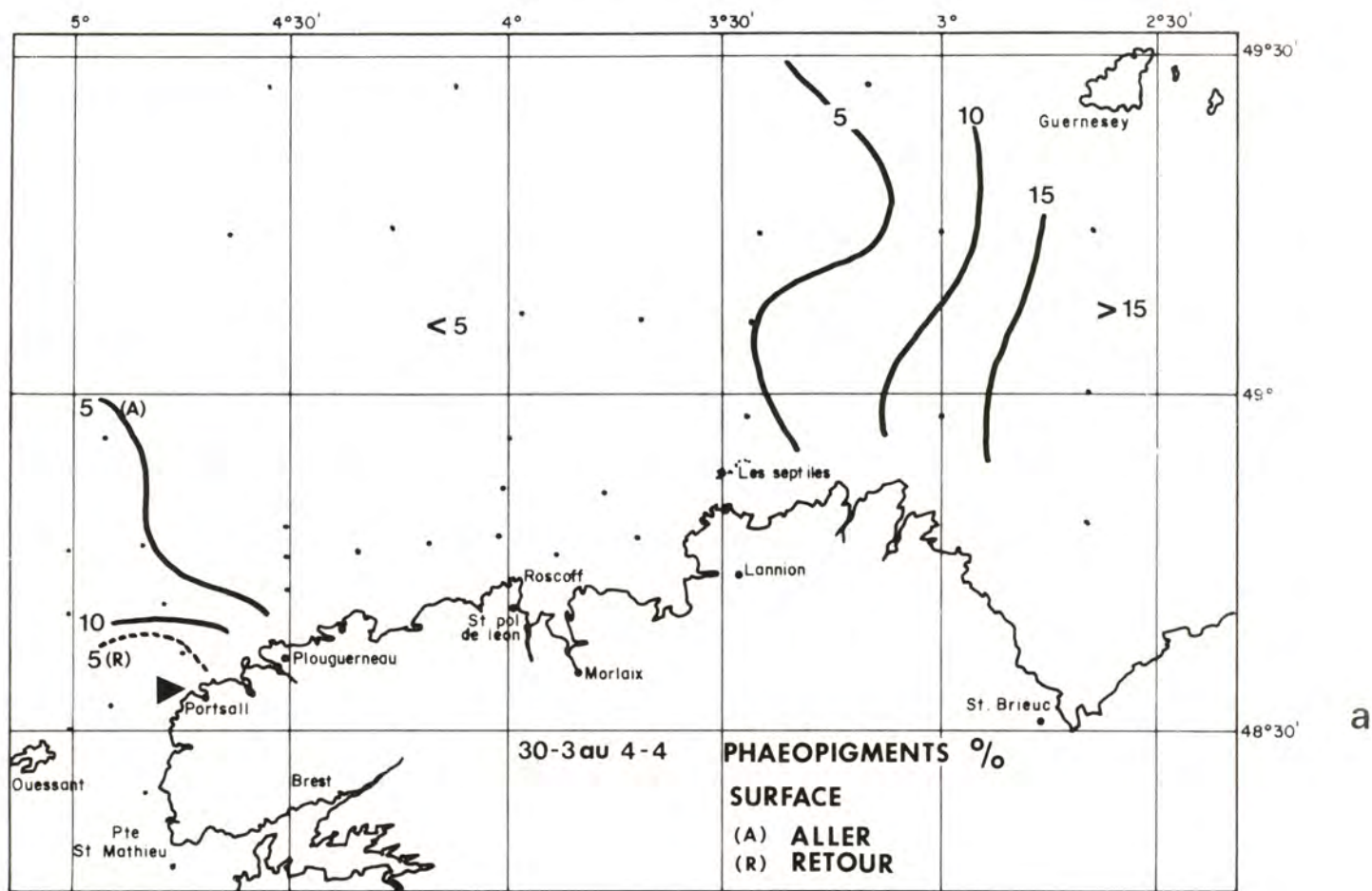


FIGURE 10

Pourcentages de phaeopigments en surface au début avril (campagne "SUROIT 1").

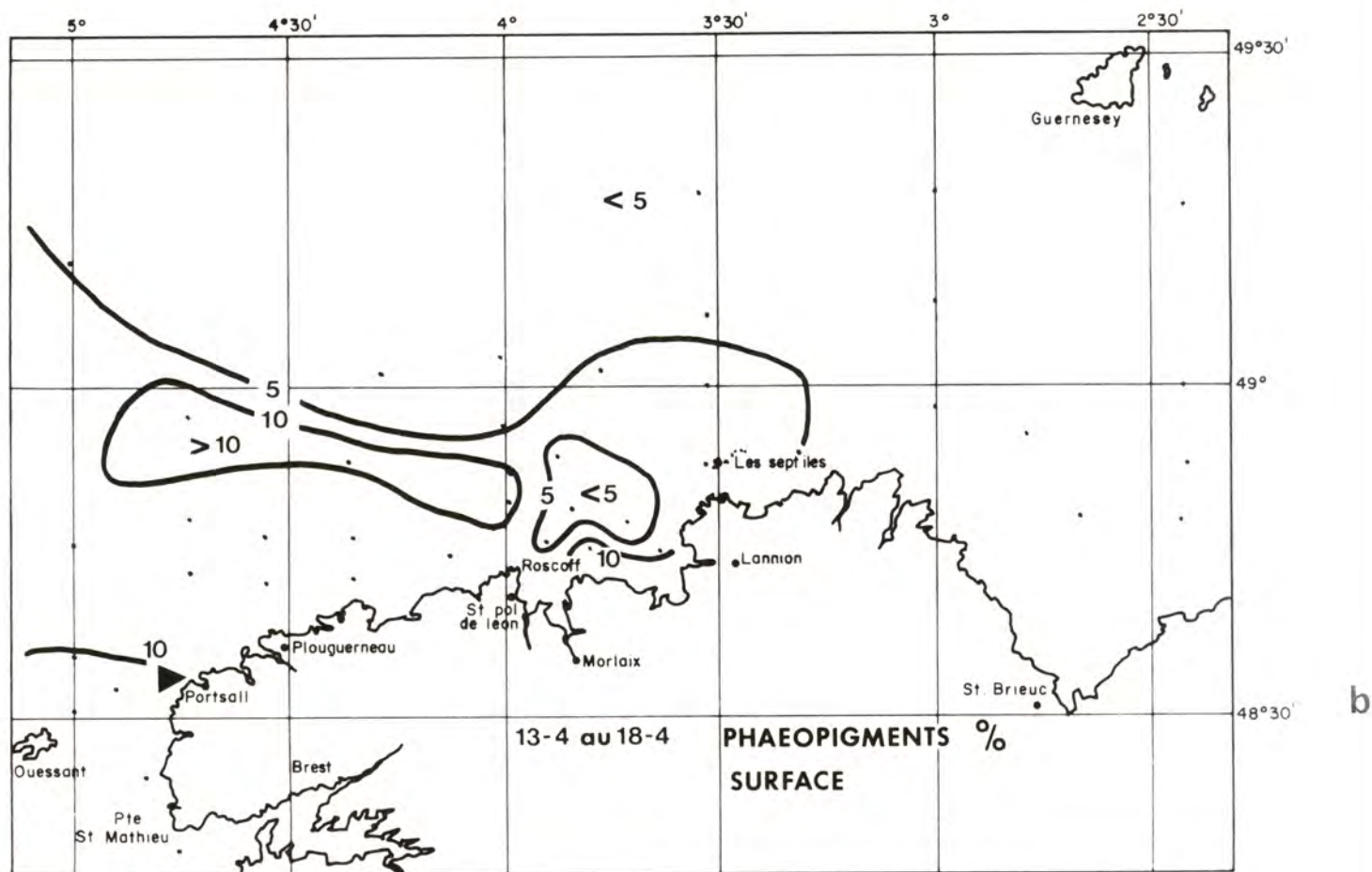


FIGURE 11

Pourcentages de phaeopigments en surface à la mi-avril (campagne "SUROIT 3").

DISCUSSION

1. LA MANCHE SUD-OCCIDENTALE

La zone étudiée présente une grande homogénéité verticale pendant la période suivie. Les courants intenses et les vents forts provoquent un mélange des eaux sur toute la profondeur à cette période de l'année. COOPER (1967) a montré l'importance des vents de secteur Ouest sur la circulation dans cette partie de la Manche où l'on peut s'attendre à un mouvement à caractère cyclonique (HENAFF, 1973). Dans ces conditions, la circulation se fera d'Ouest en Est le long de la côte bretonne et on peut envisager une entrée d'eau plus salée par l'Ouest.

Cette situation peut être rapprochée de celle que l'on observe à la campagne "SUROIT 1". Cette campagne a en effet été précédée d'une période de vents de secteur Ouest à Sud-Ouest du 18 mars au 2 avril (GUNDLACH and HAYES, 1978) et les mesures de salinité font apparaître une pénétration d'eaux de salinité plus forte par le Sud-Ouest, comme on peut en juger par la direction des isohalines (fig. 2). Si la distribution d'ensemble des salinités se retrouve à la campagne "SUROIT 3", il n'en reste pas moins qu'une modification est constatée le long de la côte du Finistère. L'intrusion des eaux plus salées par l'Ouest paraît moins évidente et on note une plus grande homogénéité verticale. Ce changement peut être imputé aux vents de secteurs Est à Nord-Est ayant soufflé du 2 au 11 avril, vents froids responsables également de la baisse de température survenue entre le début et la mi-avril. Une des principales conséquences de l'homogénéité verticale, due aux brassages des eaux, sera la dispersion dans toute la couche d'eau de toute modification du milieu intervenant à un niveau quelconque. C'est ainsi que des concentrations élevées d'hydrocarbures ont pu être mesurées par plus de 50 m de profondeur et que les différences entre le fond et la surface se sont révélées particulièrement faibles (MARCHAND, 1978).

En ce qui concerne l'examen des résultats de chlorophylle et d'oxygène dissous, nous nous intéresserons tout d'abord à la partie Est de la zone étudiée, partie non touchée par les hydrocarbures.

Dans cette zone la température est restée stable, ou a légèrement augmenté entre le début et la mi-avril ; bien que les concentrations en chlorophylle "a" soient du même ordre de grandeur, à deux semaines d'intervalle, on doit admettre que la première poussée printanière a eu lieu entre les deux campagnes. En effet, alors que l'oxygène dissous est à une concentration très proche de la saturation ($\Delta O_2 < +0,5\%$) au début avril, il est nettement en sur-saturation à la mi-avril ($\Delta O_2 \# +2 \text{ à } +3\%$), témoignant d'une activité photosynthétique récente ou en cours. De même, le pourcentage de phaeopigments chute de près de 15% à une valeur nulle, caractérisant ainsi le passage de populations phytoplanctoniques âgées à des populations jeunes en phase de développement. Ces faibles concentrations de chlorophylle ne peuvent être, semble-t-il, que la conséquence du "broutage" des cellules végétales par le zooplancton.

En ce qui concerne la zone située à l'Ouest du 3ème degré de longitude, elle apparaît comme en phase de poussée printanière lors de la campagne "SUROIT 1" (début avril). On y relève en effet des valeurs de chlorophylle "a" élevées associées à une sursaturation en oxygène ($>3\%$ au large), et à de faibles pourcentages de phaeopigments.

L'observation d'un déplacement vers l'Est de la distribution des chlorophylles entre l'aller et le retour de cette campagne suggère un déplacement du phénomène de "bloom" d'Ouest en Est, cette hypothèse étant appuyée par les observations faites dans la partie Est où le développement planctonique a eu lieu entre le début et la mi-avril.

Les résultats de la campagne "SUROIT 3" font apparaître à la mi-avril, dans toute cette zone Sud-Ouest de la Manche, une assez grande homogénéité de concentrations en chlorophylle "a" (1 à 1,5 mg/m³) associée à des teneurs en phaeopigments faibles au large ($<5\%$) mais plus élevées à la côte ($\# 10\%$). L'hypothèse d'une dégradation résultant d'un "broutage" plus intense par le zooplancton ne semble pas confirmée par les données de biomasse (SAMAIN et coll, 1978). Les populations phyto-planctoniques se présentent donc vers la mi-avril comme vraisemblablement plus âgées dans la bande côtière, ce vieillissement résultant d'une réduction du "broutage" zooplanctonique. Les sursaturations mesurées au nord du Finistère sont assez faibles (+1 à 1,5%) et ne témoignent pas d'une activité photosynthétique

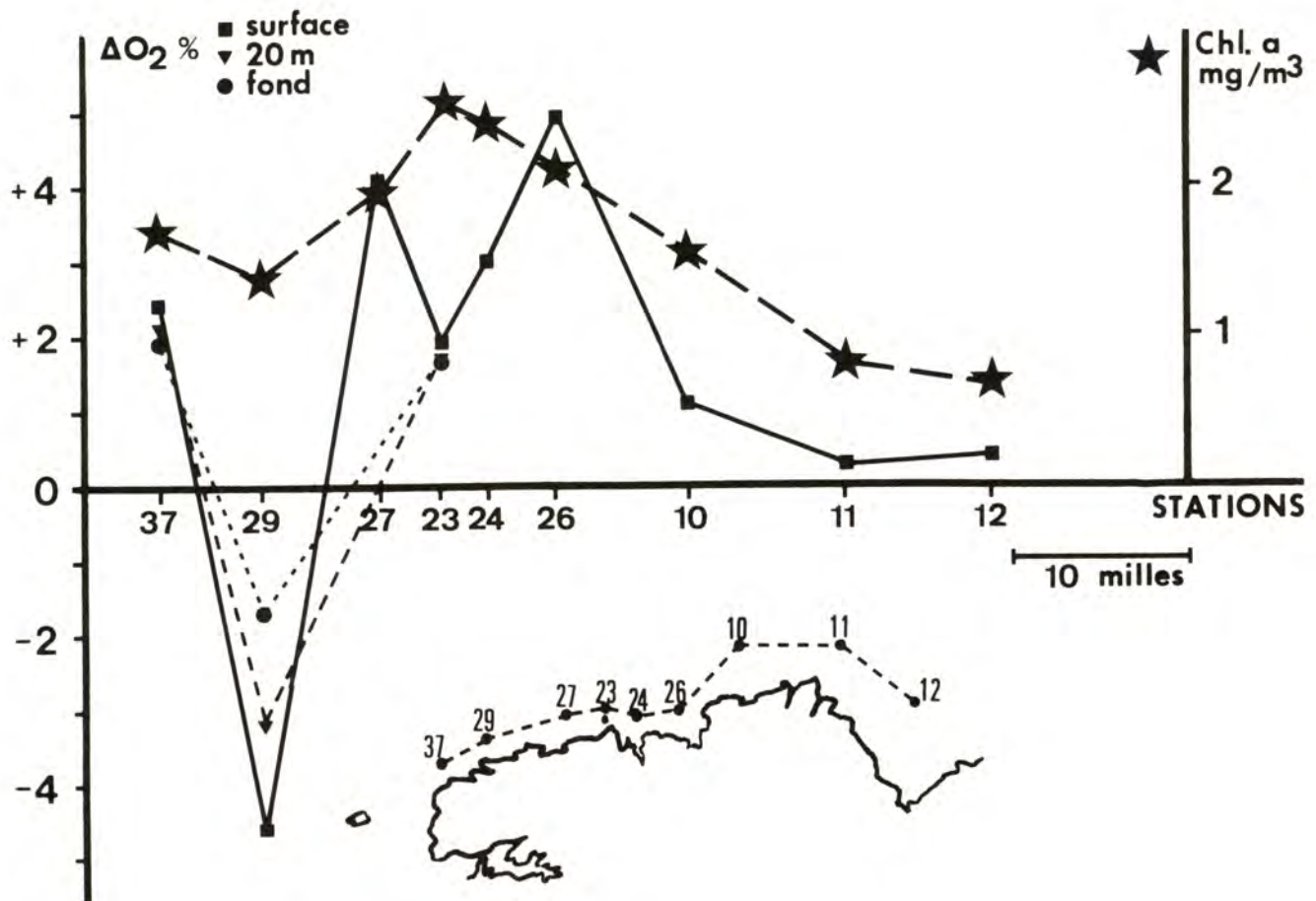


FIGURE 12 Variations du pourcentage d'oxygène dissous par rapport à la saturation et de la chlorophylle "a" aux stations côtières effectuées lors de la campagne "SUROIT 1" (début avril).

très intense, à moins qu'une partie de l'oxygène en sursaturation ne soit consommé par des phénomènes de dégradation des hydrocarbures.

A la suite de ces observations, nous constatons que les résultats concernant les pigments photosynthétiques ne permettent pas de mettre en évidence d'anomalie quantitative caractéristique du phytoplancton dans la Manche du Sud-Ouest.

Parmi les expériences concernant l'effet des hydrocarbures sur la photosynthèse, on peut noter soit des effets stimulants à des basses concentrations de 10 à 30 ppb (GORDON, D.C., in ANONYME, 1975) soit des effets nuls pour certaines espèces jusqu'à 300 ppb (même référence) soit des effets inhibiteurs plus ou moins prononcés (GORDON D.C., in ANONYME, 1975 ; LACAZE, 1974).

Dans le cas présent, l'étude et la comparaison des mesures de chlorophylle et phaeopigments entre les zones du large très peu polluées par les hydrocarbures et les zones côtières nettement plus polluées ne suffisent pas pour déterminer un effet évident des hydrocarbures sur la photosynthèse.

Considérant donc que les concentrations de chlorophylle sont normales, nous avons voulu les comparer aux écarts d'oxygène dissous par rapport à la saturation. Nous avons représenté sur la figure 12 l'évolution Ouest-Est de ces deux paramètres aux stations situées entre 5 et 10 milles de la côte, lors de la campagne "SUROIT 1". Ce tracé met en évidence la sous-saturation anormale en oxygène, constatée 10 milles à l'Est de l'"AMOCO-CADIZ", alors que la teneur en chlorophylle n'est pas différente de celle des zones avoisinantes.

Si nous prenons comme niveau de référence la moyenne des stations 27 et 37, l'anomalie constatée en surface par rapport à la sursaturation attendue (+ 2,5% environ) est de - 7%. Cette valeur correspond à un déficit en oxygène de 0,45 ml/l soit 0,65 mg/l. L'homogénéité constatée aux autres stations en oxygène dissous permet d'assigner aux immersions - 20 m et - 65 m des déficits respectifs de 5% et 4% environ, c'est-à-dire 0,35 ml/l (0,5 mg/l) et 0,25 ml/l (0,35 mg/l). Etant donné que ces déficits en oxygène sont calculés par rapport aux valeurs observées en des points voisins, de caractéristiques physico-chimiques très comparables, l'attribution de ce déficit à la présence des hydrocarbures est une hypothèse raisonnable.

La concentration en oxygène dissous est la résultante des facteurs physiques, chimiques et biologiques suivants :

- (1) échanges à l'interface océan-atmosphère
- (2) diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau
- (3) utilisation lors de la photooxydation des matières organiques
- (4) consommation biologique pour la dégradation des matières organiques
- (5) production par photosynthèse.

Le déficit en oxygène relevé au nord de Plouguerneau prouve que, dans cette zone, les échanges physiques (1) et (2) n'ont pas pu compenser les consommations photochimique (3) et biologique (4) (la production biologique (5) est prise en considération dans le calcul du déficit).

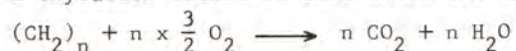
Plusieurs produits oxygénés, identifiés ou non, résultant de la dégradation photochimique des hydrocarbures, ont été mis en évidence par les analyses de la NOAA et de l'EPA (CALDER et coll, 1978). Un certain nombre de produits oxygénés peuvent résulter du métabolisme des microorganismes (YEN, 1975), tandis qu'une dégradation totale peut également être réalisée par les bactéries (ANONYME, 1975).

Si nous faisons l'hypothèse d'un milieu oxygéné contenant des hydrocarbures, sans échanges avec l'extérieur, et que nous supposions l'oxygène consommé exclusivement par la dégradation totale des hydrocarbures^(*), nous pouvons estimer l'ordre de grandeur de la quantité minimum d'hydrocarbures touchés par les phénomènes d'oxydation. Nous attribuerons respectivement aux hydrocarbures aliphatiques et aromatiques les formules simplificatrices $(CH_2)_n$ et $(CH)_n$.

(*)

Cela équivaut à prendre un quotient respiratoire $\frac{\text{Moles CO}_2 \text{ produites}}{\text{Moles O}_2 \text{ consommées}} = 1$ (OGURA, 1975)

L'oxydation totale se fera selon les réactions :



Ces dégradations correspondent approximativement, pour 1 gramme d'oxygène consommé, à 0,29 g d'hydrocarbures aliphatiques et 0,32 g d'hydrocarbures aromatiques. Nous retiendrons donc la valeur de 0,3 g d'hydrocarbures totalement oxydés par gramme d'oxygène.

Ainsi, lors de la campagne "SUROIT 1", le déficit en oxygène constaté à la station 29 correspondrait, selon les hypothèses restrictives formulées ci-dessus, à une dégradation totale d'environ 200 µg/l en surface, 150 µg/l à 20 m et 110 µg/l à 65 m.

Ce calcul ne prend pas en compte la réoxygénation physique de l'eau. Or le vent et la houle ont été très importants au cours du mois qui a suivi l'échouage de l'"AMOCO-CADIZ" et, même si le film d'hydrocarbures répandu à la surface a pu limiter partiellement les échanges avec l'atmosphère, on ne peut exclure a priori une certaine réoxygénation. Les quantités d'hydrocarbures oxydés calculées par la méthode ci-dessus seraient donc de ce fait sous-estimées. Par ailleurs, on doit tenir compte qu'une partie des composés ne subit qu'une oxydation partielle. Par conséquent, on voit que la quantité d'hydrocarbures ayant subi une oxygénation (peut-être plusieurs centaines de µg/l) paraît bien supérieure à celle qui est mise en évidence par les diverses méthodes d'analyse (MARCHAND, 1978 ; MOREL et COURTOT, 1978 ; CALDER et coll, 1978).

Cette constatation tendrait à prouver que les processus de dégradation biologique ou photochimique ont abouti à une oxydation poussée des hydrocarbures dont une partie des composés formés ne peut plus être prise en compte par les méthodes d'analyse^(*).

Si l'on se réfère aux concentrations d'hydrocarbures relevés dans le milieu, on peut constater que la zone de sous-saturation en oxygène se situe à l'Est de celle où ont été relevées les valeurs les plus élevées d'hydrocarbures (région de Portsall à l'aller de la campagne "SUROIT 1").

Ce fait s'explique aisément si l'on tient compte d'une part du déplacement des masses d'eau d'Ouest en Est le long de la côte, d'autre part des cinétiques de dégradation et de dispersion des hydrocarbures. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du lieu de l'échouage, la consommation d'oxygène s'accroît jusqu'à ce que la concentration des composés oxydables soit suffisamment faible pour réduire la demande en oxygène.

Le déplacement vers l'Est est confirmé par les mesures de la campagne "SUROIT 3" effectuées 2 semaines après les précédentes. Cependant, la réduction de la zone sous-saturée peut s'expliquer par l'arrêt des apports d'hydrocarbures et leur dispersion.

2. LES ESTUAIRES ET LES BAIES

Les mesures effectuées dans les estuaires présentent de faibles dessalures aux stations les plus en amont : la pluviométrie importante de l'hiver et du printemps se fait donc encore sentir à la mi-avril.

Les valeurs de chlorophylle et de phaeopigment sont en accord avec ce qui a été observé à la campagne "SUROIT 3" effectuée à la même période.

La partie Est se caractérise en effet par des populations dont le développement est en cours ou très récent (sursaturation en oxygène, phaeopigments nuls) tandis que les autres lieux de prélèvement montrent des populations plus âgées.

(*) La dégradation biologique aboutit entre-autres, à la formation d'alcools, d'acides à bas poids moléculaire ou de CO₂ si l'oxydation est totale (YEN, 1975). En outre, un certain nombre d'inconnues subsistent quant aux types de composés oxydés échappant aux méthodes courantes d'analyse (LASETER, 1978).

La comparaison des écarts de pourcentages d'oxygène dissous par rapport à la saturation avec ceux observés au large ne peut pas être rigoureuse en ce qui concerne les points situés dans les estuaires. Ces derniers sont en effet abrités du vent et de la houle et la plus faible agitation de surface qui en résulte ralentit les échanges eau-atmosphère, ces derniers tendent toujours à ramener l'eau à son niveau de saturation.

Ainsi, dans l'Aber Wrac'h on note des sursaturations élevées aux points 1 et 2, alors que les résultats de chlorophylle "a" seule ne laisseraient pas supposer de telles valeurs par comparaison aux autres observations effectuées.

Remarquons que le pourcentage de phaeopigments trouvé à la station 1 est particulièrement fort (17,6%) et ne caractérise donc pas (malgré la sursaturation d'oxygène de 9%) une population phytoplanctonique particulièrement active. Une très faible activité zooplanctonique peut être à l'origine de ce vieillissement.

Si nous comparons les quantités de chlorophylle trouvées à celles qui ont été mesurées par ailleurs en baie de Morlaix (HOUVENAGHEL, 1975 ; GRALL et JACQUES, 1964), nous constatons que les valeurs relevées sont du même ordre de grandeur. En effet, en 1962 et 1963, des concentrations maximales de l'ordre de 2 à 2,5 mg/m³ sont notées au moment des poussées phytoplanctoniques printanières. Les quantités trouvées en baies de Morlaix et de Lannion à la mi-avril 1978 sont tout à fait comparables (et même supérieures en baie de Lannion). Comme nous ne disposons que d'une seule mesure, les maxima ont donc pu être plus élevés, ce qui tendrait à prouver que la présence des hydrocarbures dans ces baies n'a pas eu d'effet inhibiteur sur la croissance du phytoplancton, du moins dans un premier temps.

En ce qui concerne l'oxygène dissous, on ne constate dans la zone côtière aucune sous-saturation contrairement à ce qui a été observé plus au large.

Ces premières données ont été acquises un mois environ après l'échouage et on a pu constater qu'en mer la sous-saturation s'était déjà fortement réduite à cette date.

CONCLUSION

Les conséquences de la pollution de la Manche Sud-Occidentale par les hydrocarbures du pétrolier "AMOCO-CADIZ" ne pourront être tout à fait déterminées que par une étude à long terme.

Les premiers résultats présentés ici ne mettent pas en évidence d'anomalie quantitative du phytoplancton au moment de sa poussée printanière. Même dans l'Aber Wrac'h, particulièrement touché par le pétrole, les mesures ne révèlent pas une forte perturbation du phytoplancton un mois après l'échouage.

La principale anomalie constatée dans les paramètres physicochimiques concerne l'oxygène dissous qui présente une sous-saturation notable jusqu'à un mois après l'échouage, dans les masses d'eau situées au Nord du Finistère un peu à l'Est du lieu de l'échouage. Cette sous-saturation serait la preuve d'une dégradation assez poussée des hydrocarbures dispersés dans la phase aqueuse ; il n'est pas possible de préciser l'importance relative des phénomènes biologique et photochimique dans cette dégradation.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1975. "Petroleum in the Marine Environment". Workshop on Inputs, Fates and the Effects of Petroleum on the Marine Environment, May 21-25, 1973. Airlie House, Airlie, Virginia. National Academy of Sciences / Washington D.C. 107 p.
- CALDER J.A., J. LAKE and J. LASETER. 1978. "Chemical composition of selected environmental and petroleum samples from the "AMOCO-CADIZ" oil spill". In: The "AMOCO-CADIZ" oil spill, A preliminary scientific report. NOAA/EPA Special report, Avril 1978.
- CARITT, D.E., and J.H. CARPENTER, 1966. "Comparison and evaluation of currently employed modifications of the winkler method for determining dissolved oxygen in sea water" ; a NASCO Report. J. Mar. Research, 24, 286-318.
- COOPER, L.H.N., 1967. "The physical oceanography of the Celtic sea". Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 5, 99-110.
- GRALL, J.R. et G. JACQUES, 1964. "Etude dynamique et variations saisonnières du plancton de la région de Roscoff". Cah. Biol. Mar, 5, 423-455.
- GUNDLACH, E.R. and M.O. HAYES, 1978. "Investigations of beach processes" . In: The "AMOCO-CADIZ" oil Spill ; A preliminary Scientific Report. NOAA/EPA Special Report, Avril 1978.
- HENAFF, G., 1973. "Contribution à l'étude de l'océanographie physique du secteur Nord-Gasconne". Thèse Océanographie Physique, Université de Bretagne Occidentale, 6 ave Le Gorgeu, BREST 99 p.
- HOUVENAGHEL, G.T., 1975. "Contribution à la connaissance de la distribution des sels nutritifs en baie de Morlaix (Finistère, France). Mise en évidence du rôle des algues benthiques". Hydrobiologia, 47, 1, 13-29.
- LACAZE, J.C., 1974. "De la production primaire d'écosystèmes expérimentaux établis dans l'estuaire de la Rance. Effet d'un pétrole brut". C.R. Acad. Sc. Paris, t. 278, série D, 2531-2534.
- LASETER, J.L., 1978. Communication personnelle.
- LORENZEN, C.J., 1967. "Determination of chlorophyll and phaeopigments : spectrophotometric equations." Limnol. Oceanogr., 12, 343-346.
- MARCHAND, M., 1978. "Estimation par spectrofluométrie des concentrations d'hydrocarbures dans l'eau de mer en Manche Occidentale à la suite du naufrage de l'AMOCO CADIZ, du 30 Mars au 18 Avril 1978".
- MOREL G. et P. COURTOT, 1978. "Résultats préliminaires de la pollution pétrolière par l'AMOCO-CADIZ". Teneurs en hydrocarbures totaux dans les eaux de mer, de la Rade de Brest à la presqu'île du Cotentin. (Mars-Avril 1978). Dans ce volume.
- OGURA, N., 1975. "Further studies on decomposition of dissolved organic matter in coastal sea water". Mar. Biol. 31, 101-111.
- POSTMA, H., A. SVANSSON, H. LACOMBE and K. GRASSHOFF, 1976. "The International Oceanographic Tables for the solubility of oxygen in sea water". J. Cons. Int. Explor. Mer, 36(3), 295-296.
- SAMAIN, J.F., J. LE FEVRE, J. MOAL, J.Y. DANIEL et J. BOUCHER, 1978. "Evolution de la biomasse et de la physiologie du zooplancton sur la côte Nord de la Bretagne en relation avec l'échouage de l'AMOCO-CADIZ". Résultats préliminaires du 15 mars au 15 mai". Dans ce volume.
- WEISS, R.F., 1970. "The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and sea water". Deep Sea Res., 17, 721-735.
- YEN, T.F., 1975. "Genesis and degradation of petroleum hydrocarbons in marine environments". In: Marine Chemistry in the Coastal Environment, T.M. CHURCH Editor. ACS Symposium Series 18, American Chemical Society, Washington, D.C.

EFFECT OF COASTAL PROCESSES ON THE DISTRIBUTION
AND PERSISTENCE OF OIL SPILLED BY THE AMOCO-CADIZ
- PRELIMINARY CONCLUSIONS -

par

L. D'OZOUVILLE⁺, E.R. GUNDLACH⁺⁺, M.O. HAYES⁺⁺,

+ Centre Océanologique de Bretagne, Géologie Appliquée, B.P. 337, 29273 BREST, France

++ Coastal Research Division, Dept. of Geology, University of South Carolina,
COLUMBIA, South Carolina, USA 29208

R E S U M E

La partie de la Bretagne nord polluée par les hydrocarbures de l'AMOCO-CADIZ a un rivage très découpé qui est caractérisé par une dynamique côtière importante ayant favorisé une dispersion rapide des hydrocarbures. Entre le 19 mars et le 2 avril d'une part et du 20 au 28 avril 1978 d'autre part, il a été réalisé par air et le long du littoral l'étude de la zone touchée pour examiner la distribution et la longévité des hydrocarbures sur la côte. La pollution a d'abord été contrôlée par la géomorphologie régionale (promontoires rocheux, tombolos, baies crénelées, etc...) et ensuite par les vents. Nos résultats indiquent qu'environ 62.000 tonnes d'hydrocarbures avaient touché 123 km de rivage et de rochers au large lors de la première étude. Durant la deuxième partie (du 20 au 28 avril) les hydrocarbures avaient atteint 375 km de côte et îlots rocheux, ceci étant dû à un changement dans la direction des vents ; par contre la quantité d'huile était de 9.200 tonnes, soit une réduction de 85% par rapport à la première estimation. Cette étude confirme un index de vulnérabilité développé antérieurement qui classe les côtes suivant une échelle de 1 à 10 en ce qui concerne la longévité potentielle des hydrocarbures après une pollution.

A B S T R A C T

The section of North Brittany contaminated by the "AMOCO-CADIZ" oil spill (17 March 1978) is a low-lying ria coastline dominated by dynamic processes favorable for the rapid dispersion of the oil. Aerial and ground surveys were made of the impacted area on 19 March - 2 April and 20 - 28 April 1978, to detail the distribution and persistence of oil along the shoreline. Oil deposition on the shoreline was primarily controlled by local geomorphology (e.g. rocky headlands, tombolos, crenulate bays, etc..) and wind-driven currents. Our results indicate that approximately 62,000 tons of oil was spread along 123 km of coastline and offshore rocks at the time of our first study. During the second study period, oil was distributed along 375 km of shoreline and offshore rocks due to a shift in wind direction. However, the calculated quantity of oil was reduced by 85% to 9,200 tons. This study supports a previously developed oil spill vulnerability index which classifies shorelines on a scale of 1-10 as to the potential longevity of oil after an oil spill.

M O T S - C L E S : Pollution Hydrocarbures, Géomorphologie côtière, Processus côtiers

K E Y W O R D S : Oil spill, coastal geomorphology, Coastal processes.

INTRODUCTION

This paper presents a summary of our results concerning the influence of beach processes and sedimentation on the dispersal, grounding, burial and long-term fate of the Amoco Cadiz oil. These observations should provide valuable insights for coastal zone managers concerned with contingency planning for oil spills. This is true especially with regard to understanding the vulnerability of different coastal environments to oil spill impacts, as well as to planning for the availability of equipment and manpower needed for shore protection and clean-up in the event of a major spill.

Study of the spill site was carried out during two field sessions, one starting three days after the spill (19 March - 2 April) and the other beginning a month after (20 - 28 April). Field work consisted of a series of overflights and intensive ground inspection and surveys of the entire affected area. In total, 19 permanent beach survey stations and 147 beach observation stations were set up during the two study periods (Fig. 1). Extensive photography was carried out with approximately 4200 photographs being taken. A more detailed report of our activities is currently being prepared for publication by the National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Research Laboratories, Boulder, Colorado.

GEOLOGICAL SETTING

The geology of the Brittany peninsula is dominated by a suite of ancient igneous and metamorphic rocks that have been subject to a complex deformational history. The principal rock types along the oil spill site are granites, migmatites³, and metamorphic rocks. In as much as the last major tectonism took place 200 million years B.P., the area is tectonically stable at the present time. However, the resistant nature of the rocks to erosion and adjustments

³ A composite rock, made up of igneous and metamorphic materials mixed together as a result of intensive igneous and metamorphic action.

of land-sea levels over the past few thousand years have created a rugged coastline composed of numerous inshore islands and erosional cliffs separated by minor pocket beaches and ria⁴ systems. Everywhere, the primary shoreline trends are controlled by bedrock geology, with local trends being controlled by weathering and erosion along structural elements, such as faults and joints.

COASTAL PROCESSES

This section is a brief discussion of those physical processes related directly to beach dynamics and oil grounding. Our field observations indicate that the spill site is one of intense dynamic coastal processes. These conditions of high wave and tidal energy are generally conducive to rapid natural dispersion of the oil in exposed environments. However, the intricate topography of the shoreline allows for the sheltering of some environments from the waves and currents.

Winds and Waves

Wind patterns played a major role in the dispersal of the Amoco Cadiz oil along the shoreline. The wind pattern during the weeks following the spill was as follows:

- a. 17 March: to the south at 15-35 Km/hr.
- b. 18-28 March: westerly at over 20 km/hr.
- c. 29 March - 2 April: northeasterly at 10-20 km/hr.
- d. 2-10 April: southwesterly at 10-40 km/hr.

Wind blew consistently from the west between 18 March and 2 April, the time during which all the oil was lost from the tanker. Winds commonly blew over 20 km/hr throughout this period. This consistent, strong westerly wind accounts for the uniform west-to-east dispersal of oil immediately after the

⁴ Drowned river valley.

grounding. The wind changed on 2 April and blew consistently from the north-east until 10 April. Presumably, it was these and later northeast winds, aided by tidal currents, that dispersed the oil to the west and south during early April. Wind measurements that we made in the field between 22 and 26 April showed variable results, but easterly winds predominated.

Large waves were observed at high tide throughout the first field study period (19 March to 3 April). Estimates of significant wave heights were consistently on the order of 1-1.5 m, with heights of 2 m being common during the first few days of the spill. On the other hand, waves observed during the second field visit in late April were quite small, rarely exceeding 15 cm (at low tide). Unfortunately, no precise wave measurements (i.e., wave gauge recordings) were made during the spill to our knowledge.

Tides and Currents

The tidal range of the oil-affected area varies from 6 m at Brest to 9 m at Sillon de Talbert. The mean tidal range at Morlaix, which is centrally located in the spill site, is on the order of 7-8 m. These large tides generate strong tidal current throughout the spill site. We measured (with floats) tidal currents of 1.4 m/sec in the channel north of Roscoff. From the air, streaming lineations of mousse and other floating debris around stationary objects (e.g., rocks and buoys) gave evidence of the strong tidal currents. An exceptional spring tide, caused by a combination of spring tides and wind set-up associated with an intense low pressure system, occurred on the weekend of 25-26 March. This high tide greatly enhanced the pollution potential of the spill, in that areas not normally reached by the sea were exposed to the oil.

COASTAL MORPHOLOGY

The portion of the Brittany coast impacted by the Amoco Cadiz oil is an

irregular, low-lying ria⁵ coastline, which is composed mainly of small drowned river valleys and protruding rocky headlands. The Brittany coast is one of the most widely recognized ria coasts in the world, as a result of the writings of de Martonne (1903; 1906) and Guilcher (1948; 1958). Guilcher's (1958) text on coastal morphology is liberally endowed with references to and illustrations of the Brittany coast. A more recent publication by Chasse (1972) describes the morphology and sediments of selected segments of the spill site in great detail.

Depositional beaches are rare on the Brittany coast. Where present, they consist of sheltered pocket beaches, crenulate bays⁶, and tombolos⁷. In some embayments, broad tidal flats (mostly fine-sand) are exposed at low tide. Salt marshes are small compared to most coastlines with tidal ranges of this magnitude. Occasional dune areas are located near the mouths of the small streams.

The dominant aspect of the area is one of shoreline erosion, with bed-rock composition and structure controlling shoreline orientations. Rock scarps flank the seaward portions of all the islands and headlands. Beach sediments are generally thin and overlie eroded marsh clays and other eroded material. From Portsall east, all morphological indicators (spit orientation, crenulate bays, etc.) show a dominant longshore transport direction

⁵ "Rias may be defined as river systems partly or wholly flooded by the sea. The degree of drowning depends on the magnitude of the movement of base-level and on the altitude of the source of the rivers. The subaerial origin of rias is demonstrated by the occasional existence of incised meanders as on the Aulne at Landevennec in the Rade de Brest." (Guilcher, 1958, p. 153).

⁶ A crenulate bay is an asymmetrical semicircular bay carved by refracting waves that has a shape resembling a fish hook. Sediment is normally transported up the shank of the hook away from the barb.

⁷ A tombolo is a sand or gravel spit which connects an offshore island to the mainland or to another island. "In the Molene archipelago in Finistere, certain islets are connected twice a day (at low tide) to the larger islands and are called in Breton 'ledenez' ('extension of the island')." (Guilcher, 1958, p. 90).

from west to east, which agrees with the direction of transport of the oil during the first two weeks after the spill. The shoreline in the region of Brest and Baie de Douarnenez, however, is more complex, showing no general trend of sediment transport direction.

COASTAL SEDIMENTS

Beach and intertidal sediments of the spill site show a wide range of size, sorting, and composition. Gravels are present along retreating headlands, along arcuate beaches, and as a high-tide rim around intertidal sand flats. Sands occur as coarse-sand beaches within exposed pockets, and as flat, fine-sand beaches in sheltered areas and in front of coastal dunes. Muddy sediments are rare, except in a few sheltered rias and marshes, presumably because of the high wave and current conditions that prevail. Grain size data from the 19 stations studied in detail are presented in Table 1.

METHODS OF STUDY

The study of a major oil spill requires techniques, amenable to rapid implementation, that provide for maximum information gained with the least amount of field time expended. Large geographic areas have to be classified and sampled rapidly. In order to achieve this goal, we applied a modified version of the zonal method to the Amoco Cadiz oil spill site. The zonal method, which was developed by Hayes and associates (first described by Hayes et al., 1973), has been applied in several areas of the world, including the southeast coast of Alaska (Hayes et al., 1976) and during studies of the Metula, Urquiola, and Jakob Maersk oil spills (Gundlach and Hayes, in press). A modified form of the zonal method has been used to determine the vulnerability of coastal environments to oil spills in several parts of Alaska under the sponsorship of NOAA's OCSEAP program.

The zonal method consists of extensive use of aerial surveys verified by a series of ground stations. During the study, six flights were taken for purposes of visual inspection of oil distribution along the shoreline, observation of oil transport and dispersal processes, and for interpreting shoreline morphology and sedimentation patterns.

For verification of the oil distribution seen from the air, a total of 166 beach stations were visited during the two survey periods. Stations of two types were established, F stations and AMC stations (see location of stations on Figs. 1A and 1B). At the 147 F stations, the site was visually inspected, photographs taken, and observations were recorded on tape. Work at the 19 AMC stations included the following:

- a. Measurement of a topographic profile of the beach (at low tide).
The profile is measured by the horizon-leveling technique of Emery (1961). As the profile is measured, notations are made concerning all relevant changes of the beach, including the nature and occurrence of the oil. Permanent stakes were established to mark the location of the profile. Six of the profiles were resurveyed twice during the first visit and one was resurveyed three times. All of these stations will be revisited to repeat the surveys during each succeeding visit to the site.
- b. Three equally-spaced sediment samples were collected. These were taken for the purpose of characterizing the beach with respect to its oil-sediment interactions (e.g., oil penetration and burial). These samples have been analyzed for textural characteristics (mean grain size, sorting, etc.) in the laboratory (see Table 1). A total of 53 sediment samples were collected on the first trip.
- c. Trenches were dug to determine the distribution of buried oil. Each trench was sketched and photographed in detail.

TABLE 1. Grain size data for all AMC stations. All values are calculated according to Folk (1968). Stations locations are presented in Figure 1A and 1B.

Sample	Graphic Mean	Size Class ¹	Skewness	Standard Deviation ²
AMC-1A	0.691	CS	0.101	1.594 (PS)
AMC-1B	0.952	CS	0.197	1.413 (PS)
AMC-1C	1.954	MS	-0.134	1.350 (PS)
AMC-2A	-4.0	P		(PS)
AMC-2B	1.492	MS	-0.093	1.119 (PS)
AMC-2C		no sample		
AMC-3A	-7.0	C		(PS)
AMC-3B	2.415	FS	-0.571	1.243 (PS)
AMC-3C	0.123	CS	-0.042	1.316 (PS)
AMC-4A	0.503	CS	-0.263	1.024 (PS)
AMC-4B	0.847	CS	-0.003	0.561 (MWS)
AMC-4C	2.082	FS	-0.383	0.978 (MS)
AMC-5A	1.047	MS	-0.001	0.759 (MS)
AMC-5B	2.415	FS	-0.207	0.593 (MWS)
AMC-5C	2.026	FS	-0.134	0.757 (MS)
AMC-6A	0.306	CS	-0.129	1.601 (PS)
AMC-6B	1.007	MS	-0.813	2.670 (VPS)
AMC-6C	2.597	FS	-0.678	1.275 (PS)
AMC-7A	1.887	MS	-0.291	0.733 (MS)
AMC-7B	1.538	MS	-0.393	1.339 (PS)
AMC-7C	2.495	FS	-0.161	0.901 (MS)
AMC-8A		no sample		
AMC-8B	2.536	FS	-0.545	1.103 (PS)
AMC-8C	2.158	FS	-0.235	0.728 (MS)
AMC-9A	1.959	MS	0.010	0.434 (WS)
AMC-9B	2.112	FS	-0.049	0.459 (WS)
AMC-9C	2.197	FS	-0.011	0.486 (WS)
AMC-10A	2.955	FS	-0.095	0.358 (WS)
AMC-10B	3.005	VFS	-0.093	0.389 (WS)
AMC-10C	3.017	VFS	-0.123	0.419 (WS)

TABLE 1. Grain size data (cont.)

Sample	Graphic Mean	Size Class ¹	Skewness	Standard Deviation ²
AMC-11A	1.947	MS	-0.116	0.536 (MWS)
AMC-11B	2.124	FS	-0.059	0.639 (MWS)
AMC-11C	1.798	MS	-0.117	0.690 (MWS)
AMC-12A	0.533	CS	0.168	0.531 (MWS)
AMC-12B	0.106	CS	0.201	1.993 (PS)
AMC-12C	1.306	MS	-0.125	0.689 (MWS)
AMC-13A	1.824	MS	0.116	0.640 (MWS)
AMC-13B	2.400	FS	-0.409	0.948 (MS)
AMC-13C	2.348	FS	-0.367	1.016 (PS)
AMC-14	1.468	MS	-0.245	1.210 (PS)
AMC-15A	3.136	VFS	-0.057	0.461 (WS)
AMC-15B	0.926	CS	-0.633	2.819 (VPS)
AMC-15C	3.277	VFS	-0.052	0.363 (WS)
AMC-16A	-4.693	P	0.149	0.330 (VWS)
AMC-17A	-0.174	VCS	-0.238	2.236 (VPS)
AMC-17B	1.461	CS	-0.266	0.713 (MS)
AMC-17C	-0.577	VCS	-0.498	2.000 (VPS)
AMC-18A	4.613	CS	-0.295	1.863 (VPS)
AMC-18B	2.100	FS	-0.134	0.934 (MS)
AMC-18C		no sample		
AMC-19A	3.220	VFS	-0.217	0.393 (WS)
AMC-19B	3.319	VFS	-0.124	0.353 (WS)
AMC-19C	3.310	VFS	-0.141	0.336 (VWS)

¹ Size Class

C = cobbles
P = pebbles
VCS = very coarse-sand
CS = coarse-sand
MS = medium-sand
FS = fine-sand
VFS = very fine-sand

² Sorting

VWS = very well sorted
MWS = moderately well sorted
WS = well sorted
MS = moderately sorted
PS = poorly sorted

- d. A sketch was drawn in order to show the general coastal geomorphology and the surficial oil distribution.
- e. A number of photographs were taken of all aspects of the beach.

The Institute de Geographie Nationale (IGN), the Centre National pour l'Exploration des Oceans (C.N.E.X.O.), and the Institute Francais du Petrole (IFP) carried out a series of flights to study the distribution of oil on the water and along the coast. A total of 9 surveys have been completed, during which vertical aerial photographs were taken (2000 infrared black and white, 1800 black and white, and 400 color). These photographs, which are extremely useful, are still under study.

PRELIMINARY CONCLUSIONS

When our second site visit ended on 28 April, significant quantities of oil remained in the water and on the shoreline of the Amoco Cadiz oil spill site. It may take several years, or at least several months, for the remaining oil to be fully degraded. Therefore, any conclusions drawn at this early date will have to be considered preliminary. However, the complexity of the coastal system, plus the unusually large quantity of oil, provided a hitherto unequalled opportunity to learn about the behavior of spilled oil in the coastal zone.

Oil Dispersal Processes

The spill of the Amoco Cadiz provided a classic field experiment for the demonstration of the effects of dynamic coastal processes and coastal morphology on oil deposition along the coast. Strong, almost unidirectional winds from the west rapidly forced the oil eastward during the period from 18-28 March. The rugged and indented topography of the coast then played a major role in determining where the oil would be deposited. The shorelines facing westward were hardest hit, whereas those facing eastward, particularly

those with the larger embayments, were mostly unaffected. This process is depicted diagrammatically in Figure 2.

During early April, the dispersal pattern of the oil changed. Major oil accumulations were broken up and dispersed. Due to the wind shift at the beginning of April, the oil was spread far into many of the large embayments, thereby oiling previously clean areas. However, instead of single large oil masses, only thin bands of small mousse balls or oiled algae were deposited along the swash lines.

Effects of Wave Action

During our earlier studies of the Metula and Urquiola oil spills, we observed that the degree to which an area is exposed to wave action greatly influences the longevity, or persistence, of oil within that area. Similar observations were made at the Amoco Cadiz site. Rocks, heavily oiled south of Portsall, were clean a short time later due to high wave energy at that locale. Many of the exposed environments along each northward-jutting peninsula were generally free of oil within a month. Conversely, as wave energy decreases, oil persistence increases. Very little change in oil coverage was noted inside the harbor at Portsall, at Castel Meur (F-60), and at Primel-Tregastel (F-94). The marsh environment at Ile Grande illustrates an area with very low exposure to waves and, consequently, one with the longest potential duration of effects.

Beaches versus Sheltered Rocky Areas

In general, the sand beaches responded to natural cleansing much faster than sheltered rocky areas. Beaches undergo natural erosion and depositional cycles in which large amounts of sediment are continuously reworked by waves. This action removes much of the oil within a relatively short period of time. In contrast, sheltered rocky areas and coarse-cobble beaches undergo change only during great storms. Also, oil seeping between rocks or

into crevasses will be removed from direct wave. Thus, under similar conditions of wave exposure, a sand beach is much more likely to be cleaned by natural processes than a rocky area.

Localized Geomorphic Controls of Oil Deposition

Within the areas receiving the oil, specific morphological features influenced the oil distribution pattern. Included among these features are: (1) crenulate bays, (2) tombolos, (3) low-tide terrace, ridge- and runnel-systems, (4) scour pits around boulders, and (5) regional bedding and joint patterns in the bedrock.

The catchment of oil by crenulate bays is illustrated in Figure 3. Where they occur on west-facing shorelines, as at stations F-39, -62, -68, and AMC-9 and -17, crenulate bays tend to trap oil at the head of the bay (northeast end), where the shoreline has its maximum curvature. The tail or southwest portion was usually free of oil during the first days of the spill (when the winds were westerly).

Another morphological feature, the tombolo, also had a marked influence on the initial deposition of oil. As illustrated at stations AMC-5 and F-20, oil became trapped behind rocks or a small island due to the convergence of wave fronts around the offshore rocks. This process is illustrated in Figure 4.

Other small-scale features that tended to cause localized oil deposition included scour pits around boulders and jointing and bedding patterns in bedrock, both of which were observed at station AMC-13. An oil pond 5 cm deep was observed in a runnel on the low-tide terrace at station AMC-12.

Oil Response to Beach Cycles

Beaches undergo a cycle of erosion and deposition in response to changing wave conditions. By making repeated measurements of our permanent beach profiles, we were able to observe the effect of the beach cycle on erosion

and retention of the oil. The recovery of the beaches (by berm formation) after the initial period of high wave energy (during the early days of the spill) commonly caused deep burial of oil layers in the beach face (see Fig. 5). Therefore, a basic understanding of the beach cycle provides a good foundation for interpreting the behavior of oil on beaches.

The Vulnerability Index

Based on studies of other spills, we have developed a system of classifying coastal environments with respect to oil spill impacts called the vulnerability index (Hayes, Brown and Michel, 1976; Gundlach and Hayes, in press). The index is based mostly on predicted longevity of oil within each environment, but it has some biological criteria. Data derived from the study of this spill supports some of our initial conclusions and allows for further refinement of others.

Table 2 presents a summary of the oil spill vulnerability index with particular reference to the Amoco Cadiz oil spill. The order listed (1-10) is toward increasing vulnerability to oil spill damage. The higher the index value, the greater the long-term damage.

Oil Response to Tide-Level Changes

One of the questions raised by our previous oil spill studies (mainly the Metula and Urquiola spills) is whether or not the oil lifts off the bottom with every flood tide (or does it become sediment-logged and remain on the bottom?). At Portsall (AMC-1) and Les Dunes-East (AMC-5), we monitored oil reaction during a flooding tide. At AMC-5, we also watched oil reaction during the ebb cycle. During the initial oiling, the first week after the grounding, oil definitely lifted off with the incoming tide and was redeposited on the ebb. However, during the second study period of late April, a large patch of sediment-bound oil was found on the tidal flat at Portsall. Some oil had mixed with the sediment and sunk (see Fig. 6).

TABLE 2. The Oil Spill Vulnerability Index with particular reference to the Amoco Cadiz oil spill. Higher index values indicate greater long-term damage by the spill. (For further information, consult Hayes, Brown, and Michel (1976) or Gundlach and Hayes, in press).

<u>Vulnerability Index</u>	<u>Shoreline Type; Example</u>	<u>Comments</u>
1	Exposed rocky headlands; Douarnenez to Pte. du Raz and Primel-Tregastel to Locquirec	Wave reflection kept most of the oil offshore; no clean-up was needed.
2	Eroding wave-cut platforms; south of Portsall and F-1 to F-82	Exposed to high wave energy; initial oiling was removed within 10 days.
3	Fine-grained sand beaches; stations south of Roscoff (AMC-9 and -10) and east of Portsall (AMC-5)	All only lightly oil-covered after one month, mainly by new oil swashes.
4	Coarse-grained sand beaches; AMC stations 4 (near Portsall) and 12 (St. Cava) and F-38	Oil coverage and burial after one month remains at moderate levels.
5	Exposed, compacted tidal flats; La Greve de St. Michel	No oil remained on the sand flat but did cause the enormous mortality of urchins and bivalves.
6	Mixed sand and gravel beaches; no really good example of this beach type	The index value is due to rapid oil burial and penetration; all areas had compacted subsurface which inhibited both actions.
7	Gravel beaches; stations F-80, -95, and -129, also AMC-16	Oil penetrated deeply (30 cm) into the sediment; clean-up by use of tractors to push gravel into surf zone seemed effective and not damaging to the beach.
8	Sheltered rocky coasts; common throughout the study area.	Thick pools of oil accumulated in these areas of reduced wave action; clean-up by hand and high pressure hoses removed some of the oil (this process is valid in non-biologically active areas).
9	Sheltered tidal flats; behind Ile Grande and at Castel Meur	Tidal flats were heavily oiled; clean-up activities removed major oil accumulations but left remaining oil deeply churned into the sediment; biological recovery has yet to be determined.
10	Salt marshes; Ile Grande marsh	Extremely heavily oiled with up to 15 cm of pooled oil on the marsh surface; clean-up activities removed the thick oil accumulations but also trampled much of the area; biological recovery has yet to be determined.

Therefore, as has been hypothesized by others, a possibly significant percentage of the oil spilled by the Amoco Cadiz may have actually sunk to the bottom.

Oil Contamination of Interstitial Ground Water

After visiting a number of oiled areas, it became obvious to us that the problem of oil contamination of the ground water within the beach may be a cause of death to organisms living within the sediment. In many sites, even though the surface of the beach or tidal flat appeared completely clean, the interstitial ground water was severely oiled. Localities such as Portsall (AMC-1), Roscoff (AMC-6), and St. Michel-en-Greve (F-55) provide typical examples.

Oil may enter the ground water directly from the ocean water itself or through solution along the upper part of the beach. Contaminated ground water has an obvious sheen and often has visible droplets of mousse. If the concentration of oil in the ground water reaches lethal proportions, then death of infauna (cockles, heart urchins, razor clams and worms) may result, even though the surface of the area is not visibly oiled.

A question that remains to be answered concerns the longevity of this type of oil contamination. Is the ground water periodically flushed clean, or will it remain contaminated for months or even years?

Quantity of Oil Along the Shoreline

In a basic attempt to determine the total amount of oil along the coastline during each study period, the total amount of oiled coastline was multiplied by the quantity of oil per km of coastline and offshore rocks as determined from the individual study sites (Table 3). For this calculation, the marsh at Ile Grande was excluded because it represents a single environment that had extremely heavy oil accumulations. General weaknesses of the overall method are:

1. Our study areas were generally limited to beaches, thus extrapola-

Table 3. Oil quantity per length of beach for 17 AMC-stations during study period one (19 March - 2 April) and study period two (20 - 28 April).

<u>AMC-STATION</u>	<u>LENGTH OF BEACH (KM)</u>	<u>OIL CONTENT (metric tons)</u>		
		<u>SESSION ONE</u>	<u>SESSION TWO</u>	
			<u>Light Coverage</u>	<u>Heavy Coverage</u>
1	0.50	50.2		7.3
2	0.25	1.8		2.4
3	0.25	44.6		5.5
4	0.20	284.1		2.5
5	1.25	1146.9	2.5	
6	0.20	51.8	1.0	
7	0.20	102.5	1.7	
8	0.20	9.6	0.4	
9	2.00	1039.4	10.6	
10	1.25	46.3	6.0	
11	0.45	175.2		1.0
12	0.40	357.7		6.3
13	0.55	248.3	0.6	
15	0.30	83.3		3.9
16	0.40	81.2		66.3
17	0.30	136.4	1.6	
18*	4.00	7400.0		2760.0
<hr/>				
SUB TOTAL	8.7	3859.1	24.4/5.9 km	95.2/2.75 km
TOTAL (metric tons/km)		443.6	4.1	34.6

*Not included in this calculation because the Ile Grande Marsh represents an anomalously large concentration of oil within one particular environment.

tions to rocky areas may not be valid.

2. We may be counting the same oil twice. For example, most of the oil within our Roscoff stations was removed by erosion on the night of 24 March. This could be the same oil that we encountered in the Ile Grande area on 29 March.

Our results are summarized in Tables 4 and 5. The total amount of oil along the coastline (72 km oiled) and offshore rocks (51 km) was 62,000 metric tons. During the second study period, the estimated quantity of oil was reduced to 9,200 metric tons, a difference of 85%. However, it was now distributed along 375 km of coast and 55 km of offshore rocks.

These estimates vary slightly from calculations (64,000 and 11,000 metric tons, respectively) done originally for NOAA (Gundlach and Hayes, Chapter 4, in press). For this report, we had access to detailed vertical aerial photographs, while before we did not. However, differences between the two methods are quite small.

In conclusion, approximately one-third of the oil spilled from the Amoco Cadiz (estimated at 62,000 metric tons) went aground on at least 72 km of shoreline and 51 km of offshore rocks during the first two weeks of the spill. During the following three weeks, the quantity of oil along the shoreline was reduced by 85% (to approximately 9,200 metric tons). This reduction was due to natural dispersion and to clean-up activities by man. On the other hand, the amount of shoreline visibly contaminated by the oil increased to 375 km of shoreline and 55 km of offshore rocks by late April. This increase was due to the breakdown and dispersion of the large oil masses by wave and currents and to a major shift in wind direction (from westerlies to easterlies).

Table 4. Extent of oil coverage during study periods one and two. Oil is only described as heavy during study one (19 March - 2 April). During study two (20-28 April), it is described as light or moderate to heavy.

Section of Coast	Study Period 1		Study Period 2			Total km of Coastline (excl. offshore)
	km coastline oiled	km offshore rocks oiled	km lightly oiled	km heavily oiled	km heavily oiled offshore rocks	
I	0	0	52	39	4	280
II	11	4	5	8	4	24
III	16	9	15	8	9	43
IV	4	9	30	0	9	38
V	4	3	43	0	3	43
VI	8	3	10	4	3	27
VII	4	4	24	9	4	76
VIII	9	4	10	20	4	35
IX	5	3	4	4	3	16
X	2	4	12	6	4	35
XI	9	8	8	9	8	36
Subtotal	72	51	213	107	55	653
Total km oiled		123			375	

Table 5. Summary of data concerning shoreline coverage by oil and estimated total quantities for study sessions one and two.

	Session one (19 Mar - 2 Apr)	Session two (20 - 28 Apr)
km shoreline heavily oiled	72	107
km offshore rocks heavily oiled	51	55
km shoreline lightly oiled	—	213
total km oiled	123	375
quantity of oil (metric tons)		
subtotal (excluding Ile Grande)	54,600	6,440
total at Ile Grande	7,400	2,760
total	62,000	9,200

Total reduction between sessions = 85%

ACKNOWLEDGMENTS

Financial support for this study was provided by the Department of Applied Geology, COB-C.N.E.X.O. and NOAA-Environmental Research Laboratories Contract No. 03-78-B01-50 (to Research Planning Institute, Inc. of Columbia, South Carolina).

Kenny Finkelstein and R. Craig Shipp participated in the field sessions. In addition, we wish to acknowledge the help and support of the following people: Dr. Laubier and Dr. Cavanie (of COB), and Wilmot Hess, Jerry Galt, David Kennedy, Bud Cross, and Peter Grose of NOAA.

REFERENCES CITED

- Chasse, Claude J. M., 1972, Economie sedimentaire et biologique (production) des estrans meubles des cotes de Bretagne: These, Universite de Paris VI, 293 p.
- Emery, K. O., 1961, A simple method of measuring beach profiles: *Limn. and Ocean.*, V. 6, p. 90-93.
- Emm. de Martonne, 1903, Le developpement des cotes bretonnes et leur etude morphologique: *Bull. Soc. sc. medic. Ouest (Rennes)*, V. 12, p. 244-160.
- Emm. de Martonne, 1906, la peneplaine et les cotes bretonnes: *Ann. de geog.*, V. 15, p. 299-328.
- Folk, R. L., 1968, Petrology of sedimentary rocks: Hemphill's, Austin, Texas, 170 p.
- Guilcher, Andre, 1948, Le relief de la Bretagne meridionale de la Baie de Douarnenez a LaVilaine: These, Paris.
- Guilcher, Andre, 1958, Coastal and submarine morphology: translated by B. W. Sparks and Rev. R. H. W. Kneese, Methuen & Company, Ltd., London, 274 p.
- Gundlach, E. R. and Hayes, M. O., in press, Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts: ms. accepted for publication by *Marine Tech. Soc. Jour.*, 23 p.
- Hayes, M. O., Brown, P. J., and Michel, J., 1976, Coastal morphology and sedimentation, lower Cook Inlet, Alaska: with emphasis on potential oil spill impacts: Technical Report No. 12-CRD, Coastal Research Division, Department of Geology, University of South Carolina, 107 p.
- Hayes, M. O., Owens, E. H., Hubbard, D. K., and Abele, R. W., 1973, Investigation of form and processes in the coastal zone: in Coates, D. R., ed., *Coastal Geomorphology*, Proc. 3rd Annual Geomorphology Symposium, State University of New York at Binghamton, p. 11-41.
- Hayes, M. O., Ruby, C. H., Stephen, M. F., and Wilson, S. J., 1976, Geomorphology of the southern coast of Alaska: 15th Conference on Coastal Eng., Proc., V. 2 p. 1992-2003.

FIGURE CAPTIONS

(D'Ozouville, Gundlach and Hayes)

1. A. Location of observation stations within western portion of the spill-affected area. Oil distribution for study periods one (19 March - 2 April) and two (20 - 28 April) are indicated.
B. Observation stations within eastern portion of the spill-affected area. Oil distribution is indicated.
2. A. Oil pushed by strong westerly winds during the first two weeks was mainly deposited along westerly-facing headland areas. Interior embayments generally remained free of oil.
B. A wind shift during the beginning of April spread a light layer of oil deep into the embayments. Previously deposited oil along the exposed headlands was greatly reduced in quantity.
3. Entrapment of oil by crenulate bays. Generally, the southerly section of each bay remained free of oil.
4. Illustration of the tombolo effect causing localized oil deposition behind offshore rocks.
5. Comparison of beach profiles for site AMC-4 on (A) 23 March and 31 March, and (B) 31 March and 22 April. The erosion along the upper beachface was caused by storm waves, the applied clean-up operation, or a combination of both. The deposition of new sand on the beach by 22 April caused deep (25 cm) oil burial.
6. Observation of oil response at Portsall. During the first week after the grounding, most of the oil repeatedly lifted off the surface of the sand flat with each incoming tide. During our second survey of late April, we found mousse, mixed with the sediment, remaining on the sand flat and beachface even as the tide flooded. Only a light oil sheen was visible on the surface of the water at this time.

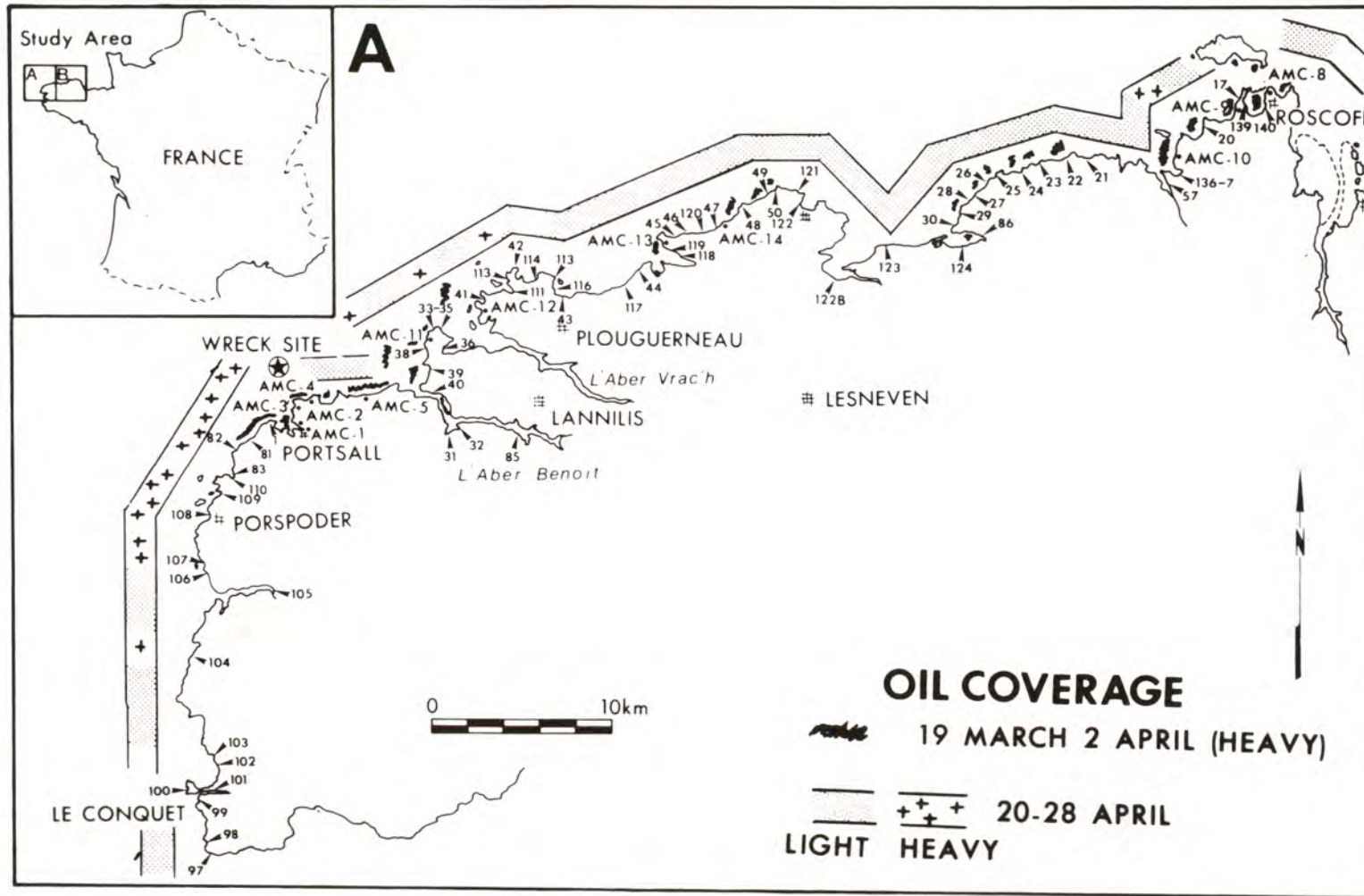


FIGURE 1A.

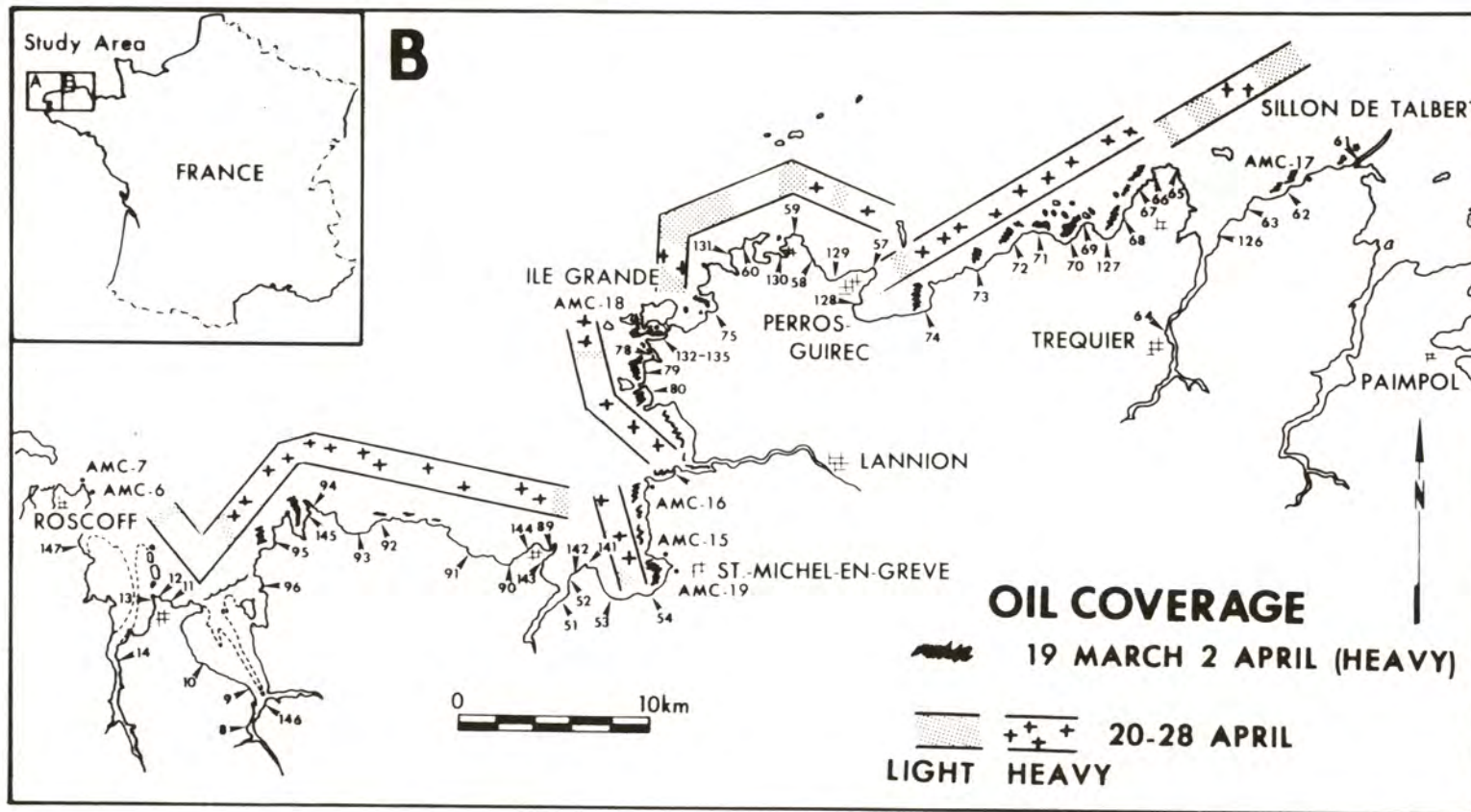


FIGURE 1B.

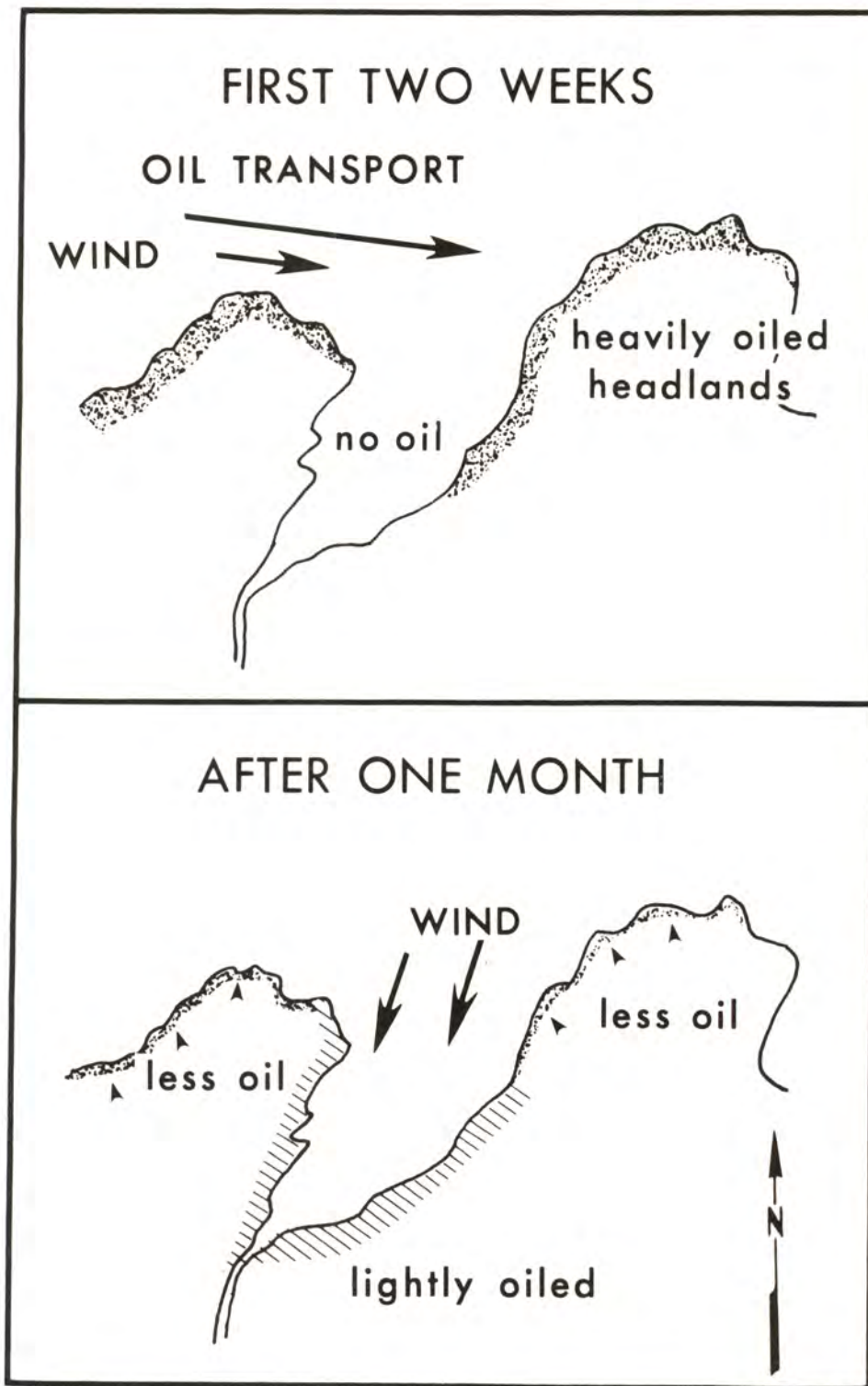


FIGURE 2.

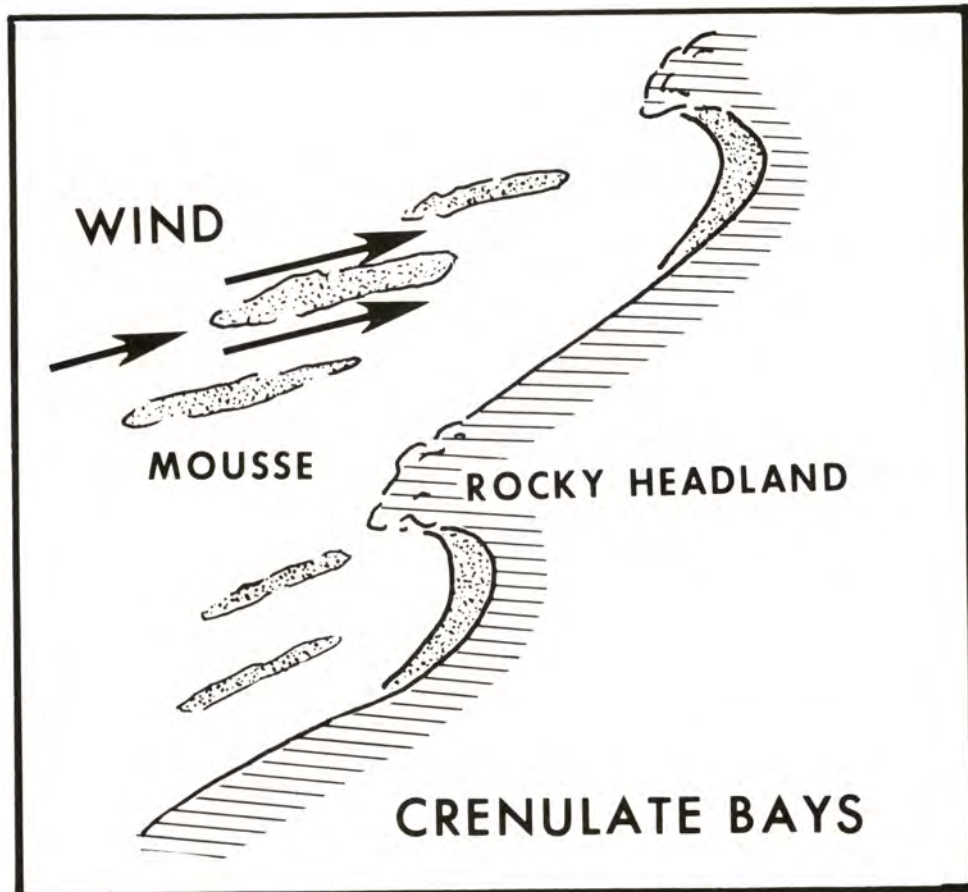


FIGURE 3.

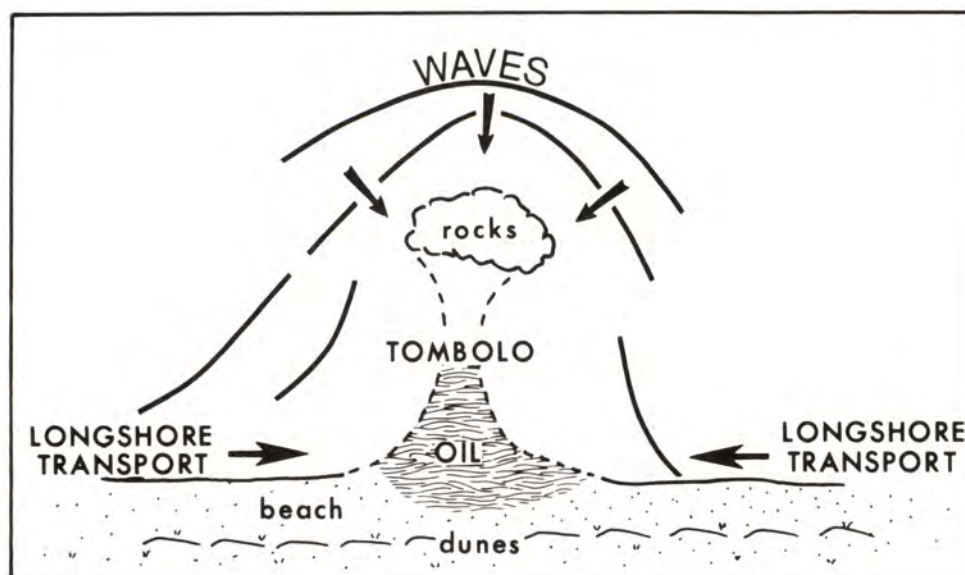


FIGURE 4.

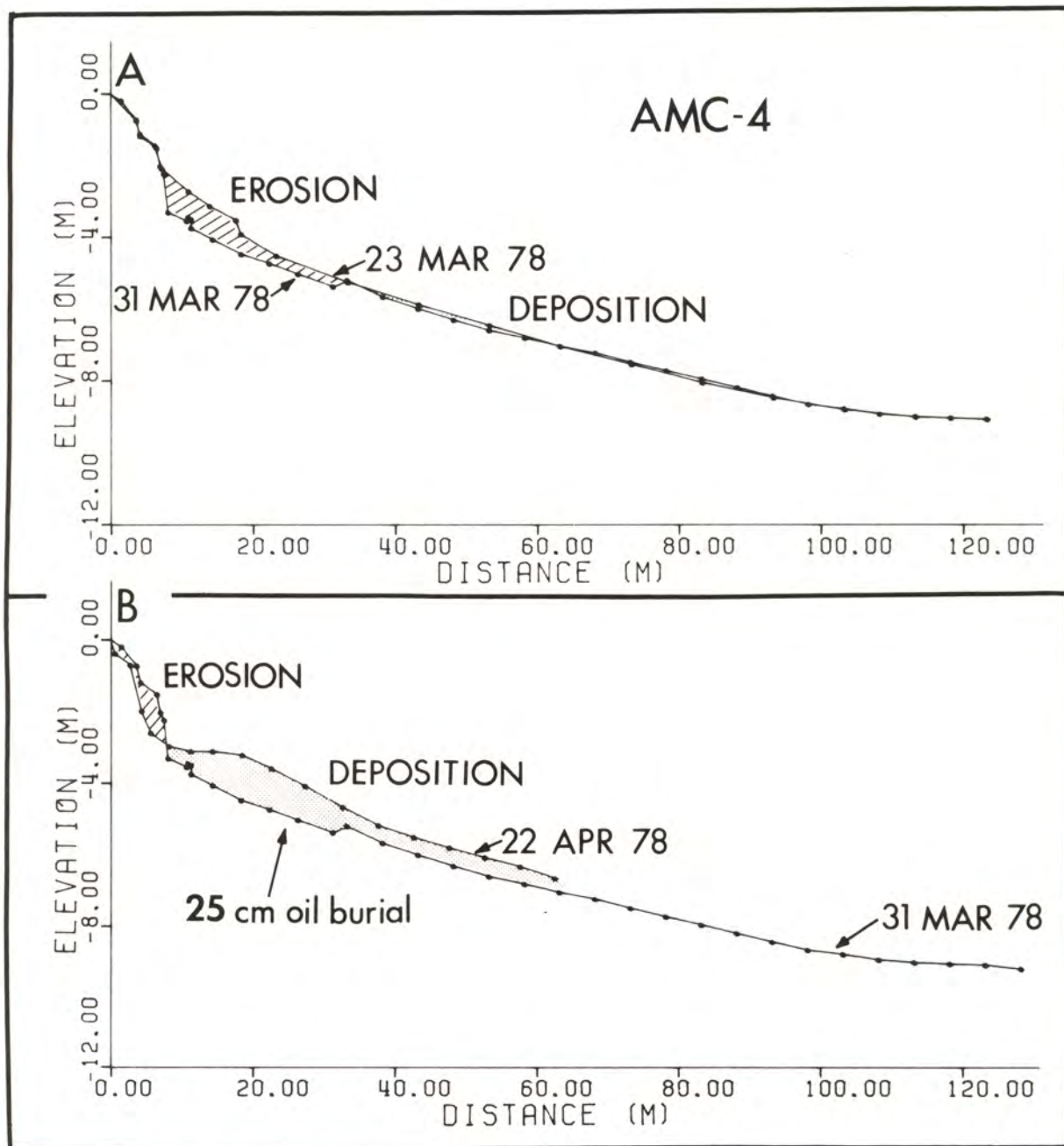


FIGURE 5.

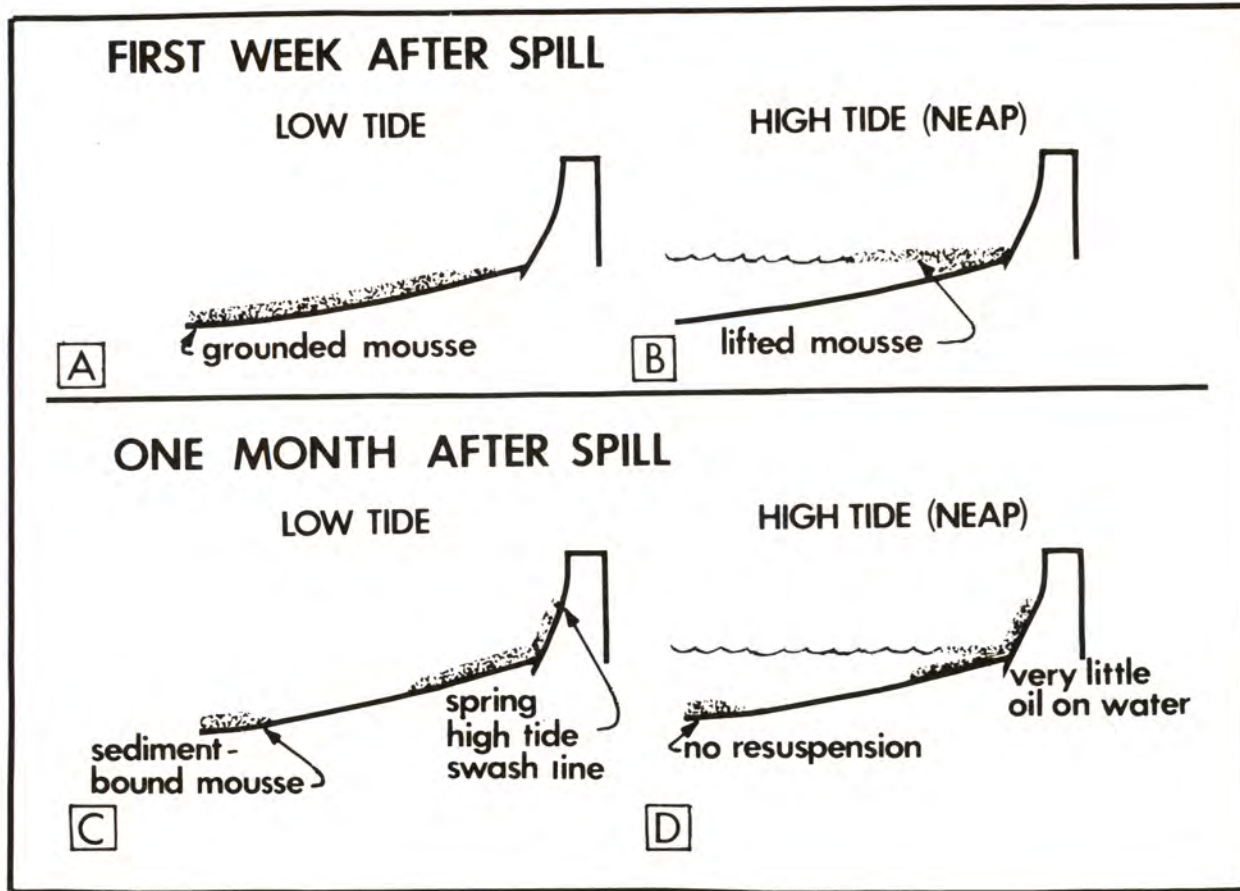


FIGURE 6.

ETAT DE LA POLLUTION PAR LES HYDROCARBURES
DANS L'ABER BENOIT

par

G. ALLEN, L. D'OZOUVILLE, J. L'YAVANC

Centre National pour l'Exploitation des Océans

Centre Océanologique de Bretagne

B.P. n° 337 - 29273 BREST CEDEX

R E S U M E

L'Aber Benoît, estuaire de la côte Nord-Ouest de la Bretagne, a été pollué par les nappes d'hydrocarbures, provenant du pétrolier "Amoco-Cadiz". Une étude préliminaire pour étudier les caractéristiques hydrologiques de l'estuaire, ainsi qu'une campagne de prélèvement d'eau et de sédiments superficiels pour le dosage des hydrocarbures, se sont déroulées en mai 1978. Il en ressort, d'une part que l'Aber Benoît se comporte bien comme un estuaire, et d'autre part que 2 mois après l'échouage, de fortes teneurs en hydrocarbures ont été trouvées, tant dans l'eau, que dans le sédiment superficiel et jusqu'à 30 cm de profondeur. Les dosages des hydrocarbures dans l'eau montrent une homogénéité relative sur toute la tranche d'eau et sur toute la longueur de l'estuaire. Des bancs de sables perpendiculaires au chenal semblent former de véritables pièges pour les hydrocarbures car c'est à ces endroits que l'on trouve les plus fortes teneurs d'hydrocarbures dans le sédiment superficiel du chenal.

A B S T R A C T

The Aber Benoît, a small estuary on the North West coast of Brittany was polluted by oil from the Amoco Cadiz oil spill. Preliminary results from water and sediment samples taken in the estuary in May 1978, show that two months after the initial spill, high concentrations of hydrocarbures existed in the water and sediments of the estuary.

The Aber Benoît shows a well developed salt wedge and upstream increasing suspended sediment concentrations. Oil was dispersed more or less evenly throughout the water column, in the entire length of the estuary. In the bottom sediments, oil had accumulated to depths of 30 cm. Sand bars appear to induce a trapping of oil in the estuary channel.

M O T S - C L E S : Estuaire, Sédiment, Pollution Hydrocarbures.

K E Y W O R D S : Estuary, Sediment, Oil spill.

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ABER BENOIT

L'Aber Benoît (fig. 1) situé sur la côte Nord-Ouest de la Bretagne, se trouve à 8 km à l'Est du point de naufrage du pétrolier Amoco Cadiz. Entre la tourelle le "Chien" (en aval) et le pont de Tariég, sa longueur est de 10 km. Le pont de Tariég marque la limite amont de la marée dynamique.

L'embouchure de cet estuaire est tournée à l'Ouest et est limitée sur sa rive droite par la presqu'île Sainte-Marguerite qui forme une barrière naturelle orientée Nord-Sud. Une telle morphologie et les vents d'Ouest à Sud-Ouest sont la cause de la pénétration des nappes d'hydrocarbures dans l'Aber Benoît dès les premiers jours qui ont suivi le naufrage de l'Amoco Cadiz.

2. MORPHOLOGIE DE L'ABER BENOIT

Les renseignements bathymétriques actuels ne concernent que l'embouchure de l'Aber Benoît et ne peuvent être fiables, du fait des extractions de sables effectuées régulièrement dans toute la partie aval.

Au cours de deux sorties sur l'Aber, des sondages sommaires ont été effectués avec un plomb de sonde. Les informations concernant les variations d'amplitude de la marée de l'Aber Benoît étant inexistantes, la réduction des sondes au zéro hydrographique a été effectuée à partir de l'annuaire des marées du Service Hydrographique de la Marine. Brest a été choisi comme port de référence. Une correction en heure pour les pleines mers et basses mers a été apportée.

Cette bathymétrie est donc très imprécise mais elle permet cependant de dresser une coupe longitudinale des fonds depuis l'embouchure jusqu'au point de mesures situé le plus en amont (fig. 2).

Les fonds sont faibles à l'embouchure (4 m), mais dans l'estuaire descendent rapidement à environ 10 m, puis remontent en pente douce jusqu'à environ 300 m en aval du pont de Tréglonou (fonds de 3 m découvrant). Les fonds retombent brutalement à 3 m environ jusqu'au pont de Tréglonou, et ensuite, remontent lentement jusqu'au dernier point de mesure en amont, où l'on trouve des fonds de 3 m découvrant. Les caractéristiques géomorphologiques de l'Aber permettent de subdiviser l'estuaire en 3 parties, de l'aval vers l'amont.

2.1. Zone aval : de l'embouchure à Loc Majan (fig. 3A)

Zone caractérisée par un estran sableux ou caillouteux bien développé.

2.2. Zone intermédiaire : de Loc Majan au pont de Tréglonou (fig. 3B)

Zone plus étroite à variation de pente rapide, essentiellement rocheuse puis sableuse sur l'estuaire.



2.3. Zone amont : du pont de Tréglonou au fond de l'Aber Benoît (pont de Tariég)

(fig. 3C)

En se déplaçant vers l'amont de l'Aber, le marais devient de plus en plus important.

Une couverture aérienne détaillée au 1/5000ème permet de déceler qu'à chaque changement d'orientation du chenal un banc de sable perpendiculaire au thalweg obstrue partiellement le chenal et forme de véritables pièges à sédiments (fig. 4).

3. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES ET SEDIMENTOLOGIQUES DE L'ABER BENOIT

3.1. Généralités

Pour essayer de suivre la pollution de l'eau et des sédiments, il est nécessaire de rappeler quelques notions de la dynamique estuarienne (fig. 4).

Un estuaire est une zone de mélange des eaux fluviales et marines. Ce mélange engendre des gradients de densité qui se manifestent par une concentration des eaux plus douces en surface et d'eaux plus salées au fond. Cette stratification entraîne généralement un mouvement résiduel des eaux du fond vers l'amont et des eaux de surface vers l'aval.

Ce mouvement résiduel de sens opposé peut provoquer un piégeage des sédiments en suspension au niveau du point nodal (zone où les vitesses résiduelles de l'écoulement fluvial et de celles liées à l'intrusion saline au fond s'annulent) (fig. 4).

Ce point crée une zone d'accumulation des sédiments, appelée bouchon vaseux et qui se déplace dans l'estuaire en fonction des marées et du débit fluvial.

3.2. Hydrologie

Une campagne de mesures hydrologiques a été effectuée le 31 mai 1978, par faible débit (fig. 5). Deux profils instantanés (PM-BM) ont été exécutés pour mesurer les variations spatiales de la salinité et des matières en suspension. Sept stations ont été choisies pour prélever de l'eau à deux niveaux : surface et fond.

3.2.1. Salinité

3.2.1.1. à pleine mer

La partie aval de l'Aber montre sur toute la tranche d'eau un caractère marin assez prononcé (fig. 6) : salinité de surface égale à 34,82 ‰ et salinité au fond égale à 34,97 ‰.

Le gradient vertical et longitudinal est faible, puisque l'on trouve une salinité de surface de 32,64 ‰, et de fond de 32,86 ‰ à la station F, située au milieu de l'estuaire.

La stratification devient plus importante vers l'amont : salinité de 22,29 ‰ à la surface et 23,89 ‰ au fond, à la station N, dernier point de mesure.

3.2.1.2. à basse mer

La partie aval présente un caractère marin moins prononcé, salinité de 32,59 ‰ en surface et de 33,94 ‰ au fond. Le gradient vertical est plus fort et augmente très rapidement vers l'amont. Il en est de même pour le gradient longitudinal. On constate une dessalure à la station F. En conclusion l'intrusion saline pénètre profondément dans l'Aber à pleine mer et est repoussée en aval à basse mer. Ce mouvement représente une oscillation d'environ 5 km par marée.

3.2.2. Matières en suspension

3.2.2.1. à pleine mer

Les résultats montrent une turbidité faible dans l'Aber, valeurs variant entre 4 mg/l en aval et 17 mg/l en amont. On peut noter une accumulation de sédiments à la station F (22,6 mg/l), laissant présager l'existence d'un bouchon vaseux (fig. 7).

3.2.2.2. à basse mer

On note une turbidité plus forte en aval (7 mg/l) et on constate toujours une plus forte concentration de sédiments à la station F (24,2 mg/l), ces valeurs augmentant plus en amont.

Le caractère estuarien de l'Aber Benoît est donc démontré par ces premiers résultats : existence d'un coin salé, oscillation de la salinité, matières en suspension et un éventuel bouchon vaseux.

4. POLLUTION PAR LES HYDROCARBURES DANS L'ABER BENOIT

4.1. Répartition de la pollution dans l'Aber Benoit

Plusieurs survols aériens (avions-hélicoptères), ont permis de faire la cartographie des zones polluées en tenant compte des surfaces déjà nettoyées (fig. 8). Il apparaît que :

- au-delà du pont de Tréglonou vers le fond de l'Aber, la pollution est relativement faible.

- entre l'entrée de l'Aber et le pont de Tréglonou, l'orientation des rives par rapport aux vents et aux courants explique la répartition géographique de la pollution et permet de comprendre pourquoi certains secteurs ont été peu atteints. Si l'on considère une coupe transversale (fig. 9), on observe que les hydrocarbures, soit sur les rochers, soit sur les marais, ont tendance à s'écouler par gravité et ruissellement sur la vase quand la mer descend.

Au flot, il y a une remise en suspension de ce pétrole qui, d'ailleurs, peut s'effectuer avec un certain retard. Il faut noter qu'un simple choc dans l'eau provoque une remise en suspension du pétrole fixé sur le fond vaseux.

4.2. Mesure des hydrocarbures dans l'Aber Benoît

Le dosage des hydrocarbures a été effectué par le B.R.G.M. avec la méthode suivante :

- séchage du sédiment à l'étuve à la température de 40°C,

- extraction au Soxhlet de 100 g de sédiment sec par le chloroforme, puis filtration de l'extrait sur Na_2SO_4 anhydre. Après évaporation, l'extrait total est pesé à sec. Repris ensuite dans CHCl_3 , l'extrait est passé sur du Florisil activé. Après évaporation le résidu d'hydrocarbures totaux est pesé et exprimé en ppm.⁺

4.2.1. Hydrocarbures dans l'eau

Un profil instantané a été effectué à pleine mer le 17 mai 1978 en quatre stations et à trois profondeurs : surface, mi-profondeur, fond (fig. 5).

Les résultats des mesures montrent une certaine homogénéité sur toute la tranche d'eau et sur toute la longueur de l'estuaire. Les valeurs varient entre 0,1 et 0,5 ppm (fig. 10).

On remarque cependant une forte teneur d'hydrocarbures (1,1 ppm) au fond à la station A, probablement due à la descente brutale du fond. Il faut noter aussi à la station F une teneur très élevée de 4,8 ppm à mi-profondeur.

4.2.2. Hydrocarbures dans le sédiment

Des prélèvements de sédiments superficiels ainsi que des carottages de 0,20 à 0,30 m ont été effectués le même jour en six stations (fig. 5).

Le résultat des analyses (fig. 11) montre de fortes teneurs d'hydrocarbures dans le sédiment superficiel, surtout dans les échantillons prélevés en aval des bancs de sable (fig. 12) cités précédemment.

On remarque principalement une très forte valeur (2260 ppm) au pont de Tréglonou. A cet endroit, il existe un affouillement profond d'environ 3 m. L'eau étant piégée, les hydrocarbures semblent se décanter dans le sédiment sableux.

Il existe aussi une forte valeur (1470 ppm) à la station K, située très en amont au pied du marais. Le sédiment est vaseux et l'on remarque à basse mer le ruissellement des hydrocarbures.

L'analyse des carottes fait ressortir des teneurs d'hydrocarbures plus faibles et une percolation du pétrole dans le sédiment, au moins jusqu'à 30 cm (longueur des carottes).

⁺ La teneur exprimée correspond en fait aux hydrocarbures totaux et au soufre libre co-extrait.

5. CONCLUSION

- Les résultats de la campagne hydrologique font ressortir que l'Aber Benoît est un véritable estuaire. Il existe un faible gradient de salinité sur la tranche d'eau, mais ce gradient est beaucoup plus marqué sur la coupe longitudinale de l'estuaire. La pénétration de l'intrusion saline en amont à pleine mer est repoussée en aval à basse mer ce qui engendre probablement un courant résiduel. Une faible quantité de sédiments en suspension et une concentration de la turbidité au point F laissent présager un bouchon vaseux.

- Les dosages des hydrocarbures dans l'eau montrent une homogénéité relative sur toute la tranche d'eau et sur toute la longueur de l'estuaire avec cependant une forte concentration au point F.

Un lien étroit existe probablement entre ces deux résultats. Les hydrocarbures mélangés à la matière en suspension oscillent de l'aval vers l'amont. Ces suspensions sont déposées sur le sédiment superficiel à basse mer et une partie seulement est remise en suspension au flot. Des bancs de sable, perpendiculaires au chenal et le fermant partiellement agissent comme de véritables pièges pour les matières en suspension.

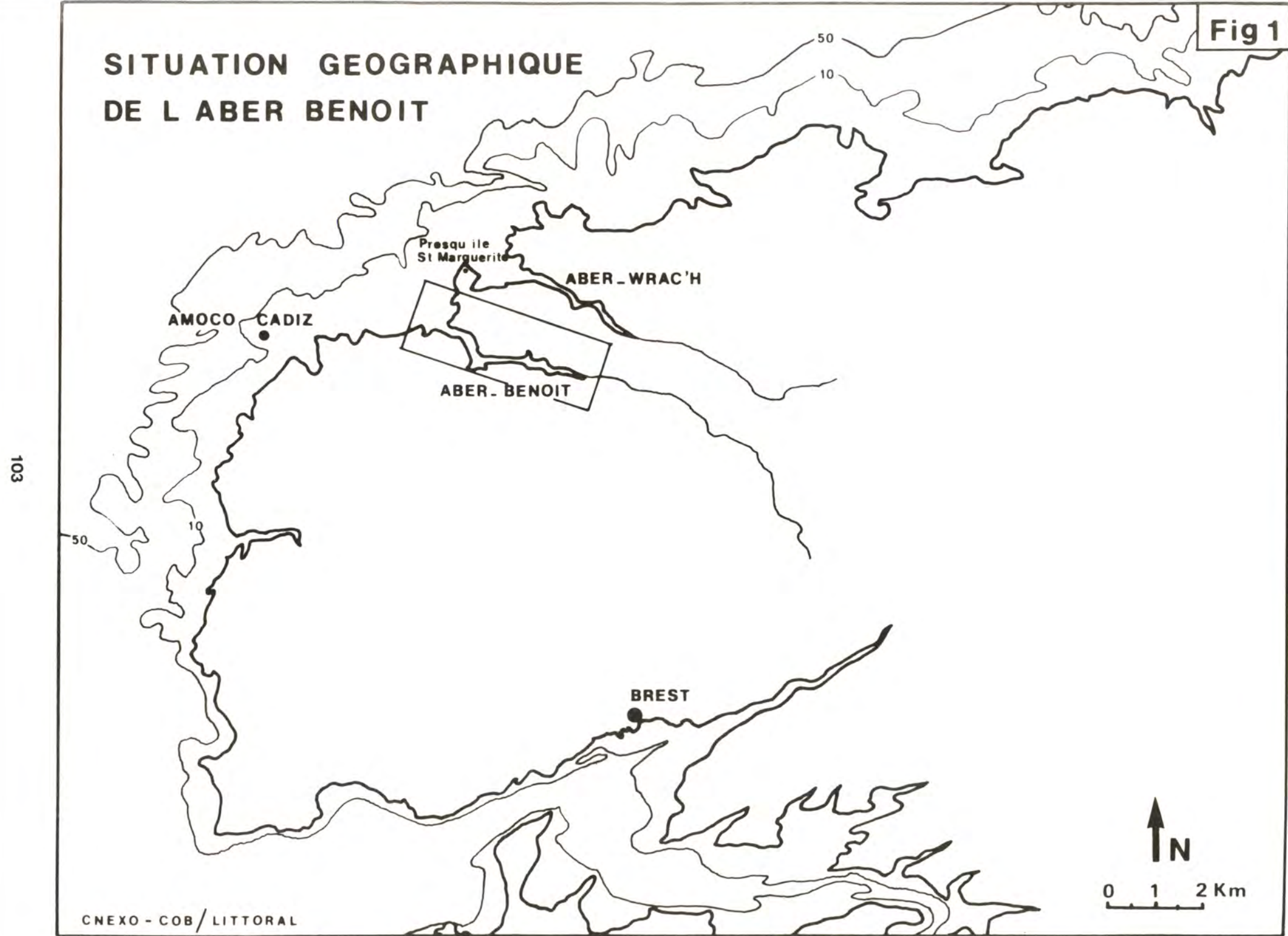
Le résultat de la campagne de prélèvement d'hydrocarbures dans le sédiment superficiel du chenal confirme l'importance de ces bancs de sable. Les plus fortes teneurs d'hydrocarbures ont été trouvées à ces endroits.

Par contre des mesures d'hydrocarbures plus fines devront permettre de faire la différence entre les hydrocarbures ayant pour origine l'Amoco Cadiz et ceux issus de l'activité organique in situ.

Par la suite il faudra envisager des mesures de courantologie et d'hydrologie en fonction des crues, des étiages et du coefficient de la marée. Cette étude permettra de mieux appréhender la dynamique estuarienne de l'Aber, de calculer le temps de renouvellement des eaux et en conséquence la vitesse de décontamination de l'Aber.

Fig 1

SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L ABER BENOIT



103

BATHYMETRIE

Coupe longitudinale de l'ABER BENOIT

0 1Km

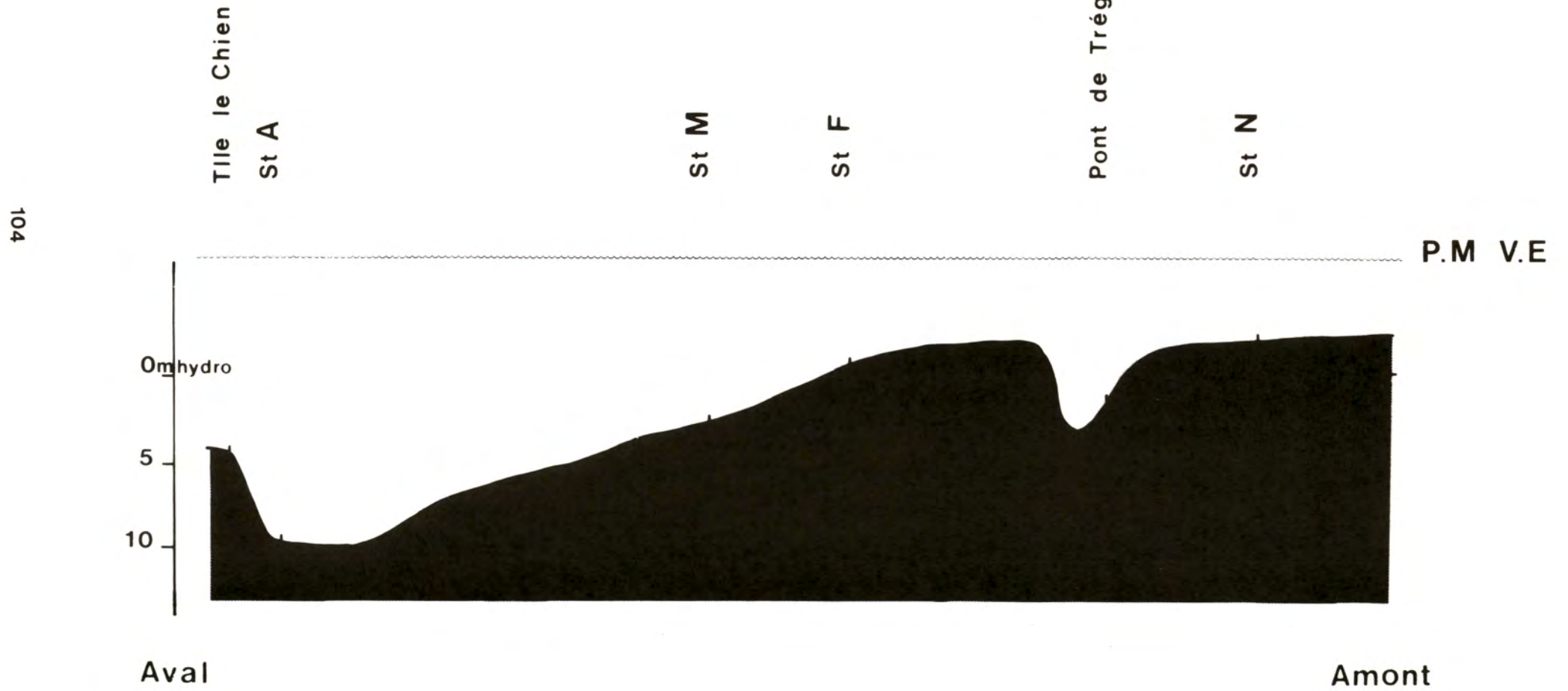
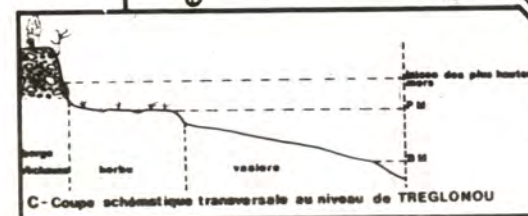
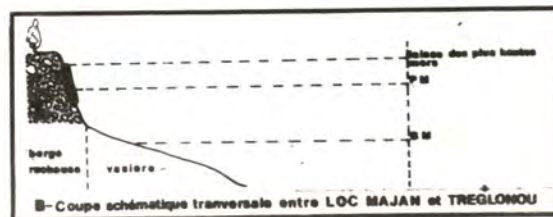
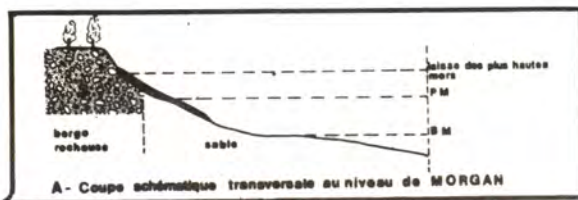
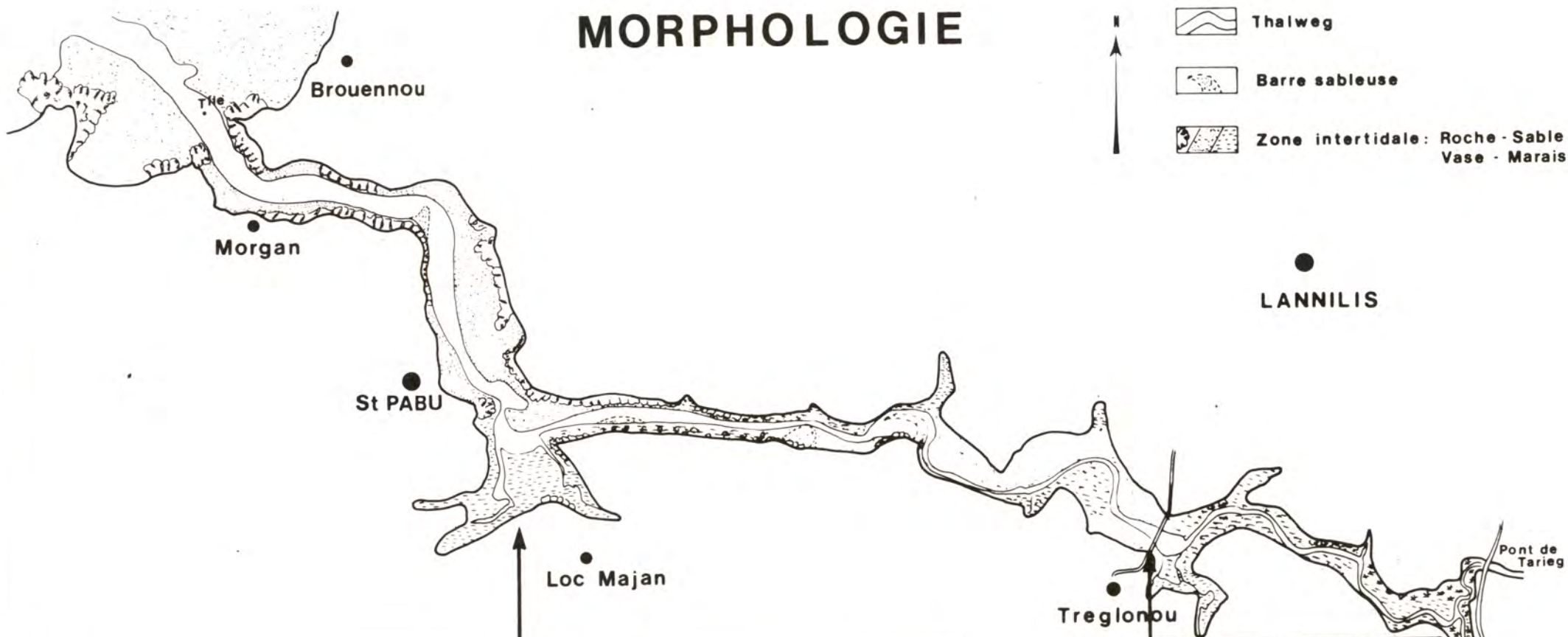


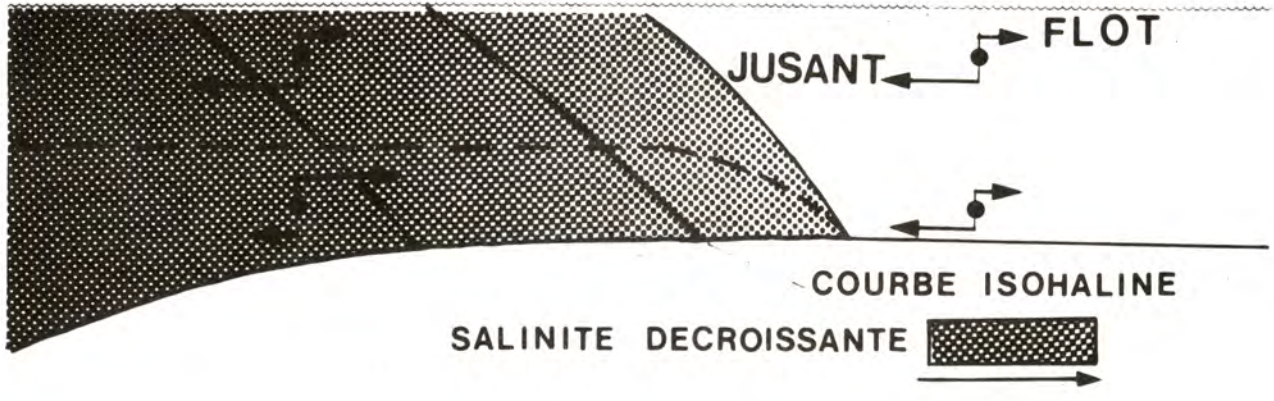
Fig 3

ABER BENOIT MORPHOLOGIE

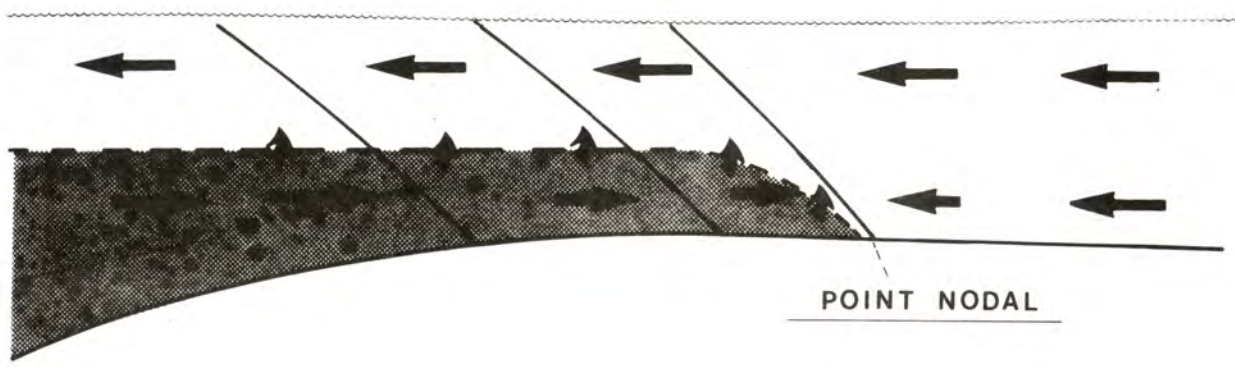


0 1 Km
CNEXO-COB / LITTORAL

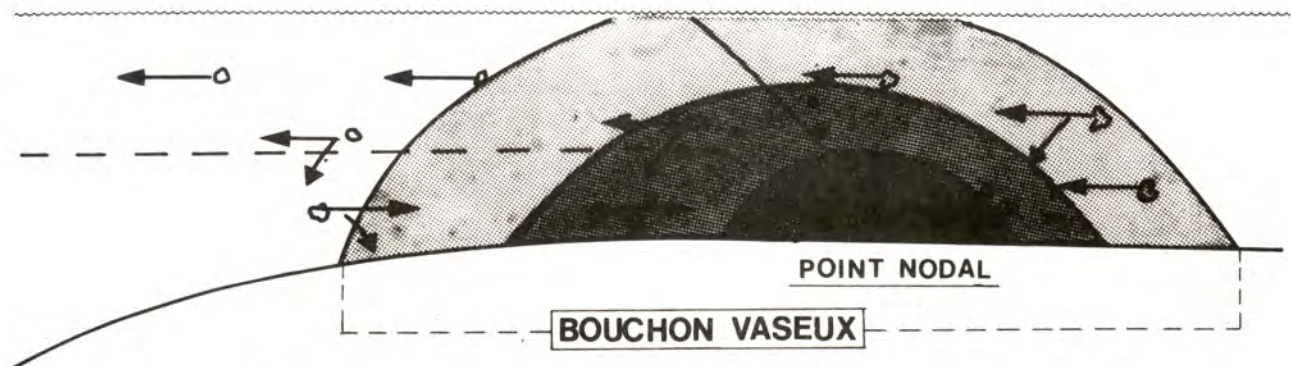
DYNAMIQUE ESTUARIENNE



MOUVEMENT DE L'EAU AU COURS DE LA MAREE



MOUVEMENT RESIDUEL

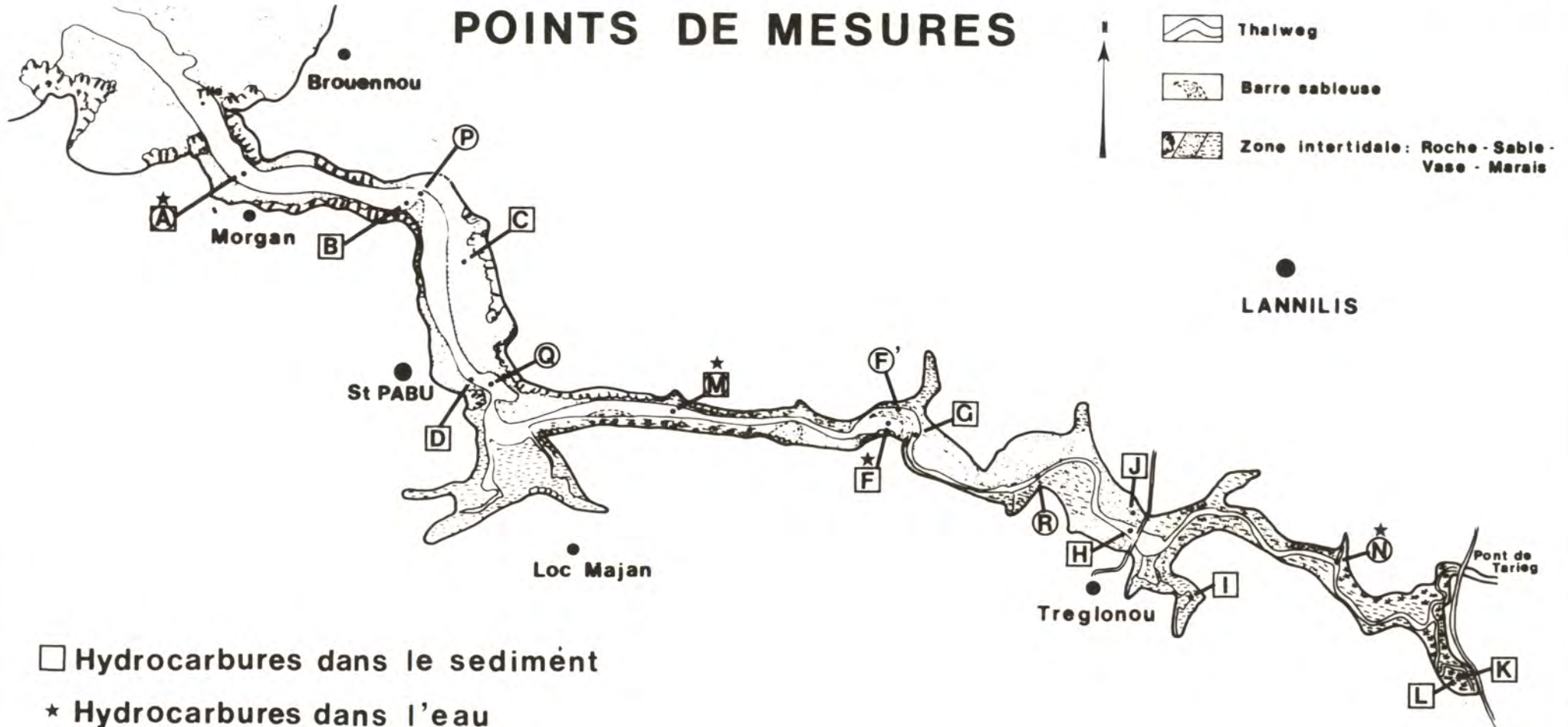


MOUVEMENT ET ACCUMULATION DES PARTICULES EN SUSPENSION

Fig 5

ABER BENOIT

POINTS DE MESURES



- Hydrocarbures dans le sédiment
- ★ Hydrocarbures dans l'eau
- Stations hydrologiques

0 1 Km
CNEXO-COB / LITTORAL

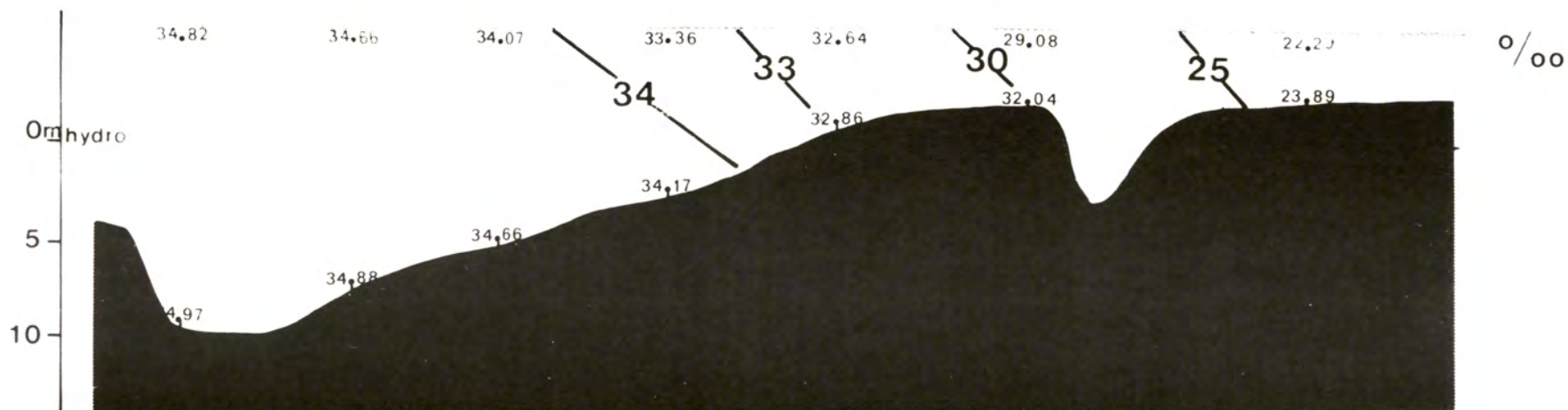
SALINITE

Journee du 31 Mai 1978 (Coef. 59)

Coupe longitudinale de l'ABER BENOIT P. M

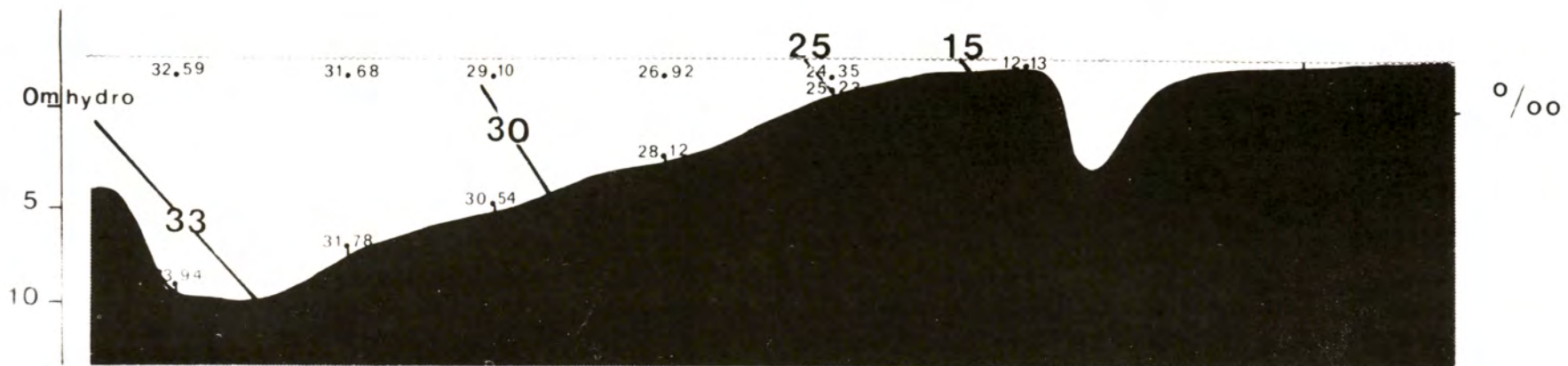
0 1Km

St A St P St Q St M St F St R St N



108

B. M



Aval

Amont

MATIERES EN SUSPENSION

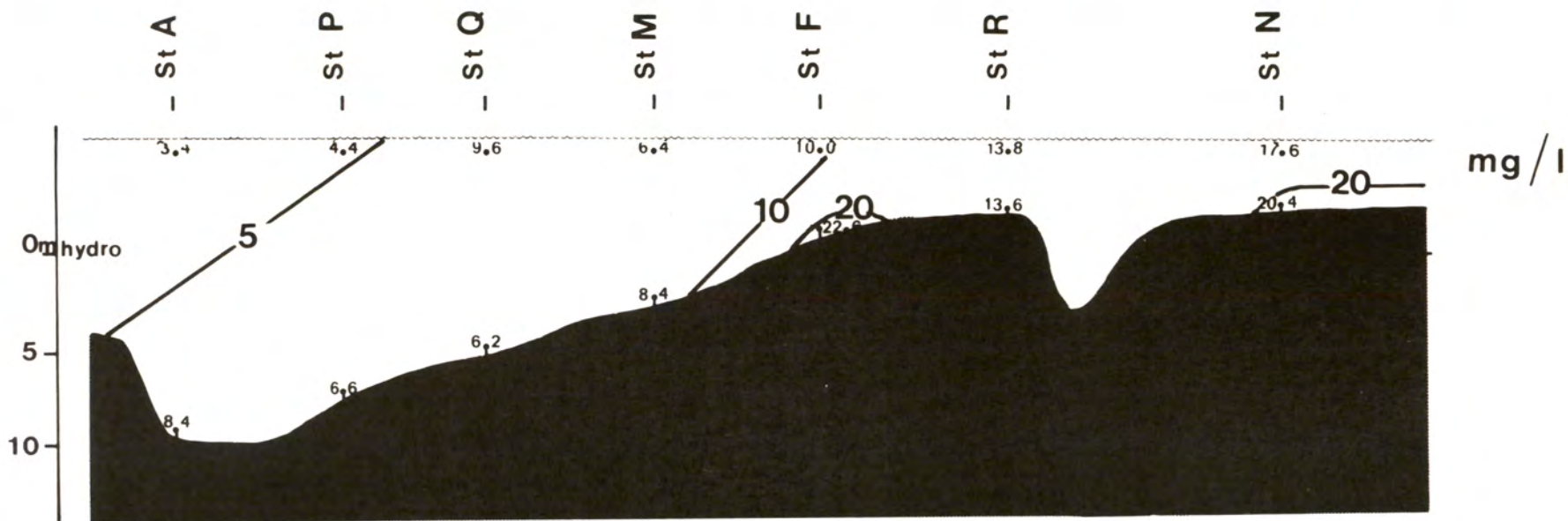
Journée du 31 Mai 1978 (Coef. 59)

Fig 7

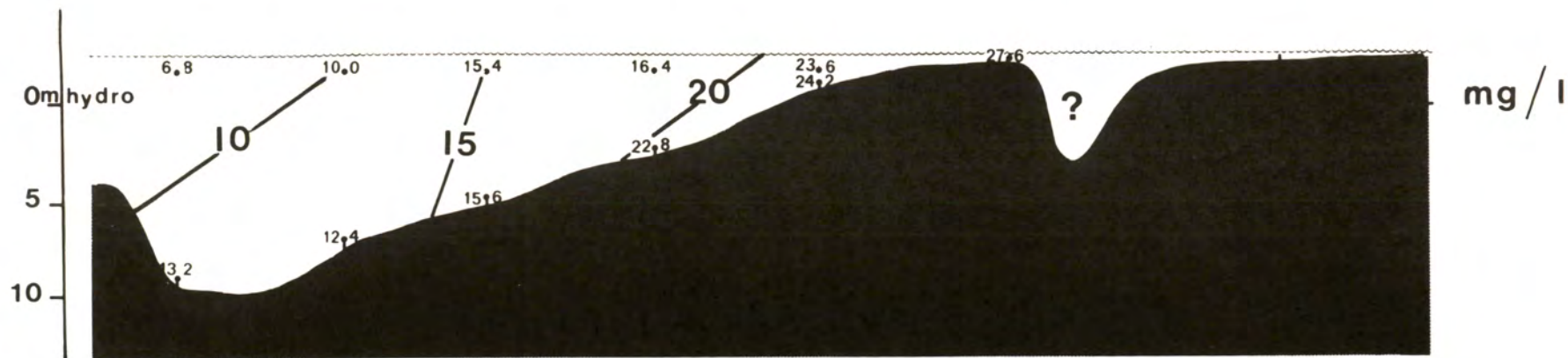
Coupe longitudinale de l'ABER BENOIT P. M

0 1 Km

109



B. M



Aval

CNEXO-COB/LITTORAL

Amont

Fig 8

ABER BENOIT

ZONES POLLUEES

(Reconnaissance du 18 avril 1978)

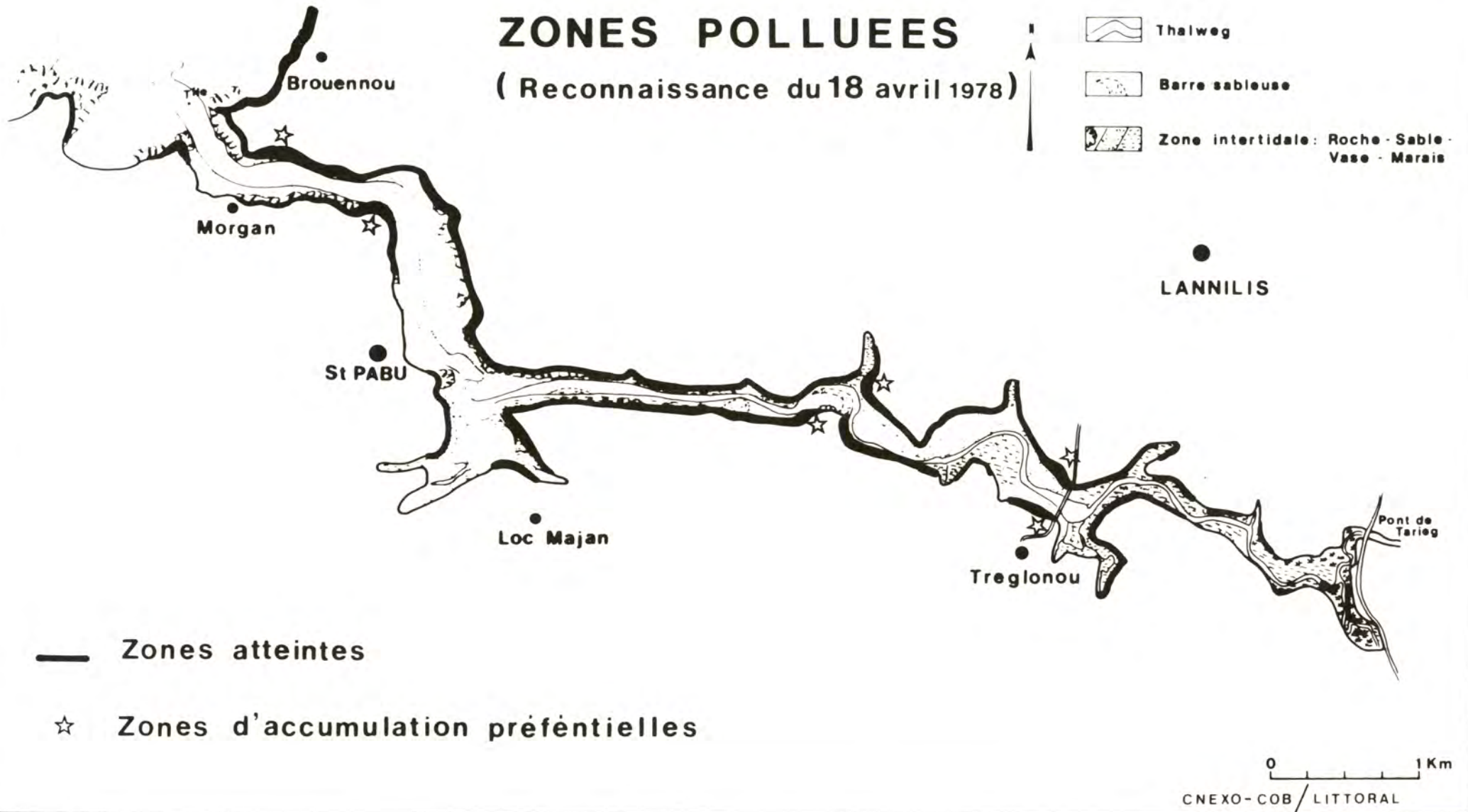
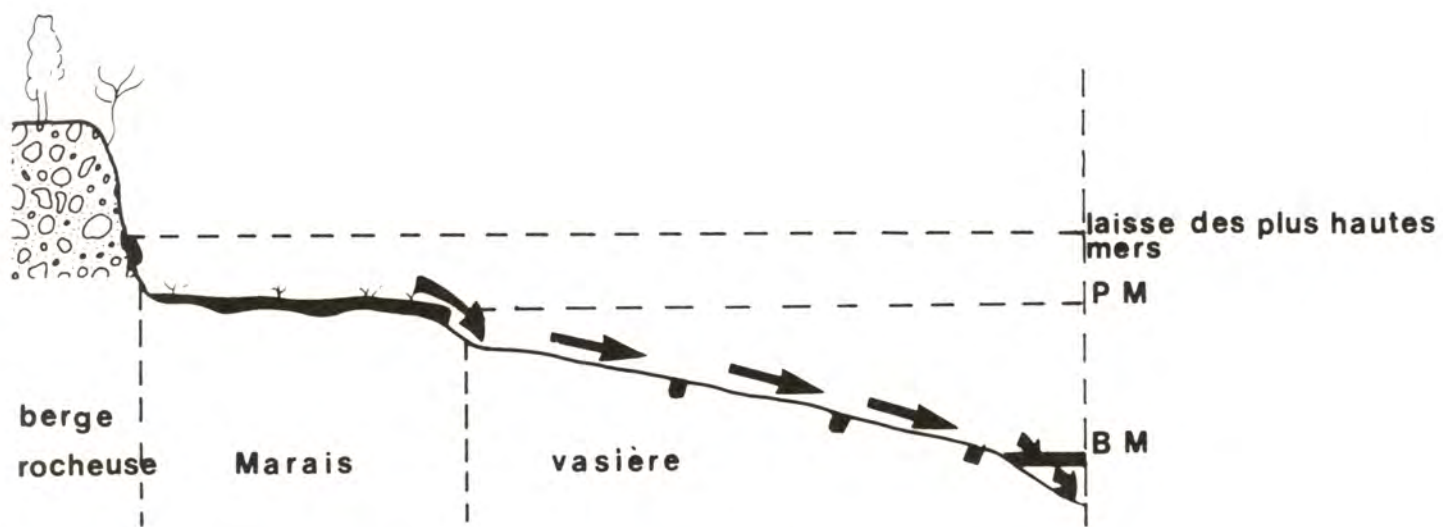
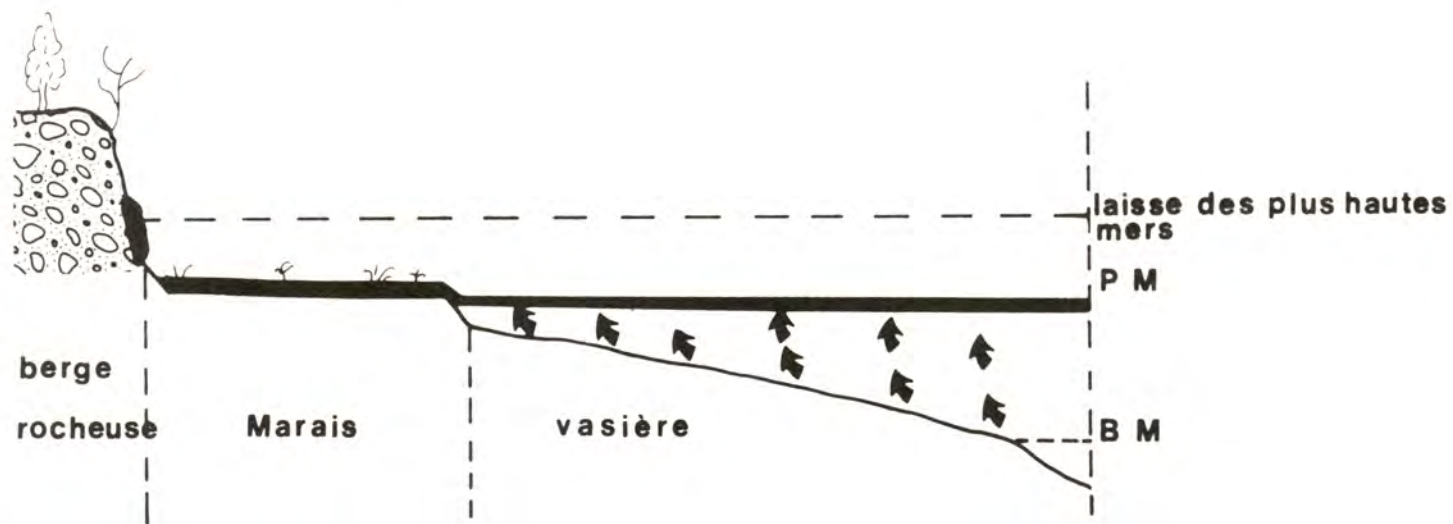


Fig. 9



➔ mouvement du pétrole : JUSANT



↖ mouvement du pétrole : FLOT

Coupe schématique transversale au niveau de TREGLOU

■ Zone polluée

HYDROCARBURES DANS L'EAU (Coef. 47)

Journée du 17 Mai 1978

Coupe longitudinale de l'ABER BENOIT P.M

0 1 Km

112

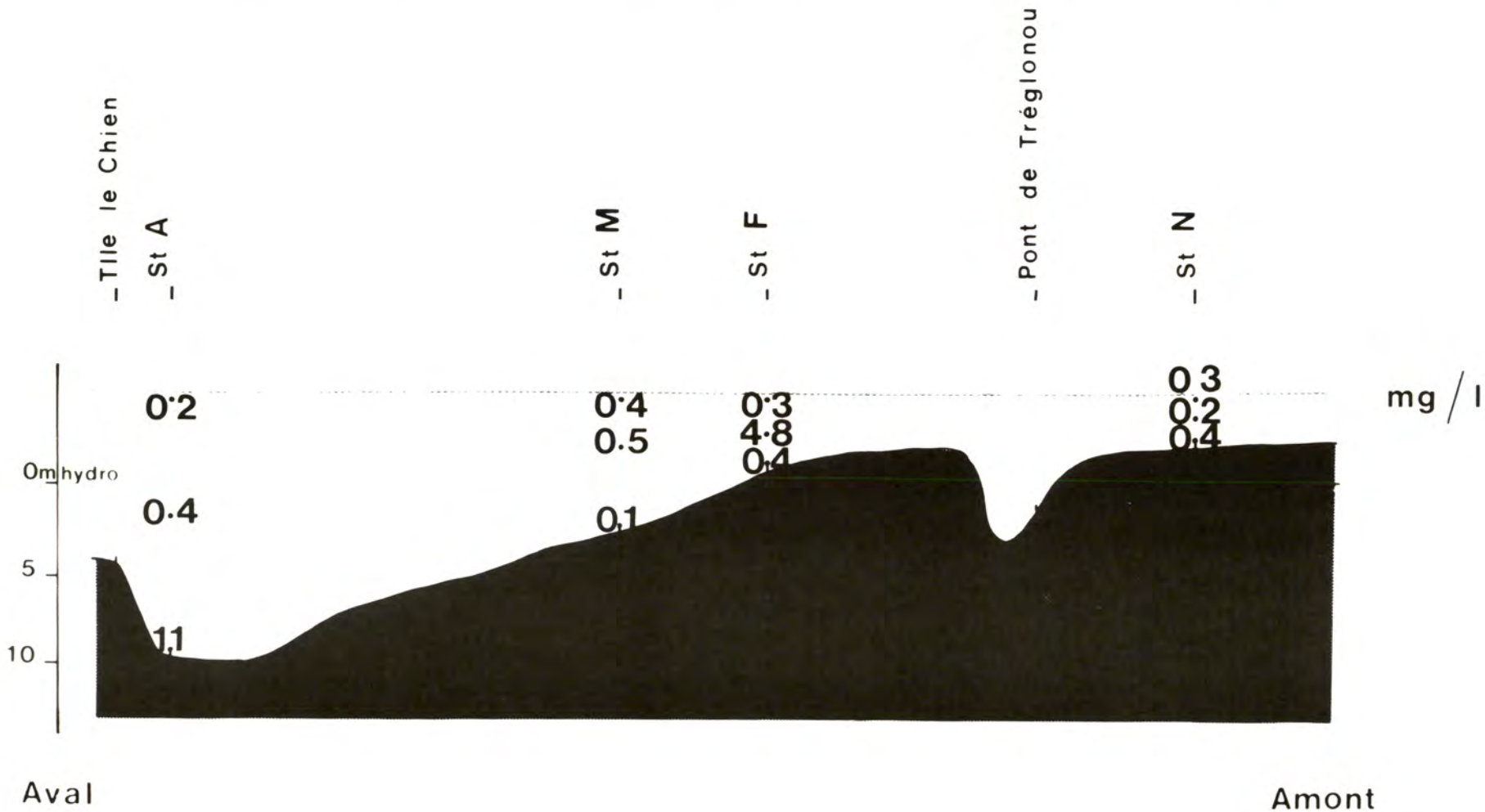
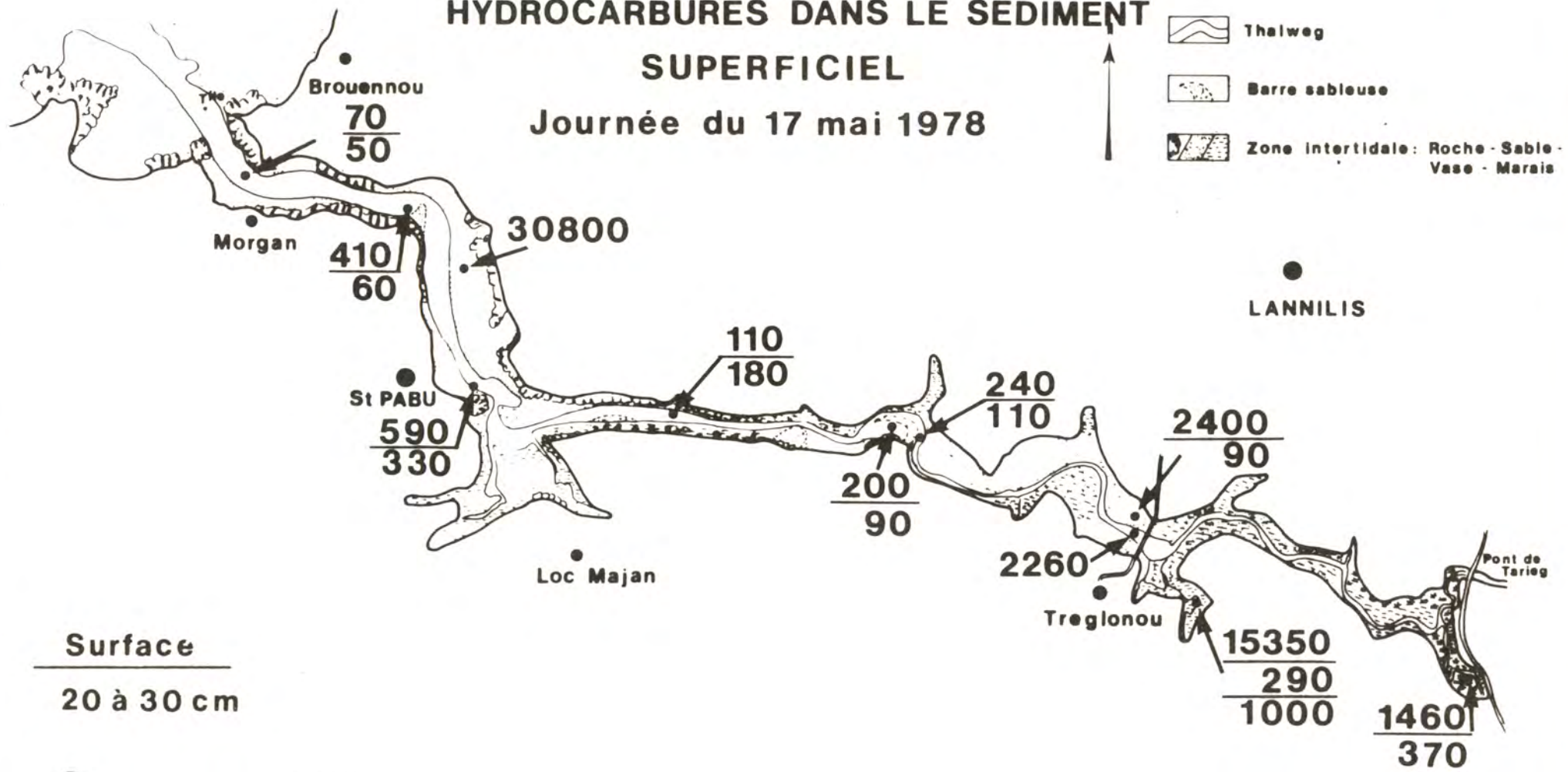


Fig 11

ABER BENOIT HYDROCARBURES DANS LE SEDIMENT SUPERFICIEL

Journée du 17 mai 1978



Surface
20 à 30 cm

Dosage en ppm

0 1 Km
CNEXO-COB / LITTORAL

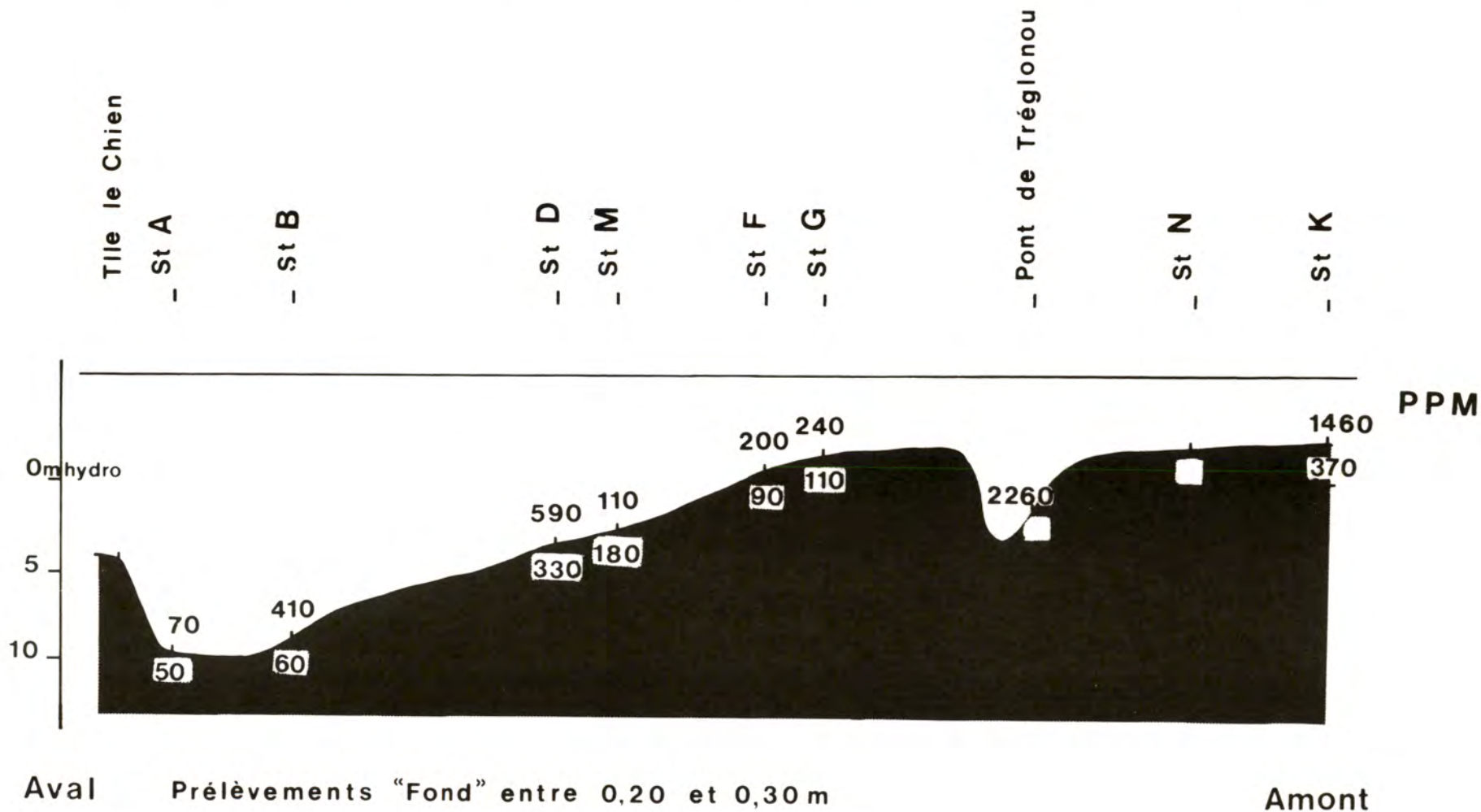
HYDROCARBURES DANS LE SEDIMENT (CHENAL)

Journée du 17 Mai 1978

Coupe longitudinale de l'ABER BENOIT

0 1Km

114



ESQUISSE D'UN BILAN ECOLOGIQUE PROVISOIRE
DE L'IMPACT DE LA MAREE NOIRE DE L'AMOCO-CADIZ"
SUR LE LITTORAL

par

C. CHASSE,

Chargé de recherches au CNRS - Laboratoire
d'Océanographie Biologique - Institut d'E-
tudes Marines - Université de Bretagne
Occidentale.

A B S T R A C T

The wreckage of the tanker "AMOCO CADIZ" on the reefs of PORTSALL was the fourth oil spill in ten years on the coast of Brittany : it also is the largest known oil spill in the world.

The patches at sea were driven eastward by westerly winds from March 17 to March 23. 140 Km of coast line was polluted. The oil spreaded more slowly towards the north west, south and north west where it spoiled some 375 Km of touristic sea coast and important fishing grounds.

The coastline is six kilometers wide ; it includes islands and large reefs. The local tidal currents are very strong and reach more than three knots, during spring tides which may rise up to nine meters in a rough sea conditions. The turbulence of the water soon disper- sed the slicks and mixed the oil within most of the water column, reducing its toxicity. Becau- se of the geomorphological conditions, the rocky, sandy and intricate biotopes are extremely varied and the settlements are diversified. The fauna and flora has been well studied for ever 100 years and reference data have been collected for all this area.

Around the hull of the ship, high mortality rates were observed for all species on the first day. Many dead animals were washed ashore ten to fifteen kilometers around the wreckage. The oil spill affected the Gasteropodes living on the rocks and certain species li- ving in sediment. The sea urchins, Cockles, *Cardium edule*, *Solenidae*, *Veneridae*, *Ampeliscidae* and others animals, such as worms (*Ophelidae*, *Haustidae*, *Arenicolidae*), *Lamellibranches* (*Lellinidae*) remained in normal numbers.

The settlements of species dwelling in the sediment were more affected below the tidal zone than on the beaches. The sea-weed was oily on nearly all the shores especially on the higher levels of the sheltered areas. But, they still lived, grew and seemed to reproduce. However, they will generally be unsuitable to be used as food products.

The field of *Laminaria* (400 Km² in Tregor and Léon) has been normally harvested since May. The Plancton life is nearly back to normal. Fish and Crustaceans were slightly af- fected but were edible starting from the beginning of June. About 20.000 birds died.

The most affected bays and estuaries are : ABER BENOIT, ABER WRACH, Baie de MORLAIX, Baie de LANNION. The oil settled on the infralittoral areas. There, the concentration of hydrocarbons seemed to increase into the cleaning action of the waves on exposed areas. Black mud is a geochemical trap and keeps the hydrocarbons preserved. The ecological effects observed were moderate when compared with the enormous volume of oil spilled at sea.

I suggest that the reasons are :

1°/ Dilution of the oil due to the high turbulence of the water.

2°/ Efficient means for collecting the oil which ran aground (10 to 20.000 tons).

3°/ Restricted use of slightly toxic detergents (2.000 tons) following the advice of scientists.

M O T S - C L E S : Marée noire, AMOCO CADIZ, Bretagne, Bilan écologique, Littoral.

K E Y W O R D S : Oil spill, AMOCO CADIZ, Brittany, Ecological assessment, Shoreline.

N.B. : All of our observations are provisional and must be confirmed later.

INTRODUCTION

Promontoire avancé de l'Europe, la pointe de la Bretagne (Pen ar Bed) voit défiler au ras de ses côtes l'essentiel du trafic maritime qui dessert les grandes zones industrielles de l'Europe. Elle a subi quatre "marées noires" en une décennie, le "Torrey Canyon" en 1967, l'"Olympic Bravery" et "le Böhlen" en 1976. La fréquence de ces sinistres, due aux négligences et aux erreurs de navigation plus qu'à la malchance, ne fait que s'accroître. Notons toutefois qu'à l'échelle du monde, les accidents de pétroliers ne sont responsables que pour 3% de la pollution par les hydrocarbures en général, que 20% sont dus au nettoyage des cuves de tankers et 45% aux effluents des villes côtières et aux apports des fleuves, 10% aux industries de tous types, 10% à l'apport par l'atmosphère, la production naturelle représentant 10%. Le caractère massif de ces sinistres, ne doit pas faire oublier que les taux d'hydrocarbures présents dans le milieu marin tendent dangereusement à se rapprocher du seuil de 0.1 ppm où les produits de la pêche côtière et de la mariculture deviendront impropres à la consommation du fait de leur goût.

1. LA MARCHÉ DES EVENEMENTS

Le super tanker libérien "AMOCO-CADIZ" s'est échoué sur des récifs de la zone des brisants par des fonds de 20 m, à 2 km de la côte de Portsall, en Bretagne Nord, le 16 mars avec 223 000 tonnes de pétrole léger. Le 18 mars, le cargo a perdu probablement 80.000 T, le 25 mars il ne restait que 35.000 T dans les cuves, cependant fin mai, malgré le pétardage de l'épave, quelques traînées d'huile sortaient encore du château arrière.

On peut distinguer 3 grandes phases dans la marée noire :

- . la phase majeure de déploiement de la nappe vers l'est en mars.
- . la phase de stabilisation en avril avec le déploiement mineur de la nappe vers le nord, l'ouest et le sud et des pollutions légères de nouveaux secteurs.
- . la phase de décontamination qui commence en mai.

1.1 La phase majeure de déploiement de la nappe vers l'est en mars

Poussée vers le Cotentin par les vents du secteur ouest, la nappe atteint le 19 l'Ile Vierge (+ 14 km), le 20 l'Ile de Batz (+ 55 km), le 21 Primel Trégastel, Beg an Fry (+ 80 km), le 22 la Baie de Lannion et les Septs Iles (+ 95 km), le 23 Bréhat (+ 130 km). Un premier arrêt se manifeste le 25, la nappe se déplace vers le milieu de la Manche et s'incruste ; de l'huile lestée de sable plonge dans les baies de sable fin et les estuaires sablo-vaseux. Des poussées vers les îles Anglo-Normandes et la baie de St-Brieuc s'ébauchent le 1er et le 2 avril. De Porspoder, 10 km au sud-ouest du naufrage, jusqu'à Bréhat 130 km à l'est, à vol d'oiseau, poussée par les vents d'ouest, la nappe de pétrole s'est progressivement déployée, sur 140 km de long et à 6 à 10 km de large, le long d'un secteur côtier d'orientation générale est-ouest profondément original.

1.1.1 Originalité océanographique : Le sinistre s'est produit sur le rebord sud de la Manche Occidentale, mer intercontinentale profonde de 60 à 120 m, animée de courants de marée violents est-ouest de près de 4 noeuds, parallèles au rivage à la limite des roches du socle hycernien à 3 à 4 miles de la côte. Ils balayent la nappe de cailloutis fluviatiles qui couvre maigrement le plateau de roches sédimentaires du fond de la Manche au-delà de la ligne de 50 m du côté français. Le sédiment superficiel devient beaucoup plus fin, graveleux puis sableux quand on s'approche de la côte anglaise, où les courants s'atténuent (0.5 à 1 noeud).

Une amplitude de marée considérable de 8 à 12 m se traduit également par de violents courants nord-sud de plus de 2 noeuds aux sorties des baies et des estuaires.

Les vents à dominantes du secteur ouest et du secteur nord-est accompagnent ou contrarient les courants de marée levant des mers fortes. La masse d'eau est ainsi brassée sur toute son épaisseur sans que jamais de stratification thermohaline ne se manifeste sur la côte française. Il en a résulté un intense mélange des hydrocarbures dans toute l'épaisseur de la masse d'eau favorisé par la présence de naphthènes dans le brut plus que par les 2.000 T de détergents déversés, susceptibles d'émulsionner seulement 12.000 T.

1.1.2 Originalité géomorphologique du littoral du Léon - Trégor : Le littoral d'orientation générale est-ouest bordé en conformité le bourrelet anticlinal antéhercynien pénéplané de roche cristalline et métamorphique. Il est accidenté d'un réseau de fractures parallèles et perpendiculaires responsables des tracés en quadrillage des talwegs terrestres et sous-marins creusés dans la pénéplaine.

La ligne des fonds de 50 m est à moins de 10 km du trait de côte, elle délimite un prisme littoral hercynien tourmenté, prolongeant la côte la plus dentelée, la plus intriquée de France : sur 10 km ce n'est qu'un semis confus de "basses", d'écueils, de platiers et d'îlots très denses, souvent à fleur d'eau, séparés par des chenaux et des vallées submergées. Ceux-ci sont creusés dans la roche cristalline empâtée d'altérites tertiaires (arène en place) et de formation périglaciaire susjacente, arène et limon éolien soliflués et mélangés (head). Ils sont tapissés localement de sables éluviaux dunaires grossiers et généralement coquilliers, peuplés souvent de lançons (*Ammodytes tobianus*) mais assez azoïque dans l'ensemble. Les baies des Abers de Goulven et surtout de Morlaix et de Lannion rompent cette homogénéité en se nappant partiellement de sable moyen et fin à *Tellina tenuis*, *Tellina fabula*, à *Echinocardium cordatum*, *Abra alba*, *Corbula gibba* et même de vase à *Melinna*, au fond des estuaires. Une côte aussi dentelée qui freine et capture abondamment les nappes d'hydrocarbures limite leur extension horizontale.

1.1.3 L'Originalité écologique découle largement des originalités océanographiques et géomorphologiques : la diversité des biotopes est extrême, une étude statistique sur 5000 points révèle que en deça de l'isobathe 50 m, du Conquet et Ouessant au sillon de Talbert, soit sur les 1380 Km² affectés par la marée noire, il y a près de 900 Km² de surfaces rocheuses. Environ 400 Km² situés entre + 3 m et - 12 m sont couvertes par le plus grand champ d'algues de France, produisant annuellement quelques 6 millions de tonnes d'algues fraîches. Les 400 Km² situés entre - 12 m et - 50 m sont peuplés d'éponges, d'hydriaires et de bryozoaires, environ 70 Km² situés au-dessus de + 3 m dans la zone intertidale sont couverts de cirripèdes Chtamales et Balanes ou de fucales, peuplés de patelles, de littorines et de gibbules.

Les fonds sableux couvrent quelques 500 km² avec des peuplements extrêmement diversifiés : dunes hydrauliques de sable moyen et fin à *Ophelidae*, *Haustoridae* et *Ammodytidae*, nappes de sables fins charriés par les vagues à *Venus gallina*, *Pharus legumen*, *Tellina tenuis* et *fabula*, *Donax vittatus*, *Ensis ensis* ; bassins sablovaseux et sables fins de décantation à *Corbula gibba*, *Cardium edule*, *Solen marginatus*, *Leiochone clypeata*, *Arenicola marina*. Des herbiers de *Zostera marina* colonisent souvent ces fonds entre + 3 et - 3 m avec leurs riches peuplements à *Loripes lactueus*, *Sabella pavonina*, *Tapes aureus*, *Polymnia nebulosa*, *Sabella pavonina*. Les sables grossiers éluviaux sont peuplés de *Nucula nucleus*, *Tapes rhomboïdes*, *Dosinia exoleta*, *Venus verrucosa*. Les vasières des estuaires sont peuplées de *Nucula turgida*, *Melinna palmata*, et dans les zones émergentes et dessalées *Scrobicularia plana*, *Nereis diversicolor*, *Mya arenaria*. Des herbus ou schorres importants couverts d'une végétation où dominent *Obione portulacoïdes*, *Puccinelliamaritima* et *Cochlearia danica* surmontent, au-dessus des pleines mers de mortes eaux, les vasières des estuaires et des anses abritées. Au confluent des influences boréale et méridionale, la richesse et la diversité des espèces de la faune et de la flore (plus de 800 espèces d'algues à Roscoff) a justifié la création, dès 1871, de la Station Biologique de ROSCOFF, l'une des plus anciennes et des plus importantes d'Europe. Elle se trouve au coeur de la zone polluée. L'originalité scientifique réside finalement dans l'étendue des connaissances antérieures, des "états de références", tant qualitatifs que quantitatifs, réalisés par les chercheurs de la Station Biologique et ceux de l'Université de BREST. La diversité écologique a entraîné la diversité des activités humaines : c'est le tourisme, la thalassothérapie (ROSCOFF) la recherche scientifique (ROSCOFF), la pêche côtière, surtout de crustacés, de lieux jaunes, l'activité goémonière, (environ 500 personnes), l'ostréiculture (Abers Benoît et Wrac'h, Baie de Morlaix) l'aquaculture encore expérimentale (ormeaux à Porspoder, salmonidés à l'île d'Her) mais aussi le goémon d'épave pour l'agriculture des pri-meurs.

1.1.4 Le sinistre lui-même présente des caractères originaux : La semaine d'extension de la nappe s'est caractérisée par quatre faits majeurs :

a) La localisation des échouages de mazout assez précise sur les secteurs côtiers exposés aux vents dominants d'ouest - le même processus de localisation face au vent avait été constaté en 1967 lors du naufrage du pétrolier "Torrey-Canyon", les vents étaient alors d'est (CHASSE, 1967), bien évidemment les courants sont intervenus, notamment dans les estuaires pour moduler ces règles générales.

b) Un dégazage intense des composés les plus volatils s'est opéré durant les premiers jours. Cette évaporation se manifestait par une violente odeur, perceptible jusqu'à Brest et même Quimper, provoquant des malaises légers dans la population du littoral. On estime que 40% des hydrocarbures sont ainsi partis dans l'atmosphère.

c) Une dispersion intense des hydrocarbures s'est effectuée dans toute l'épaisseur de la masse d'eau côtière. Conséquence de la localisation du déversement dans les brisants, par gros temps, dans une zone à forts courants (2 à 3 noeuds). Il y a fin mars 0,1 ppm d'hydrocarbures, 2 à 3 miles au large sur toute la tranche d'eau et 0,5 à 1 puis 4 ppm à l'entrée des Abers et des baies (mesures de la NOAA et du CNEXO).

d) Une mortalité impressionnante de la faune marine sur le littoral se traduisant par le rejet, dans le cordon d'échouage, de cadavres de poissons, de vers, de crustacés, mollusques, souvent non enlgués d'huile et comme foudroyés.

Les échouages de ce type sont localisés aux 10 km à l'Est de l'épave et plus discrètement aux abords de Roscoff et de l'île de Batz où la masse d'huile a buté dans sa progression.

A la fin de mars, on estime que 90.000 tonnes se sont évaporées, que 40.000 tonnes sont venues à terre ou flottent au large (au mieux 5.000 t ont été récupérées par les services publics, l'armée et les volontaires bénévoles). Il resterait près de 100.000 t, soit émulsionnées ou dissoutes dans la masse d'eau, soit adsorbées sur les sédiments. Une masse d'eau, contaminée à 0,1 ppm de l'ordre de 200 Km de long, de 50 Km de large, sur une profondeur de 100 m, ne correspondrait qu'au 1/10e de ce mazout résiduel : l'essentiel est probablement sur le fond.

Pendant cette période, l'Institut d'Etudes Marines de BREST (I.E.M.) et la Société d'Etudes et de Protection de la Nature de Bretagne (S.E.P.N.B.), grâce à la collaboration très active des étudiants de l'Université, ont procédé à la collecte massive des informations nécessaires aux premières études de l'impact de la catastrophe.

. 17 mars : prospection du secteur d'atterrissement, détermination de l'originalité du comportement de l'huile, puis en avance sur la progression de la marée noire et en collaboration avec la Station Biologique de Roscoff, collecte par 60 chercheurs des informations manquantes pour établir un état de référence préalable continu des peuplements entre Brest et Roscoff (100 km).

. 21 mars : collectes des animaux échoués entre Brest et Roscoff par 50 équipes de 4 étudiants en 50 localités.

. 19, 21, 24, 29 mars un suivi jusqu'à épuisement des échouages de cadavres est effectué au voisinage de l'épave - il n'y a plus alors de nouveaux échouages.

. 29 mars : collecte et observations par 160 équipes de 4 étudiants comprenant chacune un scientifique, de Crozon à Paimpol sur 180 stations et 200 km.

Les travaux réalisés par les étudiants et les chercheurs comportaient :

- . le constat quantitatif d'échouage d'animaux morts
- . le constat semi-quantitatif de mortalité des gastéropodes sur les rochers à 3 niveaux
- . le constat simplifié sur les caractéristiques les plus significatives du milieu normal (nature des ceintures d'algues).

Les observations étaient portées sur fiches préétablies et sur cartes au 25.000ème. Un cours d'écologie adapté et les instructions nécessaires avaient été donnés préalablement. Les déterminations et les mensurations des animaux ont été réalisées aux laboratoires par les chercheurs de l'Université.

Après le 29 mars, une surveillance souple de toute la côte a été maintenue.

. du 6 au 13 avril une équipe de 15 étudiants a procédé, avec l'auteur, à des prélèvements quantitatifs dans les zones polluées étudiées antérieurement par celui-ci : Grande Grève, Beg en Fry, Ty Saizon, Aber de Roscoff et Perharidic, Mogueriec et Guillec (100 prélèvements quantitatifs environ).

. Postérieurement, une étude des peuplements de l'Aber Benoît a été entreprise dans les mêmes conditions (environ 80 stations), en avril et mai.

1.2 La phase de stabilisation d'avril commence vers le 25 mars et s'étend jusqu'au 25 avril, la nappe s'inscrit dans les baies et les estuaires.

Le 12 avril, un vent d'Est renverse le sens de la progression. La face Est des criques et des baies, jusque là préservées, sont polluées, souvent assez légèrement. C'est une phase mineure de déploiement des nappes encore libres, vers l'ouest puis le sud et enfin le nord-ouest : le Conquet et Ouessant sont légèrement touchés le 11 avril, le Raz de Sein le 13 avril, Douarnenez le 22 avril, Morgat le 23. C'est la fin du déploiement des nappes le 25 avril - toutes ces pollutions sont assez légères, les mortalités constatées en Baie de Douarnenez et d'Audierne sont faibles, bien qu'elles semblent s'accroître pour les populations de Donax trunculus. La Rade de Brest longtemps menacée est indemne.

1.3 La phase de décontamination en mai

. La décontamination a commencé par les secteurs à haute énergie, rochers avancés, pointes, grèves battues par les vagues d'où le mazout se décroche entraînant consécutivement une pollution secondaire des secteurs à basse énergie avoisinants, baies, criques et estuaires.

. La dilution s'est continuée et à la mi-mai la concentration de l'eau côtière est presque partout inférieure à 0.050 ppm et souvent proche de 0.020, on est pratiquement au seuil habituel des hydrocarbures hors pollution.

Les nappes ont partout disparu mais l'I.G.N. et le C.N.E.X.O. signalent, le 26 mai, toujours de faibles irisations au voisinage de Portsall, de l'île Grande et des Abers, et des traces d'émulsion en baie de Lannion.

2. IMPACT ECOLOGIQUE SUR LES PEUPELEMENTS, ETAT A LA FIN MAI

2.1 Peuplement des rochers

2.1.1 Les algues et les roches de la zone littorale sont huilées sur presque 200 km. Ce sont surtout les secteurs abrités à Ascophyllum nodosum, des criques exposées face aux vents d'ouest qui restent englués, là où le mazout s'est échoué en nappe. Les algues sont cependant partout vivantes. Un test de photosynthèse comparable à celui que nous avons réalisé lors de la pollution du "Torrey Canyon" (CHASSE et al., 1967) a été entrepris le 16 avril avec une équipe de chercheurs hollandais à Roscoff. Elle portait sur 2 lots de 7 espèces, l'un sain provenant d'un secteur non pollué de la Rade de Brest (anse du Dellec) l'autre très pollué provenant du secteur de Portsall.

Contrairement à ce que nous avons observé en 1967, les 7 espèces : Pelvetia canaliculata, Fucus spiralis, Ascophyllum nodosum, Ulva lactuca, Chondrus crispus, Fucus serratus, Laminaria saccharina - présentaient des intensités de photosynthèse non significativement différentes dans le secteur pollué - Cela est peut-être lié à la faible utilisation de détergents de faible toxicité (2.000 T, 500 à 1000 fois moins toxiques qu'en 1967).

La croissance des algues a repris partout. PEREZ (rapport ISTPM) signale le 2 mai que Fucus, Ascophyllum, Gigartina, Laminaria hyperborea fructifient partout, ajoutons qu'il en est de même pour Rhodhymenia palmata.

On a craint pour le champ de Laminaires, environ 30.000 ha, dont seules les parties les plus superficielles (Laminaria flexicaulis) sont exploitées par près de 600 goémoniers. C'est la formation végétale la plus productrice de nos latitudes, 3 fois plus, en carbone, que nos forêts de chênes et de hêtres (CHASSE, 1972). Bien que touché par le mazout dissous et émulsionné, aucune mortalité significative n'a été observée bien qu'un ralentissement de croissance soit probable. Nous avons réalisé un premier sondage le 26 avril portant sur les mensurations des trois espèces : Laminaria flexicaulis, Laminaria ochroleuca, Laminaria hyperborea provenant respectivement de la Rade de Brest (Dellec) non polluée et d'une station proche de l'épave à Portsall (île de Rosservor). Il a montré que les frondes des 3 espèces ont continué de croître et sont morphologiquement normales en zone polluée, bien qu'un certain retard se soit manifesté à Portsall pour les 2 premières espèces.

Longueur moyenne des 1/3 plus grandes frondes	Rade de Brest (hors pollution)	Laminaria flexicaulis (2 ans)	Laminaria ochroleuca (4 ans)	Laminaria hyperborea (4 ans)
		193 cm	135 cm	92 cm
	Portsall (pollution)	130 cm	113 cm	97 cm

Des prélèvements quantitatifs réalisés le 24 et le 25 mai en 3 stations de Laminaria flexicaulis exploitées par les gëemoniers devant l'Aber Benoît à 4 ou 5 km à l'Est de l'"AMOCO-CADIZ" ont montré des algues de biomasses et de tailles normales pour la saison et des aspects morphologiques sains. Les algues des sous strates étaient normalement développées (Delesseria sanguinea, Gelidium sesquipedale, Asparagopsis armata, Callophyllis laciniata etc.). La faune comportant les espèces habituelles (des ascidies Botryllus schlosseri, des spongiaires, des crustacés Portunus puber, Xantho floridus, Cancer pagurus, Galathea squamifera et strigosa, des Polychètes Bispira, des poissons Lepadogaster, Onos quinquecirratus, Labrus Berggylta, des étoiles de mer Asterina gibbosa, des mollusques Haliotis tuberculata etc...

Laminaria flexicaulis de 2 ans - 24 et 25 mai 1978 - Aber Benoît longueur moyenne des 1/3 plus grandes frondes (sur 2 m²), moyenne générale et amplitude des variations de la fronde de tous les individus de 2 ans sur 2 m² (pour mémoire, la longueur des frondes de 2 ans à cette saison est à Luc-sur-Mer de l'ordre de 150 cm (PEREZ, 1976)

Plateau de Trevors - 1 m - faciès semi abrité	Men Reneat + 1 m faciès intermédiaire	Rous Quennou (Nord) - 3 m faciès battu du large
123 cm (85, de 25 à 160)	147 cm (140, de 105 à 260)	168 cm (88, de 25 à 160)

L'examen tend à montrer que dans tous les secteurs étudiés la croissance a repris (et qu'il est possible à ce jour d'entreprendre une exploitation normale des Laminaria flexicaulis .

2.1.2 Les animaux des rochers exondables ont subi de lourdes pertes variables avec l'intensité, le renouvellement et la persistance des atteintes par la nappe d'hydrocarbures. Les Gastéropodes ont été spécialement étudiés (160 sites et plus spécialement Roscoff, l'Ile de Ty Saizon, Ile Verte, Pointe de Perharidic, Mogueriec). Début avril, les Patella ont subi des mortalités de l'ordre de 0 à 80 %, surtout sur les hauts niveaux, le plus souvent 20 %, au voisinage du sable elles ont mieux résistées. Les bigorneaux, Littorina, Gibbula, Monodonta ont subi des pertes globales de 50 à plus de 99 %. La mortalité a frappé plus lourdement les hauts niveaux du fait de la plus forte pollution mais, à pollution égale, les bas niveaux se montrent généralement plus affectés. Les zones abritées à Ascophyllum sont généralement les plus touchées. Chaque espèce est plus atteinte à la limite supérieure de sa répartition bathymétrique.

Les résultats des mortalités à Roscoff (12 transects) sont les suivants :

Patella vulgata	{ n. élevé 0 à 90%	moyenne 67%
	{ n. moyen 0 à 80%	moyenne 45%
Littorina rudis	25 à 99%	moyenne 90%
Littorina obtusata	0 à 99%	moyenne 52%
Gibbula umbilicalis	} 20 à 90%	moyenne 60%
Gibbula pennanti		
Gibbula cineraria		moyenne 80% (mais sous les pierres la mortalité semble nulle)
Thais lapillus	50 à 99%	moyenne 72%

La plus lourde mortalité des Gastéropodes operculés en général peut s'expliquer par leur comportement de lutte contre le dessèchement à basse mer : blottis dans les fissures où s'écoule le mazout, rétractés dans leurs coquilles, ils laissent la surface rocheuse se polluer entièrement, contrairement aux Patelles plus sédentaires qui maintiennent sous leur pied une surface propre. Même les peuplements les plus lourdement affectés n'ont pas totalement disparu et l'on trouve, toujours et partout, quelques individus de chaque espèce. Les Cirripèdes et les Moules, les Hermelles, surtout développés dans les zones à fort hydrodynamisme, rapidement nettoyés, ont été pollués mais n'accusent pas de fortes mortalités, leurs prédateurs, Nucella lapillus sont souvent plus lourdement décimés.

Sous la zone intertidale, il semble que les ascidies, les éponges, les hydraires, les crustacés, les étoiles de mer aient peu souffert dans l'ensemble. Les Echinodermes et notamment Echinus esculentus et les Holothuria ont régressé.

2.2 La faune sédentaire des sables et des vases :

Les cordons d'échouage et les autres zones d'accumulation ont livré les cadavres de grandes quantités d'animaux des sédiments, ce sont plus particulièrement :

l'oursin de sable : Echinocardium cordatum

les coques : Cardium edule

les couteaux (Solenidae) Pharus legumen, Ensis ensis, Ensis siliqua, Ensis arcuatus, Solen marginatus

les mactridae : Mactra corallina, Spisula solida

les palourdes "veneridae" : Venus verrucosa, Tapes decussatus, T. rhomboides, T. pullastra

les crustacés épipsammiques : Mysidacés, Crangonidae : Crangon crangon

Les autres animaux ont subi une mortalité bien plus faible, notamment les Polychètes psammivores. Les associations faunistiques habituelles subsistent très largement dans leurs abondances habituelles, tout au moins aux moments où les prélèvements furent effectués.

. A la Grande Grève en baie de Lannion, les peuplements de sables fins à Tellina tenuis, T. fabula, Donax vittatus, Haustorius arenarius, Acrocnida brachiata, Owenia fusiformis, Arenicola marina sont en bon état les 6 et 7 avril. Il y a comme en 1967, un déficit de peuplement en haut de plage dans les peuplements à Nerine cirratulus, Bathyporeia pilosa. Les Cardium edule, présents habituellement dans les 2/3 supérieurs de l'estran, sont détruits, les Mactra corallina et les Solenidae le sont également en bas de plage.

. A Beg an Fry (8 avril), les peuplements de sables fins battus, pauvres, à Tellina tenuis, Haustorius arenarius, Ammodytes tobianus étaient vivants, plus denses que les années passées et qu'en 1967 (Torrey Canyon) malgré l'importante nappe de mazout couvrant le sable à 80%. Sur les rochers, les moulières, les Cirripèdes et les Sabellaria étaient bien vivantes alors que les Crabes et les Gastéropodes avaient quasiment disparus.

. A Térénez, anses nord et sud, en baie de Morlaix, le 8 avril, les peuplements étaient normaux.

. A Roscoff, autour de la presqu'île de Perharidic (9 avril) et à l'entrée de l'Aber, les peuplements à Arenicola marina vivent normalement, ceux à Leiochone clypeata et surtout Lanice conchylega sont plus atteints. Les peuplements de sables fins à Ampelisca brevicornis ont disparu et les peuplements des herbiers sont très appauvris en épifaune de Gibbula pennanti. Les peuplements dunaires instables à Ophelia bicornis, Nerine cirratulus n'ont pas été retrouvés.

. A Moguériec et dans l'estuaire du Guillec (11 avril) bien touchés, la dune hydraulique des sables fins a des peuplements normaux et denses à Nerine cirratulus, Ophelia bicornis, Haustorius arenarius, Eurydice pulchra, Sphoeroma teissieri, Urothoe brevicornis. Les peuplements de dessalure des sables vaseux intérieurs sont intacts avec Arenicola marina, Nereis diversicolor, Scrobicularia plana. Les hydrobia ulvae et les Corophium volutator sont rares.

. Aux abords et dans l'Aber Benoît, ainsi qu'à l'ouest de la presqu'île Sainte-Marquerite (mi avril - mi mai), les peuplements des herbiers de Zostera à Loripes lacteus, Branchiomma vesiculosum, Tapes aureus, Perinereis cultrifera sont normaux ; les peuplements des sables fins et assez propres à Leiochone clypeata et Lanice conchylega ont souffert ; ceux à Leptosynapta gallinei et ceux à Arenicola marina sont normaux. Les dunes hydrauliques qui occupent l'axe de l'Aber Benoît montrent des peuplements dunaires normalement riches à Ophelia bicornis, O. neglecta, Travisia forbesi, Nerine cirratulus, Haustorius arenarius,

Urothoe brevicornis, (Bathyporeia sarsi et pelagica sont rares), Eurydice pulchra, Ammodytes tobianus, Tellina tenuis, Nephtys hombergii. Les trous profonds de 7 à 15 m, régulièrement espacés, qui se succèdent dans l'axe du chenal de sable hydrodunaire sont, soit envahis par les algues pourrissantes souillées de mazout, soit constitués là où les courants sont plus forts, d'un fond de coquilles et de cailloux couverts d'Hydrides en reproduction portant des pontes de Nudibranches. En avant de l'estuaire, une grande étendue de sables fins très mobiles est quasi azoïque naturellement, seuls les Nephtys hombergii y sont relativement abondants.

Les parois du chenal et la partie est de la grève de Brouennou sont constituées de sables graveleux caillouteux hétérogènes, voilés d'un film sablo-vaseux. C'est une formation d'origine terrestre, d'arène solifluée compacte, sur laquelle sont implantées, après addition de graviers et de coquilles, les principales installations ostréicoles découvertes. Les peuplements sans dessalures sont caractérisés par Tapes pullastra, T. decussatus, T. rhomboides, Cardium edule, tous décimés à plus de 50% et par Nerine foliosa, Perinereis cultrifera, Amphitrite edwardsi, Lanice conchylega dans les zones à forts courants, Audouinia tentaculata dans les zones les plus chargées en détritiques algaux, les plus pauvres en oxygène. Les peuplements avec dessalures et les vasières d'amont² comportent des peuplements denses de Nereis diversicolor (1600/m²) de Mya arenaria (4 à 40/m, moyenne 12).

. Anse de Kersaint-Portsall, Grèves de Tréompan : ce secteur le plus touché, présente un champ bien vivant d'Arenicola marina denses et actifs (3 juin).

La mortalité dans les sables et les vases revêt quelques aspects paradoxaux :

Autour de l'épave, sur 5 km de côte, et dans les premiers jours, toutes les espèces, y compris celles que l'on sera amené à considérer comme les plus résistantes ont été trouvées foudroyées, notamment : Nereis diversicolor, Arenicola marina, Audouinia tentaculata, Carcinus maenas. Le même phénomène a été observé mais atténué, là où les nappes de pétrole ont butté contre un obstacle (Roscoff, Trebeurden). Ultérieurement, la mortalité se fait partout plus discrète.

Si la faune des sables survit assez largement en zone littorale, elle est fortement frappée immédiatement en dessous des basses mers et est atteinte parfois au-delà de 40 mètres de profondeur dans les baies de Lannion et de Morlaix. C'est ainsi, qu'en baie de Lannion, sur les 5 km de plage de la Grande Grève (St Eflam - St Michel en Grève), sur 10 km² où les animaux vivent encore, on a dénombré le 6 avril, jonchant la plage et accumulés dans le cordon d'échouage, 3,55 millions de Solenidae morts (Pharus legumen, Ensis ensis, Ensis siliqua), 10 millions d'Echinocardium cordatum, 7,5 millions de Cardium edule, 7 millions d'autres Bivalves, dont 5 de Mactra corallina, Donax vittatus, Tellina tenuis, Lutraria lutraria, etc.). Les chercheurs de la Station Biologique de Roscoff signalent la quasi disparition des 6 espèces d'Ampelisca aux Pierres Noires en baie de Morlaix.

Il semble que les animaux des zones toujours submergées, peu habitués au stress, supportent moins bien la pollution que ceux de la zone littorale.

Notons cependant que les peuplements peu denses des sables mobiles qui tapissent les couloirs entre les roches des zones battues ainsi que les graviers très ventilés du large à Ophiotrix fragilis sont peu affectés. (Campagne du N/O "Suroit").

La vulnérabilité des espèces aux hydrocarbures est assez spécifique, elle est différente de la résistance aux pollutions habituelles par exemple par les effluents urbains en milieu portuaire, qui se traduisent par un déficit d'oxygène et une concentration en produit toxique SH₂ et NH₃. Les Ophelidae, les Haustoridae, les Ammodytidae, les Tellinidae, qui résistent fort bien aux hydrocarbures, supportent très mal le déficit en oxygène et le SH₂, alors que les Coques, les Couteaux et dans une moindre mesure les Oursins de sable, résistent bien à l'anoxie et supportent mal les hydrocarbures. D'autres espèces, telles : Arenicola marina, Nereis diversicolor, Mya arenaria, Audouinia tentaculata supportent bien l'une et l'autre, de même qu'elles supportent voir nécessitent la dessalure. La pollution chimique des effluents de papeterie a montré des effets assez semblables à ceux des hydrocarbures pour les peuplements de l'estuaire de la Laïta (sud Bretagne).

2.3 La faune vagile

2.3.1 Une mortalité très visible de poissons et de crustacés s'est déclarée dans les tout premiers jours 10 km autour de l'épave (et à Roscoff dans une plus faible mesure). Elle porte sur 50 espèces de poissons, mais essentiellement sur les lançons (900 individus) : Ammodytes

lanceolatus, A. tobianus, les Labrés Labrus Berggylta, L. mixtus, Crenilabrus melops, etc... Les Syngnathidae : Syngnathus acus, S. typhle, Entelurus, Nerophis lumbriciformis. Les Gobiidae, Bleniidae, Callionymidae, Gadidae littoraux, etc... tous les groupes littoraux sont représentés dans les échouages mais avec des abondances très faibles pour les Soles, Plies, Carrelets, Flets, Turbots, Muges, Raies, Bars, Cycloptères, St Pierre, Congres, Anguilles, Baudroies, etc... Compte tenu de la surface de récolte, l'échouage doit représenter moins de 10 000 individus de poissons littoraux de toutes tailles, ce qui tout compte fait est fort minime, même si l'échouage ne représente qu'une fraction de la mortalité. Les observations faites autour de l'épave par les plongeurs de la Marine Nationale, ainsi que l'observation en basse mer ont montré que d'une manière générale, le poisson, qui n'a pas été foudroyé sur place, a déserté très vite et pour un temps court le secteur pollué. Cependant, dès le 12 avril, puis le 24, le 28, les pêches expérimentales de l'ISTPM, à Portsall, à proximité de l'épave donnaient des pêches de poissons généralement sans goût d'hydrocarbures, mais d'aspect amaigri (muges, lieu jaune, maquereaux).

On a récolté en échouage, en deux localités, Portsall et Roscoff, 70 individus d'un Gadidé nordique Raniceps ranimus, ici en limite sud connu par un seul exemplaire, pêché à la ligne à Roscoff en 1908 (Ile de Sieck). Ce poisson qui n'est pas capturé par les pêcheurs professionnels ni par les bassiers, que l'on n'a pas signalé en plongée, doit vivre dans un biotope inaccessible, probablement les champs de blocs battus couverts de Laminaires. Cette présence inattendue témoigne des lacunes de nos connaissances écologiques, mais aussi de la diffusion rapide de certains hydrocarbures très toxiques dans l'ensemble de la tranche d'eau.

2.3.2 Les échouages ont livré des Crustacés divers, ce sont : Cancer pagurus (1000), Portunus puber, Crangon crangon, Leander serratus, Galathea squamifera et strigosa mais surtout Carcinus maenas. Cette espèce est extraordinairement résistante à toutes les agressions de polluants de toutes sortes, hydrocarbures comme détergents, son abondance témoigne de la sévérité de l'agression des premiers jours. Globalement, on peut considérer que la mortalité des Crustacés a été comme celle des poissons faible et localisée, les Araignées : Maia squinado n'étaient pas encore à la côte. Des pêches expérimentales de l'ISTPM à Plouguerneau le 5 avril, par 30 m de fond, révélaient dans les casiers des quantités normales de tourteaux Cancer pagurus, mais avec un goût d'hydrocarbures ; de même le 14 avril à Brignogan, les araignées avaient une odeur d'hydrocarbures. Le 28 avril par contre, à 1.5 milles de l'épave, crabes et araignées avaient bon goût. Du 15 au 30 avril, à Plougasnou comme à Roscoff et Carantec, crabes, araignées, langoustes, homards offraient des pêches normales et des goûts normaux.

J'ai consommé début mai, des araignées et des plies, excellentes, provenant de l'embouchure de l'Aber Wrach. Les étrilles étaient également excellentes à cette date. En résumé, dès la fin avril, la dilution des hydrocarbures était suffisante pour que la décontamination des crustacés dans les secteurs du large soit amplement entamée.

2.4 Les oiseaux de mer :

La mortalité des oiseaux présente un caractère spectaculaire qui suscite l'émoi entretenu de la population. Il a été recueilli et déterminé par les Ornithologues de la SEPNEB environ 4 000 cadavres d'oiseaux de mer et on estime à 10 à 20.000 Oiseaux l'effectif détruit. D'après l'échantillon de 2.800 individus répertoriés à Brest, ce sont essentiellement les effectifs d'Oiseaux plongeurs, Alcidae, Phalacrocoracidae, Sulidae, Gaviidae qui ont souffert (Macareux : Fratercula arctica : 780, Petits Pingouins : Alca torda : 664, Guillemots : Uria aalge : 480, Cormoran huppé : Phalacrocorax aristotelis : 467, Fous de Bassan : Sula Bassana : 55 Plongeon : Gavia arctica : 121). Les Laridae sont peu atteints selon la règle : (Goeland argenté : Larus argentatus : 53, Goeland brun : L. fuscus : 24, Goeland marin : L. marinus : 11, Mouette rieuse : L. ridibundus : 35, Mouette tridactyle : Rissa tridactyla : 10). Il en résultera une accentuation des déséquilibres en défaveur des Alcidae déjà très menacés, spécialement les macareux ; cependant, beaucoup proviennent des populations en transit qui ne nichaient pas en Bretagne.

3. CONCLUSIONS & PERSPECTIVES.

Début juin, il est encore difficile et prématuré d'esquisser un bilan. La décontamination de la masse d'eau est quasiment achevée, sauf exception à proximité de la côte et dans les Abers, partout les concentrations d'hydrocarbures sont inférieures à 0.02 ppm. Les algues et les roches sont encore grasses sur presque toute la côte au-dessus du niveau des basses mers de morte eau. Quelques 20 km² de peuplements d'Ascophyllum, Fucus spiralis et Pelvetia sont englués encore fortement. Les émulsions d'hydrocarbures accrochées aux rochers et

aux algues se décrochent avec le temps, la chaleur et les mouvements d'eau. Elles continuent à polluer les secteurs les plus abrités, les revers des îlots, les criques, les estuaires et les plages que l'on continue à nettoyer. Les sédiments abrités, en profondeur et dans la zone littorale, et spécialement dans les estuaires, sont toujours couverts d'irisations ou de films ; l'émulsion brune se reforme dès que l'on creuse un trou ou que l'on tamise le sédiment.

Dans les vasières de l'Aber Benoît, les hydrocarbures abondent dans la "crème de vase" superficielle, engluée cependant sur moins d'un cm, ils semblent absents dessous. Une pénétration jusqu'à 80 cm de profondeur s'effectue dans les vases littorales par les quelques 1.600 trous et galeries au m² de *Nereis diversicolor* et *Mya*. Dans les herbues, la pénétration dans le sol lui-même est faible, elle s'accroît avec le dessèchement estival durant les mortes eaux (1 cm). Le problème grave actuellement est celui des milieux abrités contaminants, qui peuvent le rester pour des décennies si l'on n'entreprend pas un curage. Pour l'Aber Benoît, nous avons préconisé auprès des Services de l'Équipement, un nettoyage d'amont en aval, de haut en bas, des schorres et des rochers vers les slikkes, au jet d'eau à moyenne et basse pression, en recueillant continuellement les films surnageant d'hydrocarbures dans les arroyos ; puis de terminer en extrayant avec des suceuses portuaires, travaillant à faible puissance, les hydrocarbures piégés avec les Algues pourrissantes, dans le fond de la douzaine de trous qui accidentent le chenal. Le contenu des barges sera rejeté au large dans les zones à fort courant après que le film d'hydrocarbures ait été enlevé.

Sur les plages polluées, au-dessus de la rupture des pentes, là où les nappes échouées minces, sont recouvertes de sable propre provenant du bas de l'estran, spécialement sur les portions quasi azotiques, où s'accumulent les débris algaux, nous avons préconisé, pour faciliter la dégradation bactérienne aérobie, de rompre les films d'hydrocarbures par un hersage ; les résultats semblent satisfaisants.

D'une manière générale, il semble, en matière de lutte, en protection comme en décontamination, que l'on puisse affirmer que plus les milieux sont abrités, que plus les sédiments sont réducteurs (et donc naturellement producteurs d'hydrocarbures, de méthane par exemple), que plus ils sont peuplés et criblés de galerie d'animaux, plus ils sont vulnérables et susceptibles de se transformer en "pièges géochimiques" contaminant les organismes pour des durées indéfinies. Toute la stratégie de protection et de décontamination est à penser en ces termes géomorphologiques et géochimiques. Un cap, une pointe battus par les vagues et les courants, une plage active à haute énergie sont atteints pour quelques mois, une anse abritée et ses rochers le sont pour quelques années, un marais, des vasières estuariennes, des rades comme celle de Brest, le seraient sans doute pour des décennies en nombre indéfini si l'on n'intervient pas. Les animaux eux se décontaminent vite : un mois en eau propre suffit presque à une Huitre pour passer de 300 ppm à des concentrations presque normales de 66 ppm.

Le caractère spectaculaire des accidents des tankers, plus dûs aux négligences et à l'avidité qu'aux aléas des incidents de mer, ne doit pas masquer les pollutions plus insidieuses, plus importantes en volume, des dégazages en mer et des rejets des effluents urbains et industriels qui nous mènent à des concentrations en hydrocarbures souvent proches des 0.1 ppm qui rendent les produits de la mer imangeables, ce seuil serait probablement atteint si la crise pétrolière n'était intervenue. Le caractère malgré tout limité des mortalités actuelles comparées à celles observées en 1967, et ceci pour un sinistre 6 fois plus conséquent, est lié à la faible utilisation des détergents de toxicité moindre. La mise en garde ferme de la communauté scientifique a joué un rôle bénéfique certain, espérons qu'elle continuera à être entendue dans la suite des opérations.

Les observations précédentes s'arrêtent début juin. Nous avons continué nos observations quantitatives en Baie de Lannion (St Eflam), Baie de Morlaix (St Pol de Léon : Grève du Man, de St Anne, Anse de Pempoul, de St Jean ; Carantec et Ile Callot), Plouguerneau, Aber Benoit, Portsall (Anse de Porsguen).

Nous donnons un bref aperçu :

A) En milieu rocheux :

Les Algues intertidales ne sont plus grasses sur l'ensemble du littoral, seuls les hauts niveaux des grèves abritées, en cul de sac, sont encore largement souillés et semblent peu évoluer. Les peuplements de Chthamalus stellatus n'accusent partout qu'une mortalité extrêmement discrète.

1/ - A Portsall : à moins d'1 km de l'épave, les Pelvetia et Fucus spiralis ont des germinations abondantes ; la dernière espèce a grandi de 10 à 12 cm (Porsguen).

On observe :

- Une abondance anormale mais localisée d'Algues vertes (Enteromorpha).
- Une prolifération anormale de Bactéries épiphytes filamenteuses surtout sur les Algues de hauts niveaux.
- Un extraordinaire grouillement de Copépodes Harpacticoïdes aplatis glissant à la surface des Algues à basse mer. On trouve près de 30 fois plus d'Harpacticoïdes à Portsall qu'en Rade de Brest (Anse de St Anne), soit 70.000 individus contre 2.300 par kg de Fucus spiralis.

Ces phénomènes sont sans doute liés simultanément, à l'apport fertilisant consécutif à la dégradation des hydrocarbures, via les Bactéries et les Diatomées épiphytes, à l'absence quasi complète des Gastéropodes herbivores qui raclent la surface des Algues et des rochers, Littorina rudis, L. obtusata, Gibbula umbilicalis, G. pennanti.

On doit cependant noter un très important recrutement de jeunes L. obtusata de 1 mm, plus de 2.000/m².

Les peuplements des dessous de blocs sont nettement appauvris :

- La surface inférieure des blocs porte des peuplements à peu près normaux, mais peu exubérants : notons pour des blocs au niveau des Fucus serratus - Himantalia elongata :

Spongiaires :

Sycon sp.
Hymeniacidon sanguineum
Oscarella lobularis
Halisarca dujardini
Terpios fugax

Ascidies :

Botryllus schlosseri
Botrylloides leachi
Didemnum fulgens
Didemnum maculosum
Sydnium turbinatum

Bryozoaires

Flustrella hispida
Umbonula verrucosa
Scrupocellaria repens
Cellepora pumicosa
Crisia & Crisida sp.

- par contre, la faune vagile entre bloc et sable est très appauvrie, voici quelques valeurs moyennes ramenées au m² (toutes tailles) :

<u>Cancer pagurus</u>	3	<u>Asterina gibbosa</u>	1
<u>Portunus puber</u>	2	<u>Gibbula cineraria</u>	1
<u>Carcinus moenas</u>	2	<u>Calliostoma zizyphinum</u>	1
<u>Xantho floridus</u>	0.5	<u>Motella tricirrata</u>	1
<u>Clibanarius misanthropus</u>	1	<u>Gobius flavescens</u>	0.5
<u>Leander serratus</u>	0.5	<u>Conger conger</u>	0.5

Notons l'absence significative de tous les Amphipodes, de Nebalia bipes, Athanas nitescens, Galathea squamifera, Porcelana longicornis, Amphipholis squamata, Cirratulus cirratus, Polychète qui vit dans le sable grossier entre les blocs est localement très abondant. Il faut aussi noter un surabondant recrutement de Carcinus maenas de quelques mm : une opération de repeuplement en espèce noble, comme le Homard, serait sans doute possible en agissant très vite, pour coloniser la niche écologique devenue accidentellement disponible autour de l'épave.

Notons que 6 km plus à l'Est, à l'entrée de l'Aber Benoit, les peuplements de dessous de blocs sont sensiblement normaux bien que décimés.

2/ - En baie de Morlaix : nous avons examiné les surplombs des gros blocs de l'île Callot (au Nord-Est) ; ils sont apparemment indemnes, malgré l'arrivée importante de mazout en haut de plage : à basse mer, ils sont dominés par :

Les Ascidies :

Dendrodoa grossulariata
Stolonica socialis
Distomus variolosus
Sydnium turbinatum
Polysyncraton lacazei
Botryllus schlosseri.

Les Spongiaires :

Hymeniacion sanguineum
Halichondria panicea
Ophlitaspongia seriata
Leuconia gossei
Grantia compressa
Adocia simulans.

Les Bryozoaires :

Flustrella hispida
Umbonula verrucosa

Les Mollusques :

Trivia actica
Calliostoma zizyphinum

3/ - En Baie de Lannion : nous avons examiné les peuplements de Cirripèdes : Chthamalus stellatus, Balanus perforatus et leur prédateur : Nucella lapillus, la moulière et les encroûtements de Sabellaria alveolata ; ils sont largement nettoyés et en état.

B) En milieux sableux

Partout à Portsall, en baie de Morlaix comme en baie de Lannion, les sédiments

des plages , généralement propres en apparence sont imprégnés de trace de mazout. Dans les deux cents trous de prélèvement que nous avons creusés, nous avons constaté l'apparition d'un film irrisé dans l'eau interstitielle avec parfois formation de petits glomérules d'émulsion brune cela est vrai à tous les niveaux des plages et dans tous les types de sédiments.

1/ - En baie de Lannion : à St Efflam, la mortalité s'est accentuée sur les peuplements endogés d'Amphipodes du sable encore représentés en avril : les Bathyporeia ont quasiment disparu à St Efflam, une dizaine d'individus sont récoltés au m² là où l'on trouvait plusieurs milliers, les Urothoe sont présents à quelques exemplaires là où l'on en rencontrait plusieurs centaines, les Haustorius ont également régressé dans une proportion plus faible. La mortalité des Donax vittatus, Acrocrida brachiata, Echinocardium cordatum a continué : là où l'on comptait plus de 100 individus on n'en trouve que quelques uns. Par contre, les Tellina tenuis, T. fabula sont toujours exubérants avec plusieurs centaines d'individus.

Les Solenidae si touchés : Ensis ensis, Ensis siliqua, Solen marginatus n'ont pas totalement disparu, il en est de même des Lutraria lutraria.

2/ - En baie de Morlaix : les riches peuplements de plusieurs centaines de Lanice conchylega sont vivants, bien que manifestant une faible vitalité au fond de l'Anse de Pempoull. Les Bathyporeia, Urothoe ont disparu de la grève du Man, les peuplements de sables grossiers à Dosinia exoleta, Tapes pullastra (une centaine d'individus au m²) ont été réduits au dixième ; il en est de même du grand banc de Solen marginatus de Pempoull. Les peuplements de dessalure à Hydrobia ulvae, Cardium edule sont également réduits au dixième dans les anses de Pempoull et St Jean.

Pour conclure, disons :

- La mortalité semble stoppée sur le rocher où les Algues sont presque propres, et les premiers signes d'un recrutement de jeunes apparaissent pour les Algues comme pour les Animaux.
- Les sédiments sont toujours partout infiltrés d'hydrocarbures et la mortalité s'y poursuit à bas bruit, bien que les peuplements y soient encore très largement survivants.

Références Bibliographiques

- CHASSE, Cl, L'HARDY-HALOS, M.T, PERROT, Y, 1967. Esquisse d'un bilan des pertes biologiques provoquées par le mazout du "Torrey-Canyon" sur le littoral du Trégor. Penn ar Bed, 6, 50, 107-112.
- COLLECTIF, 1967. La marée noire sur la côte Nord du Finistère. Penn ar Bed, 6, 50, 99-106.
- CHASSE, Cl, 1972. Economie Sédimentaire et Biologique (production) des estrans meubles des Côtes de Bretagne. Thèse d'Etat, PARIS VI, 1-293.
- FARRINGTON, S.W., 1977. The biogeochemistry of Oil in the Ocean. Oceanus, 20, 4, 5-14.
- GUNDLACH, E.R., HAYES, M.O., Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. Mar. Tech. Soc. Jour. 23 p. (in press).
- O'SULLIVAN, A.S., 1978. The "AMOCO CADIZ" oil spill. Mar. Poll. Bull. 9, 123-128.
- SMITH, S.E., 1970, ed "Torrey-Canyon" pollution and marine life. Cambridge University Press.
- SOUTHWARD, A.S., & SOUTHWARD, E.C., 1978. Recolonization of rocky shores in Cornwall after use of toxic dispersants to clean up the "Torrey-Canyon" spill. J. Fish. Res. Bd. Canada. 35, 682-706.
- SPOONER, M.F., 1977, oil spill in Hong Kong, Mar. Poll. Bull, 8, 3, 62-65
- THOMAS, M.L.H., 1973. Effects of Bunker C oil on intertidal and lagoonal biota in Chedabucto Bay, Nova Scotia. J. Fish. Res. Board. Canada, 30, 83-90
- VANDERMEULEN, J.H., 1977. The self-cleaning processes and the biological recovery. The Chedabucto Bay Spill - "Arrow", 1970. Oceanus, 20, 4, 31-39.
- WORMALD, A.P., 1976, Effects of spill of marine diesel oil on the meiofauna of a sandy beach at Picnic Bay, Hong Kong, Environ. Pollu. 11, 117-130.

MACROFAUNE DES ROCHERS INTERTIDEAUX GASTROPODES HERBIVORES ADULTES	Baie des Trépassés	Ste Anne du Portzic	Ile Segal		Portsaill	Aber Benoit	L'Aber Wrach (entrée)	Plouguerneau	Le Curric	Brignonan	Plouescat	Le Quilliec	Roscoff										Baie de Morlaix			Baie de Lannion						Trestel	Sillon de Talbert		
			S	N									Perharidic	Aber	Ile Verte		Ile de Ty Saozon					St Samson	Le Guerzit	Prime! Trégastel	Beg-en-Fry	Loquirec	Beg Leguer	Trébeurden	Ile Grande	Trégastel					
															W	E	S	N	W	SW	S										N			E	
			W	E									S	N	W	SW	S	N	E	W	E	S	N	E	W	E	S	N	E	W	E			S	N
Distance à l'Amoco Cadiz en km	-60	-50	-23	-15	-15	0	+6	+9	+16	+21	+30	+41	+48	+55		+56		+56,5				+56,6	+67	+67	+69	+74	+79	+87	+86	+86	+91,5	+105	+124		
Intensité de la pollution initiale	+++	0	++	++	++	+++	+++	++	++	+++	++	++	+++	++	+	+	+	+	+++	++	+	+	+	++	+++	+++	++	++	+++	+++	++	+	+		
N : nombre m ⁻² après pollution	24	101	82	53	57	4	2	62	39	105	44	77	58	26	88	2	22	27	8	18	22	33	42	116	7	100	33	76	80	87	42	131	174	194	
M : nombre m ⁻² avant pollution	?	101	100	60	60	50*	60*	180*	60*	?	60*	?	(200)	50	100	(200)	50	50	50	70*	100	41	45	120*	50*	100*	50	?	?	?	?	?	?	?	
% de survie	30	100	82	88	95	8	3	30	65	>90	90	90?	29	52	88	1	44	54	16	26	22	80	94	95	17	100	66	80?	80?	50?	25?	90?	95?	95?	
P : nombre maximal m ⁻² après pollution																																			
Littorina rudis	24	12	●	●	2	1	1	3	●	20	/	●	20	31	34	2	27	23	8	10	5	/	/	7	1	2	/	81	22	7	●	20	10	14	
Patella vulgata (haut)	4	7	42	3	26	4	●	3	31	100	8	72	50	14	102	●	8	5	3	20	●	37	/	97	3	16	20	59	58	19	19	22	1	28	
Littorina littoralis (+ lacuna pallidula)	34	158	21	88	16	2	2	30	35	79	43	36	40	4	90	●	9	23	8	6	15	1	/	34	●	117	12	8	●	168	97	275	142	145	
Gibbula umbilicalis	●	11	42	17	28	1	●	1	24	81	36	19	/	2	4	/	4		1	7	7	3	15	48	6	106	20	27	57	52	3	47	80	34	
Gibbula pennanti	●	5	15	●	●	●	●	5	12	51	14	38	/	/	/	/	●		/	18	25	5	●	134	●	20	●	3	●	●	/	78	241	386	
Patella vulgata (+ P. intermedia)	(236)	16	34	16	49	3	●	(200)	●	37	1	3	/	/	/	/	/		●	2	2	16	28	2	2	6	29	53	(140)	1	/	5	29	22	
Gibbula cineraria	●	20	14	●	14	●	●	2	1		1	●	/	/	/	/	/		●	19	19	21	12	3	●	1	●	●	●	/	/	5	3	12	

IMPACT DU MAZOUT SUR LES POPULATIONS DE GASTROPODES HERBIVORES ADULTES DES ROCHES INTERTIDALES.

M. Nombre moyens d'individus par m² **avant pollution** calculé sur 4 à 6 ans à Roscoff, 1 an dans les autres localités. Les chiffres avec (*) ne sont que des estimations fondées sur le régime hydrodynamique.

N. Nombre moyen d'individus par m² **après pollution**, calculés sur 3 à 5 prélèvements (chacun de 4 carrés de 0,25 m²) des diverses ceintures d'algues.

P. Nombre maxima de gastropodes adultes de chaque espèce, après pollution dans le prélèvement où elle est le mieux représentée.

● | l'espèce n'a pas été trouvée dans aucun prélèvement, mais elle peut exister à côté. | / | le biotope correspondant n'est pas présent dans la zone.

(250) prélèvement complémentaire sur roche dépourvue d'algues.

MEIOFAUNE et GASTROPODES HERBIVORES des ALGUES et des ROCHERS 2 au 7 juillet 1978	Rade de Brest Ste Anne-Portzic Pollution nulle		LE CONQUET	ILE SEGAL		PORTSALL		ABER BENOIT	PLOUGUER- NEAU
	semi exposé	abrité		Sud	Nord	Porsguen	Zone très abritée		
Distance à l'AMOCO CADIZ en km	50	50	23	16	15,5	0	0	6	16
Intensité de la pollution	0	0	+	++	+	+++	+	+++	+++
Gastropodes Survie des adultes en %	100	100	82	88	95	8	3	3	65
herbivores Recrutement des jeu- nes en nbre $10^{-3} m^{-2}$?	?	4,32	1,45	1,03	0,41	?	4,6	1,88
Harpacticoïdes, nombre $10^{-3} m^{-2}$	2	10	25	2	8	35	350	199	31
Nématodes, nombre $10^{-3} m^{-2}$?	?	0,88	0,05	1,59	1,91	?	?	?
Amphipodes, nombre m^{-2}	?	?	1 200	45	160	3	0	0	229
Isopodes, nombre m^{-2}	?	?	473	024	567	0	?	2 000	264

TABLEAU 2

IMPACT DU MAZOUT SUR LA MEIOFAUNE ET LES GASTROPODES HERBIVORES DES ALGUES ET DES ROCHERS

MEIOFAUNE DES SABLES		Avant pollution (1967) ABER WRACH	Après pollution - 07.07.1978				
			PORTSALL			PLOUGUERNEAU	
Niveaux de marée		M. L. T. L.	M. T. L.	N. L. T. L.	M. L. T. L.	M. T. L.	M. L. T. L.
Hydrocarbures en P. P. M. (infra-rouge)	Eau littorale (marée)	< 0,02		0,033		≈ 0,02	
	Eau intersticiel- le du sable	?		1,120		16,640	
Granulométrie : médiane et quartiles en 10^{-3} mm		630	400,330,250	630,500,400	500,400,315	500,400,315	1000,500, 250
Macrofaune		<i>Arenicola marina,</i>		<i>Leiochone olypeata,</i>		<i>Notomastus lateraceus</i>	
MEIOFAUNE sur 5 cm de profondeur dans le sable nombre en $10^{-3}.m^{-2}$	Harpacticoïdes (copépodes)	50	0,4	0,4	3,2	0,8	45,6
	Ostracodes	10	0	0	0,4	0	1,2
	Nématodes	300	4,4	5,6	104	16,8	93,2
	TOTAL	360	4,8	6	107,6	17,6	140,0
	% sans pollution	100 %	1,2 %	1,7 %	33 %	4,9 %	39 %

TABLEAU 3

IMPACT DU MAZOUT SUR LA MEIOFAUNE DES SABLES

MACROFAUNE DES SÉDIMENTS INTERTIDEAUX		Survie moyenne de Chaque espèce	Aber Benoit			Aber Wrach (entée)	Quiliec	Mogueriec	Roscoff		St Pol-de-Léon			Ile Callot (Est)	Beg-an-Fry	St Michel-en-Grève St Efflam	
			Portail - Porsguen	Treglonou	St Pabu				Brouennou	Perharidic (W)	Aber	Le Man, Ste Anne	Penpoull				St Jean
POURCENTAGE DE SURVIE DES POPULATIONS DES DIFFÉRENTES ESPECES																	
TYPES DE PLAGES	Distance à l'AMOCO CADIZ en km		0	6	6	7	10	48	48	55	56	60	63	64	65	74	94
	Intensité de pollution initiale		+++	+++	+++	+	+++	++	+++	+	+	+++	+	+++	++	++	++
	Date des observations (mois)		V,VI,III	V&VI	V & VI	V & VI	VII	IV	IV	IV	IV	VII	VII	VII	VII	IV	M&VII
	Estimation de la survie moyenne	71 %	40	70	90	80	(80)	80	60	40	80	80	70	80	80	>80	60
Sable grossier éluvial B.M.	Tapes Rhomboïdes	50	0	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-	
	Dosinia exoleta	50	0	-	-	30	-	-	-	-	-	30	60	-	60	-	
Zone de courants B.M.	Lanice conchylega	80	5	-	50	60	80	-	-	30	80	80	80	100	80	-	
	Ophelia bicornis	90	-	-	100	-	-	-	80	60	-	-	-	-	-	-	
Dunes hydroliques de sables propres moyens ou fins M.M. à B.M.	Haustorius arenarius	90	-	-	100	-	-	-	80	-	-	-	-	0	100	+	
	Eurydice pulchra	90	-	-	100	-	-	-	80	30	-	-	-	60	100	+	
	Urothoe brevicornis	30	-	-	10	-	-	-	30	-	-	-	-	-	100	+	
	Travisia forbesi	100	-	-	100	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
	Ophelia neglecta	100	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Armandia polyophtalma	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	
	Aricia foetida	100	-	-	100	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	
	Nephtys hombergii	100	-	-	100	100	-	-	100	-	-	-	-	100	100	60	
	H.M.	Talitrus saltator	20	-	-	20	-	-	-	30	-	30	10	-	30	-	0
		Nerine cirratulus	30	-	-	-	-	-	-	50	30	30	+	-	-	100	10
Plages alluviales semi-exposée de sables très fins et propres B.M.	Bathyporeia pilosa	10	-	-	20	-	-	-	10	-	10	0	-	-	-	0	
	Bathyporeia sarci	10	-	-	10	-	-	-	10	-	40	0	-	-	-	0	
	Urothoe S P	30	-	-	30	-	-	-	30	-	-	30	-	-	30	0	
	Cardium edule	5	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	Tellina tenuis	90	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	100	100	
	Donax vittatus	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	
	Owenia fusiformis	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	
	Acrocnida brachiata	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	
	Tellina fabula	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	
	B.M.V.E.	Echinocardium cordatum	5	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Leptosynapta gallinei		100	-	-	-	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-	100	
Mactra corallina		10	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
Ensis ensis		10	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Ensis siliqua		10	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Pharus legumen		10	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
Solen marginatus		10	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	10	10	+	10	
Lutraria lutraria		30	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	30	60	10	
Leiochone clypeata		50	10	-	-	30	-	-	-	30	80	80	80	60	60	-	
Plages semi-abrités de sable fin M.M. à B.M.		Ampelisca brevicornis	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-
	Scoloplos armiger	90	30	-	-	-	-	-	100	100	100	80	80	100	-	-	
	Marphysa belli	100	0	-	+	+	-	-	-	100	100	-	80	80	100	-	
	Cardium edule	20	0	-	-	5	-	10	-	0	30	-	30	30	-	5	
	Arenicola marina	100	60	-	-	-	-	100	-	100	100	100	100	100	-	100	
	Ampharete grubei	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	
	Loripes lacteus	90	30	-	-	100	100	-	100	-	100	100	100	100	-	-	
	Tapes aureus	50	10	-	-	40	40	-	-	60	-	60	60	60	-	-	
	Branchiomma vesiculosum	90	-	-	-	100	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Herbier de zostera de sables fins de décantation M.M. à B.M.	Myxicola infundibulum	90	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Sabella pavonina		90	-	-	-	100	100	-	100	-	100	-	100	100	-	-	
Perinereis cultrifera		80	-	-	-	100	80	-	80	-	80	-	100	60	-	-	
Sthenelais boa		80	-	-	-	100	80	-	80	-	80	-	100	60	-	-	
Amphitrite edwardsi		90	-	-	-	80	-	-	80	-	100	-	100	60	-	-	
Audouinia tentaculata		100	30	100	-	100	-	-	100	-	-	-	100	-	-	-	
Tellina tenuis		100	-	-	-	+	100	-	-	-	-	-	-	100	-	-	
Arenicola marina		100	60	100	-	100	100	100	100	100	100	-	-	100	100	-	
Bassin de décantation et de bioturbation, des sables abrités aux vases sableuses saumâtres H.M. à M.M.		Cardium edule	20	0	10	-	10	10	10	0	-	10	-	-	60	30	-
		Abra tenuis	10	-	-	-	-	-	10	-	-	0	-	-	-	-	-
	Corophium volutator	10	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	-	-	
	Hydrobia ulvæ	60	-	-	-	-	-	80	-	-	20	-	100	10	-	-	
	Nereis diversicolor	90	-	90	-	90	-	100	-	-	100	-	100	100	+	-	
	Scrobicularia plana	70	-	-	-	-	-	60	-	+	+	-	-	100	-	-	
Mya arenaria	100	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-		

	Localités Distance à l'AMOCO CADIZ et intensité de pollution	PORTSALL 2 km +++ +++	PLOUGUERNEAU 16 km +++
POURCENTAGE DE SURVIE OU DE PRESENCE	Algues du rocher	90 %	95 %
	Cirripèdes	100 %	100 %
	Gastropodes herbivores	8 %	65 %
	Méiofaune des algues	> 500 %	> 300 %
	Méiofaune du sable	12 %	17 %
	Macrofaune du sable	40 %	80 %
	Crevettes roses <i>Leander Serratus</i>	> 200 %	> 200 %

TABLEAU 5

ASPECT ECOLOGIQUE GENERAL DE L'IMPACT APRES TROIS MOIS DE LA MAREE NOIRE DE
L'AMOCO CADIZ SUR DEUX LOCALITES INEGALEMENT AFFECTEES

EFFET DU PETROLE DE L'AMOCO CADIZ"
SUR LES OISEAUX DE MER .
BILAN PROVISoire

par

J.Y. MONNAT

Laboratoire de Zoologie - Faculté des Sciences de BREST.
Société pour l'Etude et la Protection
de la Nature en Bretagne.

R E S U M E

Dans les jours qui ont immédiatement suivi l'échouement de l'AMOCO CADIZ, la S.E.P.N.B. a été chargée de coordonner l'activité des centres d'accueil et de soins aux oiseaux mazoutés du Finistère et de dresser, pour l'ensemble des côtes bretonnes, le bilan de la marée noire sur l'avifaune. Au total, 15 à 20 000 oiseaux sont morts dans la marée noire de l'AMOCO CADIZ. 41 espèces ont été touchées par le pétrole, parmi lesquelles 35 vivent habituellement en milieu maritime ou marin. Les espèces les plus touchées ont été les représentants de la famille des alcidae. Le taux de mortalité (0,1 oiseau par tonne de pétrole) semble être, à ce jour, le plus faible taux jamais enregistré dans la littérature.

A B S T R A C T

Immediately following the AMOCO CADIZ oil spill, the S.E.P.N.B. carried out health centers for oiled birds from Finistere, and estimated the impact of the oil spill on seabirds. In the whole, 15 to 20 000 birds are dead because of the AMOCO CADIZ oil spill. 41 species have been oiled, among which 35 usually live in marine environment. The species most stressed belong to alcidae. The mortality rate (0,1 bird/ton of oil) seems to be, at present day, the lowest rate never mentioned in the literature.

M O T S - C L E S : Pollution, hydrocarbures, AMOCO CADIZ, oiseaux, Nord-Finistère, Côtes-du-Nord.

K E Y W O R D S : Pollution, hydrocarbons, AMOCO CADIZ, birds, Northern Brittany.

INTRODUCTION

Dans les jours qui ont immédiatement suivi l'échouement de l'AMOCO CADIZ, la S.E.P.N.B. a été chargée de coordonner l'activité des centres d'accueil et de soins aux oiseaux mazoutés du Finistère et de dresser pour l'ensemble des côtes bretonnes le bilan de la marée noire sur l'avifaune.

Il s'agissait donc :

- de dresser le bilan qualitatif et quantitatif des oiseaux touchés et ramené aux centres.
- de tenter d'évaluer les effectifs réellement touchés.
- de mesurer l'impact de cette pollution sur les colonies reproductrices bretonnes.

1. BILAN QUANTITATIF

Les apports ont été importants jusqu'au 20 avril environ (fig.1) et se sont rapidement espacés ensuite. Le nombre d'oiseaux parvenus morts ou vivants aux divers centres de la zone touchée par le pétrole de l'AMOCO CADIZ est très voisin de 4 000. Nous ne pouvons fournir de chiffre plus précis dans l'immédiat car nous attendons les rapports détaillés de Morlaix et des Côtes-du-Nord.

Ce chiffre ne tient pas compte des victimes des nombreux dégazages qui ont suivi le naufrage.

Morbihan	ca 250
Sud-Finistère	ca 100
Cotentin	ca 600
Iles Anglo-Normandes	ca 450

Ceci dit, il y a évidemment un décalage -qui peut être considérable- entre le total des apports aux centres et le nombre d'oiseaux réellement touchés.

Il y a trois sources possibles de sous-estimation.

- La première concerne les espèces plutôt liées à l'estran, c'est-à-dire essentiellement les Limicoles Charadriidae & Scolopacidae et la plupart des Laridae. Comme nous le verrons dans le bilan qualitatif, ces oiseaux sont très peu représentés dans le total des apports aux centres (5 %). N'étant pas strictement liés au milieu aquatique, ils ont moins de raisons d'être fortement touchés par le pétrole que les espèces ichthyophages ou planctonophages. Ils sont, pour la grande majorité d'entre eux peu touchés et gardent le plus souvent leur faculté de vol. Les plus mazoutés pourront aller mourir à de grandes distances du lieu du sinistre ou dans l'intérieur des terres où ils auront très peu de chances d'être recueillis. La plupart ont vraisemblablement regagné leurs zones de reproduction (généralement nordiques pour les Limicoles).

Les deux autres sources de sous-estimation concernent des espèces aquatiques.

- Il a été établi (HOPE-JONES & al. 1970, COULSON & al. 1968) qu'une proportion non négligeable d'oiseaux morts en pleine mer pouvait ne jamais atteindre le rivage,

les cadavres étant susceptibles de couler après un temps de dérive variant selon les espèces et les conditions météorologiques.

- D'autre part, un certain nombre de cadavres échoués ne parvient jamais aux centres, et ce pour diverses raisons :

- . Oiseaux déposés par la mer dans des endroits peu visités ou peu accessibles : falaises, îlots, etc...
 - . Oiseaux passant inaperçus dans des laisses ou des nappes épaisses.
 - . Oiseaux récupérés et détruits par les personnes (soldats et bénévoles) nettoyant les grèves (nombreux témoignages).
 - . Oiseaux récupérés pour nettoyage ou empaillage par des particuliers.
 - . Oiseaux récupérés par des taxidermistes.
- etc...

Pour tenter d'évaluer l'importance de ces deux dernières sources de sous-estimation (cadavres qui coulent ou qui ne sont pas transmis aux centres) il a été effectué une expérience malheureusement limitée par l'abondance du matériel disponible.

144 cadavres de Laridae portant des bagues métalliques immatriculées ont été jetés en mer au nord de Roscoff par G. MUDGE en trois lots égaux. L'opération a eu lieu le 30 mars.

1er lot : 48 corps à 16 nautiques (30 km) de Roscoff
2ème lot : 48 corps à 8 nautiques (15 km) de Roscoff
3ème lot : 48 corps à 4 nautiques (7,5 km) de Roscoff

27 de ces cadavres bagués nous ont été ramenés au centre de Brest. Ils ont tous été ramassés sur les grèves comprises entre Plouguerneau et Plestin-les-Grèves, du 7 avril au 21 avril. Le taux de reprise global est de 18.7 %.

Les cadavres du 3ème lot, le plus proche de Roscoff, ont commencé à être retrouvés à partir du 7 avril, soit huit jours après avoir été immergés. 12 cadavres de ce groupe ont été récupérés jusqu'à présent (25 %).

Les cadavres du 2ème lot ont été retrouvés à partir du 11 avril ; il en a été récupéré 13 (27.1 %).

Quant à ceux du 1er lot, seulement 2 sur 48 ont été retrouvés (4.2 %), tous deux à Plouguerneau le 13 avril, soit deux semaines après leur immersion.

Le résultat global de cette expérience montre donc que pour 144 oiseaux "morts" en mer dans un secteur situé à peu près à mi-chemin des localités extrêmes atteintes par la pollution massive et au milieu de la période la plus critique pour les oiseaux, seulement un cadavre sur plus de 5 est parvenu aux centres de collecte (*).

(*) Chiffre très voisin de celui obtenu en 1969 par HOPE-JONES & al. lors d'une expérience similaire en mer d'Irlande.

Il est cependant difficile de transposer sans critique ce coefficient à l'ensemble des oiseaux touchés.

En particulier nous ne savons pas si la distribution des densités d'oiseaux en mer correspondait à celle qui lui a été fixée dans cette expérience. Nous avons de bonnes raisons de penser au contraire que les densités sont plus fortes auprès de la côte, en deçà de la ligne des huit milles. Il serait donc prudent dans ce cas d'utiliser les pourcentages obtenus pour les deuxièmes et troisièmes lots (qui ne diffèrent d'ailleurs pas significativement). D'autre part, la dérive des oiseaux mazoutés mais vivant encore, peut différer sensiblement de celle des cadavres inertes. D'un autre côté, l'expérience s'est déroulée à une période où la prospection des côtes était maximum, ce qui a sûrement pour effet de surestimer le taux de transmission des cadavres sur l'ensemble de la période.

Compte tenu de tous ces facteurs le nombre total d'oiseaux de mer mortellement touchés par la marée noire peut être évalué entre un peu moins de 15 000 et un peu plus de 20 000.

Une fois de plus, cette estimation ne tient pas compte des oiseaux soupçonnés d'avoir été victimes d'autres sources de pollution que celle de l'AMOCO-CADIZ.

Elle ne tient pas compte non plus des pertes directes ou indirectes subies par les Laro-Limicoles. Par pertes indirectes nous entendons le cas des oiseaux partiellement mazoutés qui ne se reproduisent pas du fait des perturbations éthologiques provoquées par le mazoutage ou qui tenteront de se reproduire mais provoqueront la stérilité de leur ponte en engluant les coquilles (RITTING-HAUS 1956, BIRKHEAD & al. 1973, HARTUNG 1965, KOPISCHKE 1972...). Et le chiffre de ces victimes peut n'être pas négligeable : des observations indépendantes de Jean-Pierre ANNEZO et de moi-même dans les trois premiers jours de la marée noire ont permis de constater que dans la zone comprise entre Porspoder et les Abers un pourcentage important d'oiseaux de rivage pouvait être touché à des degrés divers : ce pourcentage atteignait plus de 70 % pour les Mouettes rieuses sur des milliers d'individus observés.

2. BILAN QUALITATIF

41 espèces ont été touchées par le pétrole de l'AMOCO-CADIZ, parmi lesquelles 35 vivent habituellement en milieu maritime ou marin, six étant des Passeriformes ou des Colombidae terrestres (cf. tableau 1).

Quatre oiseaux totalisent à eux seuls plus de 85 % des victimes. Ce sont les trois représentants indigènes de la famille des Alcidae : le Macareux : Fratercula arctica avec 27.7 %, le Petit Pingouin : Alca torda avec 23.6 % et le Guillemot de Troïl : Uria aalge avec 17.5 % ; vient ensuite le Cormoran huppé : Phalacrocorax aristotelis, espèce qui compte aussi de belles colonies en Bretagne, avec 16.5 %.

Aucune autre espèce n'atteint 2 % du total. Se détachent un peu du reste : les Plongeurs imbrins : Gavia immer et arctiques : Gavia arctica avec 1.9 % chacun, le Goéland argenté : Larus argentatus (1.8 %) et le Fou : Sula bassana (1.7 %).

La famille des Laridae totalise 4.7 % ; celle des Anatidae 0.9 % grâce aux Macreuses noires : Melanitta nigra piégées en baie de St-Efflam ; les Limicoles 0.6 % ; les Grèbes : Prodiceps spp. 0.5 % etc...

Ce qu'il faut retenir, c'est cette forte représentation des Alcidae et du Cormoran huppé.

On peut même affirmer que le Macareux est nettement sur-représenté par rapport à ses effectifs normaux à cette époque dans la zone considérée, et notamment au large du Finistère où il ne reste que quelques colonies résiduelles et où les observations de Macareux hors de ces colonies restent assez rares. Il y a à cela deux raisons possibles.

- La première est qu'au tout début de la marée noire, 30 à 40 % des oiseaux examinés étaient en mue totale des rémiges, et donc totalement inaptes au vol.

- La seconde raison est qu'à la marée noire de l'AMOCO CADIZ s'est superposée une mortalité exceptionnelle de l'espèce, antérieure à l'accident. Bon nombre de cadavres de Macareux de la première vague d'arrivée (dès le 20 - 25 mars) étaient déjà dans un état de putréfaction avancée. En outre, des échouages exceptionnels de l'espèce se sont produits au même moment sur les plages girondines et landaises sans qu'aucune pollution par hydrocarbures soit constatée (MEAD 1978). De tels phénomènes de mortalité massive ont été plusieurs fois répertoriés chez le Macareux depuis le 19ème siècle. Il y a eu en l'occurrence coïncidence entre un tel phénomène et l'échouement du pétrolier.

La représentation des autres Alcidae dans le bilan de mortalité n'a rien de particulier : elle est de type classique pour des pollutions de ce type dans ce secteur de l'Europe. Signalons seulement que l'examen détaillé des cadavres (examen du plumage et mensurations de gonade) confirme les données de la littérature obtenues par le moyen du baguage : les Guillemots présents dans ce secteur de la Manche à cette époque de l'année sont en quasi-totalité des immatures alors que les Petits Pingouins sont en majorité des adultes. MEAD (1974) considère que l'entrée de la Manche concentre en février - mars une fraction importante des Petits Pingouins reproducteurs des Iles Britanniques et pense qu'un accident pétrolier dans ce secteur et à cette époque de l'année pourrait causer de gros dégâts dans des colonies parfois lointaines.

Notons enfin la sur-représentation des Plongeurs par rapport à leurs effectifs normaux à cette époque. Mais dans ce cas aussi, l'explication de ce fait peut résider dans leur incapacité au vol due à la perte totale des rémiges (mue).

3. IMPACT SUR LES COLONIES BRETONNES

Les oiseaux touchés par cette marée noire peuvent appartenir à plusieurs catégories.

- Nicheurs de colonies bretonnes,
- Immatures du stock des futurs reproducteurs bretons,
- Migrateurs, (immatures ou reproducteurs) de populations plus nordiques.

N'ayant pas véritablement les moyens de mesurer l'importance relative de ces diverses catégories, il nous faudra attendre les recensements effectués ce printemps sur l'ensemble des colonies bretonnes d'oiseaux de mer pour évaluer, compte-tenu des évolutions connues, l'ampleur des pertes subies.

Treize des vingt espèces d'oiseaux marins nicheurs sur nos côtes figurent dans les bilans de mortalité. Mais parmi ces treize, seules les quatre espèces de tête et le Fou ont subi des pertes appréciables eu égard à l'ampleur des colonies.

L'unique colonie de Fous bretonne (la plus méridionale sur cette rive de l'Atlantique) semble avoir subi peu de pertes.

Le Cormoran huppé, espèce en extension, est un oiseau très sédentaire. Aussi est-on assuré que la quasi-totalité des pertes enregistrées concerne des oiseaux locaux. La dispersion et la mobilité des colonies sur la côte nord de la Bretagne est telle qu'il faudra attendre, pour se faire une idée, la totalité des recensements.

Pour ce qui est des Alcidae, les colonies indigènes sont très réduites, parce que marginales et en nette et constante diminution depuis les années 1950. L'ampleur des effectifs concernés dans les bilans de mortalité laisse présager de fortes pertes. Notons cependant que plus de vingt bagues britanniques ont été récupérées, ce qui permet de penser que le pourcentage d'oiseaux provenant de ce secteur n'est sans doute pas négligeable. Signalons aussi que sur un échantillon de Guillemots démazoutés, la biométrie et l'examen du plumage ont permis de déceler la présence de 10 % environ d'oiseaux de la sous-espèce nordique qui ne se reproduit pas au sud de l'Ecosse et 30 % d'oiseaux de la forme intermédiaire entre la précédente et la forme méridionale nicheuse de nos côtes (HOPE-JONES in litt.)

Mais là encore, seuls les comptages aux colonies permettront d'évaluer les dégâts réels.

CONCLUSION

15 à 20 000 oiseaux de mer sont d'ores et déjà morts dans la marée noire de l'AMOCO CADIZ. Si l'on rapporte cette estimation au tonnage de pétrole déversé en mer, on obtient une mortalité voisine de 0.1 oiseau par tonne, ce qui semble être à ce jour le plus faible taux jamais enregistré dans la littérature.

A titre de comparaison, les 117 000 tonnes du Torrey-Canyon avaient provoqué la mort de 30 000 oiseaux (0.26/t) et les 6 à 700 tonnes de l'Hamilton-Trader avaient tué 6 000 oiseaux marins (9.2/t) (HOLMES & CONSHAW, 1977).

Nous pouvons avancer au moins un élément d'explication. C'est que les nappes de pétrole semblent avoir suscité une réaction d'évitement inhabituelle.

Militent en faveur de cette hypothèse :

- La sur-représentation des espèces temporairement inaptes au vol.
- La constatation faite par plusieurs observateurs d'une absence anormale d'oiseaux marins et maritimes, tant stationnés qu'en migration dans toute la zone concernée.
- La disparition plusieurs fois constatée des espèces terrestres dans les jardins de bord de mer des zones les plus touchées.

En tous cas, les espèces les plus touchées ont été une fois de plus les représentants de la famille des Alcidae : ce fait n'a rien de surprenant, d'une part si l'on sait que la Manche constitue une grande zone de concentration de ces oiseaux (immatures et adultes) à cette période de l'année, d'autre part, compte tenu des habitudes en mer de ces oiseaux.

Les Alcidae sont des oiseaux dont la stratégie de reproduction repose sur un faible taux de remplacement compensé par une longévité exceptionnelle. La pollution permanente de la mer par les hydrocarbures et autres agents polluants est une cause supplémentaire de mortalité des adultes qui, depuis quelques décennies, a contribué à provoquer un déclin quasi-général des colonies de l'Atlantique Nord. La répétition des pollutions massives et accidentelles dans notre région ne peut que précipiter le déclin et la disparition de nos colonies marginales.

OISEAUX ARRIVES AUX DIVERS CENTRES DE COLLECTE DANS
LE SECTEUR TOUCHE PAR LE PETROLE DE L'AMOCO-CADIZ.

	LEON	MORLAIX	COTES-DU-NORD	TOTAL	%
<i>Fratercula arctica</i>	631	9	121	761	27.7
<i>Alca torda</i>	397	12	241	650	23.6
<i>Uria aalge</i>	362	22	99	483	17.5
ALCIDAE	1 396	43	463	1 902	69.1
<i>Phalacrocodax aristotelis</i>	299	49	106	454	16.5
PHALACROCORACIDAE	312	51	108	471	17.1
<i>Gavia arctica</i>	37	5	11	53	1.9
<i>Gavia immer</i>	30	13	9	52	1.9
GAVIIDAE	73	21	22	116	4.2
<i>Sula bassana</i>	39	-	8	47	1.7
<i>Larus argentatus</i>	32	1	17	50	1.8
<i>Larus ridibundus</i>	30	1	2	33	1.2
<i>Larus fuscus</i>	11	-	2	13	0.5
<i>Larus marinus</i>	9	1	1	11	0.4
LARIDAE	102	3	25	130	4.7
<i>Melanitta nigra</i>	1	1	17	19	0.7
ANATIDAE	1	2	22	25	0.9
LIMICOLES	15	-	1	16	0.6
PODICIPIDIDAE	4	2	9	15	0.5
PROCELLARIFORMES	6	-	3	9	0.3
STERCORARIIDAE	2	-	1	3	0.1
OISEAUX TERRESTRES	12	-	-	12	0.4
OISEAUX SP.	5	-	1	6	0.2
TOTAL	1 967	122	663	2 752	99.8

Références Bibliographiques

- BIRKHEAD, T.R., C. LLOYD & P. CORKHILL, 1973. Oiled seabirds successfully cleaning their plumage. *Brit. Birds*, 66 : 353.
- COULSON, J.C., G.R. POTTS, I.R. DEANS & S.M. FRASER, 1968. Exceptional mortality of shags and other seabirds caused by paralytic shell fish poisoning. *Brit. Birds*, 61 : 381-404.
- HARTUNG, R., 1965. Some effects of oiling on reproduction of Ducks. *J. Wildl. Manage.*, 29 : 872-874.
- HOLMES, W.N. & J. CRONSHAW, 1977. Biological effects of petroleum on marine birds. In Malins, D.C. 1977. *Effects of petroleum on arctic and subarctic environments*. Vol. 2. Acad. Press London, 500 p.
- HOPE-JONES, P., G. HOWELLS, E.I.S. REES & J. WILSON, 1970. Effect of "Hamilton Trader" oil on birds in the Irish Sea in may 1969. *Brit. Birds*, 63 : 97-110.
- KOPISCHKE, E.D., 1972. The effect of 2,4 D and diesel fuel on egg hatchability. *J. Wildl. Manag.*, 36 : 1353-56.
- MEAD, C., 1978. AMOCO-CADIZ oil disaster. The ringing recoveries. *BTO News* (93) : 1-2.
- RITTINGHAUSS, H., 1956. Etwas über die "indiretete" verbreitung der Ölpest in einem Seevogelschutzgebiet. *Ornithol. Mitt.*, 8 : 43-46.

AMOCO-CADIZ : INFORMATIONS SUR LA CONTAMINATION
DES ESPECES EXPLOITEES

par

P. MICHEL +, A. ABARNOU +

+ Institut scientifique et technique des Pêches maritimes, BP 1049, 44037 NANTES
CEDEX

R E S U M E

Trois mois après l'échouage du pétrolier AMOCO CADIZ, cette étude fait le point des résultats analytiques obtenus pour le contrôle des espèces exploitées.

Les matériaux étudiés sont les algues, 2 crustacés (araignées et crabes), 20 poissons et 2 mollusques (huîtres et moules).

Les algues sont très contaminées mais en partie utilisables industriellement. Les mollusques sont actuellement inconsommables dans toute la zone atteinte. Les poissons et crustacés sont moins pollués.

A B S T R A C T

This report is a statement of the analytical results obtained in the control of the exploited species three months after the AMOCO CADIZ ran aground on the coast of Brittany.

Different samples have been studied, among these : algae, crustaceans (Maia squinado and Cancer pagurus), twenty species of fish, and molluscs (Ostrea edulis, Crassostrea gigas, Mytilus edulis)

Algae have been heavily contaminated but are partially available for alginate industry.

Molluscs are not presently edible within the whole polluted area. Fishes and crustaceans are less polluted.

M O T S - C L E S : pollution marine, analyse, hydrocarbures.

K E Y W O R D S : marine pollution, analysis, hydrocarbons.

INTRODUCTION

A la suite de l'échouement du pétrolier AMOCO CADIZ, le 16 mars 1976, sur les roches d'Argenton à proximité de Portsall, 223 000 tonnes de pétrole brut (Iranian Light et Arabian Light) ont été rejetées à la mer en quelques semaines. Tout le littoral situé entre le Conquet et le sillon de Talbert a été atteint par le pétrole de façon plus ou moins importante.

Cette pollution massive a eu des conséquences extrêmement lourdes pour la flore et la faune marines dans toute cette région. De très nombreuses observations ont été conduites pour évaluer les pertes subies par certaines espèces ou certains écosystèmes. En ce qui concerne les espèces exploitées à des fins commerciales, il semble que les mortalités aient été relativement faibles si l'on considère l'ampleur du rejet. Par contre la contamination de certaines espèces les rendant impropres à la consommation, le préjudice subi par les pêcheurs, les goémoniers et les ostréiculteurs a été cependant considérable.

Il incombait donc à l'I.S.T.P.M. de contrôler cette contamination afin d'apporter des éléments objectifs à l'évaluation des dommages et de permettre la reprise de l'exploitation des ressources lorsque cela était possible.

A cet effet nous avons utilisé une technique analytique simple qui permet de mesurer les hydrocarbures totaux par chromatographie en phase gazeuse. Nous avons déjà utilisé cette technique avec succès lors d'un accident de faible importance en 1975/1976 pour suivre la cinétique d'épuration de moules en baie de Saint-Brieuc (1) ainsi que pour établir une carte des contaminations dans les mollusques littoraux (2). Bien que les résultats obtenus par cette méthode ne soient pas susceptibles d'une interprétation fine, ils constituent l'approche indispensable pour situer rapidement l'importance du problème. Ils seront complétés par des analyses plus détaillées qui permettront de suivre l'évolution de la contamination au cours du temps.

Nous allons essayer ici de faire le point des résultats acquis pour les algues, les crustacés, les poissons et les coquillages.

1. LES ALGUES

Les algues récoltées sur le littoral nord de la Bretagne ont trois utilisations possibles :

1.1. Fabrication d'alginate

La production française d'alginate atteint 1 200 t soit 9 % du marché mondial. Ces produits sont issus essentiellement de Laminaria digitata, mais aussi d'Ascophyllum nodosum et de Fucus serratus. Ces deux dernières espèces littorales ont été particulièrement contaminées et à un degré moindre Laminaria qui vit en eau plus profonde. Cette contamination ne semble pas avoir provoqué de mortalité sensible, elle serait cause tout au plus d'un léger retard de croissance.

Des essais de fabrication d'acide alginique à partir des matières premières contaminées, tant au laboratoire qu'en usine, ont permis de vérifier que la technique d'extraction permettait en même temps d'éliminer le pétrole. Le produit final analysé contenait seulement 55 ppm en moyenne d'hydrocarbures totaux, soit une valeur proche

des teneurs naturelles. Dans ces conditions, il a été possible d'envisager la poursuite de la récolte et de la fabrication avec quelques difficultés certes, mais sans hypothéquer l'avenir par des fermetures d'usines.

1.2. Fabrication des carraghénanes

Les algues rouges Chondrus crispus et Gigartina stellata sont cueillies dans la partie inférieure de l'estran pendant les marées de vive eau. Elles sont utilisées pour la fabrication de carraghénanes dont la France est 3ème producteur mondial avec 2 000 t/an. Pour les raisons indiquées à propos des alginates, la saison 1978 n'est pas compromise.

1.3. Fabrication de farines

Outre les produits nobles dont nous venons de parler, certaines espèces (Fucus vesiculosus et Ascophyllum) sont utilisées en farine pour incorporation aux aliments du bétail. Il n'est pas possible d'envisager leur utilisation en 1978 car ces algues littorales sont très fortement polluées et les hydrocarbures ne sont pas éliminés en fabrication.

2. LES CRUSTACES

Si aucune mortalité n'a pu être constatée sur les crustacés d'importance commerciale (homards, langoustes, araignées, crabes), les pêches expérimentales pratiquées en avril ont montré que plusieurs araignées (Maia squinado) et crabes (Cancer pagurus) présentaient un net goût d'hydrocarbures dans toute la zone située entre l'épave de l'AMOCO CADIZ et l'île de Batz.

Quelques résultats d'analyse sont présentés dans le tableau I. Ils confirment que les hydrocarbures s'accumulent préférentiellement dans le foie. Les araignées sont moins contaminées. Cela est probablement dû au fait qu'elles n'avaient pas encore entamé leur migration saisonnière vers le littoral pour la reproduction au moment de la catastrophe. Les crabes atteignent par contre un niveau de contamination plus élevé.

Date	Espèce	Lieu de pêche	Hydro/foie	Hydro/muscle
27/4	Araignée	Mogueriec	113	41
27/4	Araignée	Mogueriec	103	67
27/4	Araignée	Terrenez le Diben	209	63
27/4	Araignée	Kerlouan	102	43
27/4	Crabe	Kerlouan	156	65
27/4	Crabe	Kerlouan	194	45
27/4	Crabe	Kerlouan	158	
27/4	Crabe	Kerlouan	296	75
27/4	Crabe	Kerlouan	546	58

Tableau I : Hydrocarbures totaux dans les crustacés (mg/kg chair humide).

Ajoutons enfin que contrairement à ce que nous avons observé pour les poissons, la contamination a seulement été notée dans la zone très littorale et dans un secteur bien déterminé. C'est ce qui a permis aux pêcheurs de reprendre rapidement la mer pour travailler dans des zones plus éloignées et exemptes de toute contamination.

3. LES POISSONS

Parmi les premières constatations dans les jours qui ont suivi l'échouement de l'AMOCO CADIZ, il a été noté sur le littoral que quelques centaines, voire quelques milliers de poissons ont été trouvés morts à la côte. Bien que le rejet de pétrole se soit poursuivi pendant plus de deux semaines, de telles observations ne se sont pas renouvelées.

L'explication de ce phénomène est liée à la mobilité même des poissons. Certains d'entre eux se sont trouvés pris au piège au fond des criques par des arrivées massives de pétrole ; mais la plupart ont fui cette zone aussi longtemps que la mer a été fortement polluée.

Par la suite, ces espèces ont à nouveau occupé la zone, y compris au voisinage de l'épave de l'AMOCO CADIZ où un bon nombre d'échantillons prélevés en avril sont apparus indemnes de toute contamination.

L'effort analytique a porté sur la zone où le risque de contamination était maximum c'est-à-dire entre Porspoder et la baie de Lannion. Les résultats portant sur 90 échantillons sont rassemblés dans le tableau II.

Date	Espèce	Lieu de pêche	Examen organoleptique	ppm hydrocar.
2/4	Lieu jaune	Roscoff	normal	
2/4	Lieu jaune	Roscoff	normal	
2/4	Lieu jaune	Roscoff	douteux	
12/4	Raie	Morlaix "Paradis"	contaminé	
"	"	" "	très contaminé	
"	"	" "	normal	
"	"	" "	normal	
"	Carrelet	" "	normal	
"	Roussette	" "	normal	
"	Lotte	Baie de Siek	normal	
"	Raie	Rater	peu contaminé	
"	Grondin	" "	" "	
"	Lotte	Sud Bank ar Forest	normal	
"	Sole	" " "	normal	
"	Barbue	" " "	normal	
"	Carrelet	" " "	normal	
"	Grondin	" " "	normal	
"	Tacaud	" " "	normal	
"	Vieille	1' W Amoco	normal	42
"	"	" "	normal	41
"	"	" "	normal	37
"	"	" "	peu contaminé	51
"	Lieu jaune	2' E Amoco	normal	48
"	"	" "	normal	33
"	"	" "	normal	47
"	Maquereau	Douarnenez	normal	66

:	:	:	:	:	:	:
:	12/4	Maquereau	Douarnenez	normal	50	:
:	"	"	"	normal	49	:
:	"	"	"	normal	67	:
:	13/4	Grondin	Bank ar Forest	normal	24	:
:	"	"	"	normal	43	:
:	"	Lieu jaune	"	douteux	55	:
:	"	Roussette	"	normal	39	:
:	"	"	"	normal	40	:
:	"	Raie	"	normal	48	:
:	"	Lieu noir	8' W Portsall	normal	37	:
:	"	"	"	normal	76	:
:	"	"	"	normal	51	:
:	"	Maquereau	"	normal	63	:
:	"	"	"	normal	51	:
:	"	Lieu jaune	3' W Portsall	normal	24	:
:	"	"	"	normal	40	:
:	"	"	"	normal	43	:
:	"	Chien	25-30' N Primel	douteux	57	:
:	"	Roussette	"	normal	40	:
:	"	Julienne	"	normal	41	:
:	"	Congre	"	normal	45	:
:	"	Raie	"	normal	85	:
:	"	Lieu jaune	Primel Basse Brienne	normal	44	:
:	"	"	"	normal	54	:
:	"	"	2,5' NW Portsall	normal	38	:
:	"	"	"	normal	44	:
:	"	"	"	normal	67	:
:	"	Daurade	Bank ar Forest	normal	57	:
:	"	Chinchard	"	peu contaminé	30	:
:	"	Grondin	"	normal	34	:
:	20/4	Tacaud	Baie de Lannion	normal	38	:
:	"	"	"	normal	47	:
:	"	"	"	normal	36	:
:	"	"	"	peu contaminé	59	:
:	"	Grondin	"	très contaminé	25	:
:	"	Lieu jaune	"	normal	:	:
:	"	Seiche	"	normal	45	:
:	"	Tacaud	"	normal	34	:
:	"	Merlan	"	normal	64	:
:	28/4	Maquereau	4 km Amoco	normal	36	:
:	"	"	"	normal	23	:
:	"	"	"	normal	37	:
:	29/4	Lieu jaune	4 km E Amoco	normal	44	:
:	"	Aiguillette	"	normal	72	:
:	"	Lieu jaune	2 km E Amoco	normal	57	:
:	"	"	"	normal	43	:
:	"	Vieille	"	normal	47	:
:	"	"	"	normal	24	:
:	"	Tacaud	"	très contaminé	59	:
:	5/5	Lieu jaune	Plouguerneau	normal	32	:
:	"	"	"	normal	34	:
:	23/5	Maquereau	Baie de Douarnenez	normal	47	:
:	"	"	"	normal	38	:
:	"	"	"	normal	45	:
:	"	"	"	normal	52	:
:	:	:	:	:	:	:

Tableau II : Hydrocarbures totaux dans les poissons (mg/kg de chair humide).

Il s'est avéré que pour les poissons, une faible contamination ne modifiant pas de manière sensible le taux d'hydrocarbures totaux par rapport aux teneurs naturelles pouvait toutefois induire un goût parfois très prononcé au produit, le rendant ainsi inconsommable. Nous avons donc fait apparaître systématiquement les résultats de l'examen organoleptique en regard des valeurs en hydrocarbures totaux.

A l'examen de ce tableau il apparaît que parmi les 20 espèces échantillonnées, le grondin, le tacaud et la vieille risquent d'être contaminés, mais plus particulièrement la raie. Par contre le lieu jaune et le maquereau qui représentent plus du quart de l'échantillonnage ne semblent pas avoir été atteints.

4. LES COQUILLAGES

L'ostréiculture est une activité importante sur la côte nord du Finistère. Elle est regroupée en trois principaux centres : l'Aber Benoit, l'Aber Wrac'h et la baie de Morlaix.

Dans l'Aber Benoit, la mortalité a atteint près de 50 % des huîtres n'ayant pu être transférées. Cette mortalité a été beaucoup plus faible dans l'Aber Wrac'h où la pollution était moindre. Pour ces deux centres, on estime à 1 000 tonnes le stock restant, constitué d'huîtres plates : Ostrea edulis et d'huîtres creuses : Crassostrea gigas.

Pour la baie de Morlaix, le stock constitué uniquement d'huîtres creuses était de l'ordre de 6 000 tonnes.

Les analyses de ces huîtres ont été rassemblées dans le tableau III.

Date	Lieu de prélèvement	Hydrocarbures
5/4	Aber Benoit	310
24/4	Aber Benoit	298
8/5	Aber Benoit	275
5/4	Aber Wrac'h	293
24/4	Aber Wrac'h	143
7/5	Aber Wrac'h	131
8/4	Baie de Morlaix(Penzé)	174
8/4	Baie de Morlaix(Riv.M)	248
24/4	Baie de Morlaix(Penzé)	161
24/4	Baie de Morlaix(Riv.M)	262
8/5	Baie de Morlaix	146
22/5	Baie de Morlaix	144
23/5	Baie de Morlaix	138
26/4	Lézardrieux	47
20/4	Paimpol	70
23/3	Arguenon	77
10/4	Cancale	89
13/4	Rance	75

Tableau III : Hydrocarbures totaux dans les huîtres (mg/kg chair humide).

Elles font apparaître dans les Abers une contamination très élevée allant jusqu'à 310 ppm et ne décroissant que très lentement au cours du temps. En baie de Morlaix, la contamination est restée plus faible. On peut vérifier sur des échantillons prélevés plus à l'est, qu'à la même époque, les huîtres de Lézardrieux, Paimpol, Arguenon, Cancale et Rance avaient une teneur normale en hydrocarbures.

Parallèlement à ces contrôles, un essai de décontamination a été conduit en transférant des huîtres de l'Aber Benoit dans un centre ostréicole au sud de la Bretagne, en rivièrre de La Trinité. Nous avons alors constaté qu'en 20 jours (du 5 au 25 avril), la teneur en hydrocarbures totaux décroissait de 310 à 66 ppm. La différence de cinétique d'épuration par rapport aux coquillages maintenus en place doit être attribuée à la forte contamination résiduelle du substrat sur lequel ils vivent et de l'équilibre qui en résulte obligatoirement.

A côté de ces observations sur les huîtres, il faut ajouter enfin, des contrôles sur les moules : Mytilus edulis, dont l'importance commerciale est réduite pour cette zone, mais qui ont permis de compléter géographiquement le réseau de stations d'échantillonnage. Les résultats analytiques sont groupés dans le tableau IV.

Date	Lieu de prélèvement	Hydrocarbures
20/4	Mont Saint Michel	40
20/4	La Fresnaye	44
13/4	La Laronnière	43
21/4	Baie de Morieux	62
21/4	Baie de Morieux	93
19/4	Trébeurden	403
20/4	Saint Michel en Grève	1 717
25/4	Plestin les Grèves	495
9/5	Plestin les Grèves	528
23/5	Plestin les Grèves	402
26/4	Baie de Douarnenez	189
16/5	Baie de Douarnenez	138

Tableau IV : Hydrocarbures totaux dans les moules (mg/kg chair humide).

L'examen des données obtenues permet de constater que si la contamination n'a pas atteint la baie de Saint-Brieuc (Baie de Morieux), elle a atteint par contre la baie de Douarnenez. Par ailleurs, l'échantillon de Saint Michel en Grève avec 1 717 ppm d'hydrocarbures par rapport au poids de chair humide prouve une fois encore la capacité des moules à accumuler les polluants de façon massive et sans dommages apparents.

CONCLUSIONS

Les résultats que nous avons rapportés ici sont encore fragmentaires. Ils doivent cependant permettre de circonscrire déjà un problème dont l'étude complète doit se poursuivre au moins pendant deux ans avec des moyens analytiques qui permettront de tirer un maximum d'informations de cet accident.

Si l'on veut résumer les informations déjà acquises, il apparaît que les algues ont été très contaminées ainsi que les coquillages et localement les crustacés. Pour les poissons cette contamination a été faible et impossible à relier à un secteur géographique précis en raison de la mobilité des espèces.

La décontamination complète de cette zone littorale est lente car elle passe par plusieurs stades intermédiaires :

- 1 - Enlèvement mécanique du pétrole,
- 2 - Décontamination des sédiments et des substrats rocheux,
- 3 - Enfin, décontamination de la faune et de la flore littorales.

La première étape s'est achevée en mai. La seconde se poursuit actuellement avec quelques incertitudes concernant des points particuliers (réhabilitation de l'Aber Benoit, sédimentation du pétrole en baie de Lannion).

Il est indispensable de poursuivre longtemps encore des observations sur la contamination de la faune avant d'arriver à des conclusions satisfaisantes.

BIBLIOGRAPHIE

- MICHEL P. - 1976 - Cinétique d'épuration in-situ de moules contaminées par un gas-oil. Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches Marit., n° 259 : 1-7.
- ALZIEU Cl., MICHEL P. et THIBAUD Y. - 1976 - Présence de micropolluants dans les mollusques littoraux. Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches Marit., n° 264, p. 1-18.
- PEREZ R., GRISEL H. et LEGLISE M. - 1978 - Rapports Inst. Pêches Marit., non publiés.

OBSERVATIONS PRELIMINAIRES RECUEILLIES DANS L'EXECUTION
DES PROGRAMMES ENTREPRIS PAR LA STATION BIOLOGIQUE DE ROSCOFF

par

J. BERGERARD

Directeur de la Station Biologique
29211 Roscoff

R E S U M E

On s'est efforcé de rassembler ici les premières observations recueillies, sur la base des connaissances préalables, et d'études en cours au moment de l'accident, en particulier d'études de dynamique de populations, surtout benthiques, par les chercheurs de la Station.

Ces résultats encore très fragmentaires, permettent cependant de définir les programmes qu'il est utile de poursuivre, essentiellement sur les peuplements des sédiments fins des Baies de Morlaix et de Lannion.

A B S T R A C T

We have tried to expose here the first observations on the basis of previous knowledge and studies in progress when the wreck arrived, in particular of benthic Populations Dynamics by the workers of the Biological Station.

These results, still very fragmentary, allow never the less to definite the programs required for the second phase, essentially on the populations of fine deposits of the Morlaix and Lannion bays.

M O T S - C L E S : Pollution, Hydrocarbures, Amoco Cadiz, Sédiments, Phytoplancton, Macrobenthos, Meiobenthos, Microbenthos, Baie de Morlaix, Baie de Lannion.

K E Y W O R D S : Pollution, Hydrocarbons, Amoco Cadiz, Sediments, Phytoplankton, Macrobenthos, Meiobenthos, Microbenthos, Morlaix Bay, Lannion Bay.

INTRODUCTION

La Station Biologique de Roscoff, de par son ancienneté (elle a été fondée en 1872) et sa position géographique, se trouve obligatoirement impliquée au premier chef dans l'étude des conséquences écologiques de la pollution pétrolière due à l'échouement de l'"Amoco Cadiz".

Depuis plus d'un siècle, des chercheurs étudient patiemment la faune de cette région, aussi bien du point de vue taxonomie qu'écologie, ou même physiologie, dans la zone de balancement des marées comme pour les peuplements profonds qui ont fait l'objet d'une cartographie précise au large de Roscoff, poursuivie depuis dans une oeuvre collective encore en cours d'élaboration pour la Manche entière en collaboration avec les Laboratoires de Dinard et Wimereux. C'est assez dire que l'état initial de la faune et de la flore est aussi bien connu qu'on le peut souhaiter dans une étude d'impact après accident, où c'est généralement le point de départ des peuplements qu'il est le plus difficile de fixer.

D'autre part, malheureusement l'ensemble de notre zone habituelle de prospection (entre Portsall, lieu de l'échouement et les Sept Iles comme le précisent nos inventaires récents) est entièrement comprise dans la zone polluée (de la pointe St Mathieu à l'île de Bréhat).

Les constatations dont nous pouvons faire état actuellement, 2 mois et demi après l'accident, sont encore très préliminaires, comme il faut s'y attendre en matière d'étude d'impact; elles relèvent de deux types d'études qui sont poursuivies parallèlement.

Les premières, de type qualitatif, visent à fournir un tableau d'ensemble des mortalités et des modifications subies par la faune aussi bien dans la zone des marées que dans le sublittoral. Les deuxièmes concernent des études quantitatives de dynamique de populations ou de physiologie qui étaient en cours au moment de l'accident et sont naturellement poursuivies en tant que mesure d'impact.

I. ETUDES QUALITATIVES

1.1. Etudes qualitatives dans la zone intertidale

L'ensemble des données recueillies au cours des trois derniers mois est assez difficile à synthétiser. A côté de mortalités spectaculaires illustrées par les millions de tests d'Echinocardium ou de coquilles de Couteaux (*Pharus legumen*) que l'on a pu observer par exemple sur la grève de St Eflam et de St Michel, beaucoup d'autres animaux ont au contraire manifesté une résistance remarquable.

Même les animaux de haut niveau (Patelles, Littorines, etc...) souvent englués dans le pétrole pendant de longs jours, à la suite de l'arrivée des nappes dans les zones rocheuses, s'ils ont marqué une certaine mortalité, sont loin d'avoir disparu et leurs populations paraissent peu réduites au premier abord.

Pour les sédiments, si beaucoup de Lamellibranches ont été amenés à sortir du sable (Coques, Praires, etc...) et montré une certaine mortalité dans les premiers jours, celle-ci ne semble pas avoir été totale, même dans les zones très polluées où le pétrole a d'ailleurs souvent été remis en circulation par les tempêtes et les vagues assez rapidement. De même, sauf quelques cas particuliers, par exemple *Lanice conchilega*, les Annélides fouisseuses se sont montrées relati-

vement peu affectées, et montrent encore après 3 mois des populations très abondantes (beaucoup d'animaux sont encore vivants dans les rochers d'Hermelles de St Michel en Grève).

Il n'en est cependant pas de même de certains groupes de Crustacés, par exemple les Amphipodes ou même les Porcellanes qui ont subi des mortalités considérables.

Le tableau que l'on peut tracer actuellement est donc très nuancé. Sans doute ne peut-il tenir compte que des mortalités intervenues et il est loisible de se demander si un impact ne se fera pas sentir au niveau de la reproduction, action dont les résultats ne deviendraient apparents que dans plusieurs mois.

C'est en particulier le cas pour les Algues des hauts niveaux (Fucales par exemple) pour lesquelles le phénomène semble pour le moment être demeuré purement physique (enrobage par le pétrole pouvant entraver les échanges gazeux).

1.2. Etude qualitative dans la zone sublittorale

Le fait saillant est ici la pénétration en profondeur d'une quantité considérable de pétrole, adsorbé sur des particules fines, imprégnant ainsi les sédiments et circulant aussi sur le fond au gré de l'hydrodynamisme.

Ce phénomène, que nous avons pu mettre en évidence en Baie de Morlaix dès le 3 avril (J.C. DAUVIN) a été rencontré également sur un plus large front entre le 7 et le 10 avril par les chercheurs du C.O.B. lors de la campagne "Polumar II" du N.O. "Suroit". Nous continuons à l'observer, notamment par télévision sous marine et par plongée; il est manifestement responsable de la pollution généralisée des baies de Morlaix et de Lannion qui ont ainsi joué le rôle de pièges. Des carottes prises en plongée à diverses reprises dans tout l'axe de la rivière de Morlaix, montrent ainsi la présence de pétrole, visible à l'oeil, jusqu'à des profondeurs de 50 à 60 cm.

Il est très probable que cette pollution qui ne peut disparaître que par dégradation lente du pétrole, résultant d'une oxydation dans les couches superficielles du sédiment évoluera très lentement, surtout dans les sédiments fins.

Une prospection plus au large nous a montré qu'il s'agit d'un phénomène local affectant principalement les baies. C'est pourquoi nous entreprenons essentiellement, en liaison avec nos travaux précédents, sur le macrobenthos de cette région, des comparaisons systématiques avec les états antérieurs que nous souhaitons mettre en parallèle avec une étude de l'évolution de la pollution du sédiment (L. CABIOCH, F. GENTIL).

2. ETUDES QUANTITATIVES

Il nous paraît ici difficile de séparer les études faites dans les différentes zones, et au contraire plus logique de regrouper les données encore fragmentaires dont nous pouvons faire état, sur les différents groupes animaux ou végétaux.

2.1. Bactéries

Ce travail est poursuivi par S. CHAMROUX sur un sédiment vaseux, de l'embouchure du Dourduff, dans la Rivière de Morlaix.

Les seuls résultats dont nous disposons actuellement sont des numé-

tions quantitatives globales, qui montrent une baisse très spectaculaire du nombre des bactéries au cours du 2ème mois suivant la pollution.

	Profondeur 0 - 4 cm	Profondeur 4 - 12 cm
21.3.78 (avant pollution)	6,48 . 10 ⁶	0,304 . 10 ⁶
12.4.78	10,94 . 10 ⁶	0,429 . 10 ⁶
17.5.78	0,594 . 10 ⁶	0,099 . 10 ⁶

Tableau 1 - Nombre total de bactéries par gramme de sédiment (poids sec)

Cette baisse suit une légère augmentation intervenue peu de temps après l'arrivée de la pollution. L'étude doit naturellement être poursuivie et elle sera complétée par une caractérisation qualitative des bactéries.

Notons que ces résultats sont apparemment contradictoires avec ceux obtenus par G. DEROUX qui, poursuivant son étude du microbiotecton dans le chenal de l'Ile Verte, devant le Laboratoire, note une forte pullulation des films bactériens fixés sur lames et une pullulation correspondante des Ciliés qui se nourrissent essentiellement de ces bactéries. Ces résultats ne sont cependant pas contradictoires mais attirent notre attention sur des différences possibles entre surface du sédiment et sédiment lui-même.

2.2. Phytoplancton

Ce travail est poursuivi par J.R. GRALL et C. RIAUX. Il a été jusqu'ici effectué au large au cours de deux missions effectuées l'une en avril sur le "Suroit" (Centre Océanologique de Bretagne), l'autre en mai par le "Pluteus II" (Station Biologique de Roscoff). Ces missions étaient mixtes et réunissaient des chercheurs des deux organismes.

Elles ont été doublées de mesures de production primaire effectuées principalement à l'entrée de la baie de Morlaix (Astan).

Elles comportent de plus un suivi hydrologique (phytoplancton et teneurs en sels nutritifs) effectué périodiquement sur la Rivière de Morlaix en différentes stations échelonnées du Dourduff au Château du Taureau.

L'ensemble des observations peut se résumer très simplement en disant qu'aucune anomalie marquante n'a pu actuellement être mise en évidence. Le bloom printanier normal est en cours de déroulement, lié en particulier au minimum de salinité dans l'estuaire. Cette pullulation se fait grâce aux espèces habituelles : *Asterionella*, *Chaetoceros*, etc... et l'on ne constate pas encore l'apparition d'espèces estivales comme *Rhizosolenia*. On ne peut naturellement encore affirmer si des modifications n'apparaîtront pas par la suite, se traduisant par exemple par des pullulations anormales comme on en constate pour les algues vertes macroscopiques dont nous allons maintenant parler.

2.3. Phytobenthos

Des observations suivies ont été faites dans ce domaine par d'autres organismes, en particulier l'I.S.T.P.M., pour les espèces d'intérêt économique (Laminaires, Fucus, etc...).

Nous ne relaterons ici que des mesures de Photosynthèse et Respiration effectuées par G. LEVAVASSEUR, dans le cadre d'une thèse de 3ème Cycle. Elles ont été effectuées essentiellement sur des Ulves (Chlorophycées) et sur des *Palmaria (Rhodymenia) palmata* (Rhodophycées). Elles montrent (tableau II) que la pollution même relativement faible (film de mazout à la surface de l'algue) entache profondément ses fonctions physiologiques.

	Ulve saine	Ulve mazoutée
Photosynthèse apparente	1.89	0.49
Photosynthèse réelle (après déduction de la respiration)	2.08	0.72

Tableau II - Photosynthèse chez *Ulva*, en ml d'oxygène par gramme de poids frais d'algue.

2.4. Macrobenthos animal

2.4.1. - Spirorbes

Une étude de dynamique de population sur les Spirorbes (Annélides Polychètes) fixées dans la zone de mi-marées sur les Fucus, poursuivie par A. PICARD montre bien le cas d'une action très limitée dans le temps. Dans le cours d'un mois environ après la pollution, on a noté une mortalité d'environ 50%, un ralentissement de la croissance du tube et un arrêt de la reproduction (arrêt de la vitellogenèse et suspension de l'émission des larves).

Cependant, l'effet n'a guère duré que 15 jours environ sur la vitesse de croissance et la reproduction a repris normalement au bout d'un mois (20 avril).

2.4.2. Peuplement des sables fins de la Pierre Noire (Entrée de la Baie de Morlaix)

Si les populations de Mollusques et d'Annélides Polychètes ne semblent pas avoir subi d'altérations majeures (en fait des études plus fines en cours vont nous permettre d'affiner ce premier jugement), il n'en est pas de même des populations d'Amphipodes étudiées par J.C. DAUVIN dans le cadre de sa thèse de 3ème cycle, tant sur le plan de la diversité spécifique que sur celui de la densité des individus (Tableau III).

	Nombre d'espèces	Nombre d'individus (<i>Ampelisca</i>)
1er mars (avant pollution)	23	7000/m ²
3 avril	10	350/m ²
27 avril	7	15/m ²

Tableau III - Evolution des populations d'Amphipodes (Sables grossiers de la Pierre Noire)

N.B. Les espèces d'*Ampelisca* fournissant les chiffres de densité étaient au nombre de 5 au départ, dont une seule est actuellement représentée.

2.5. Meiobenthos

G. BOUCHER suit depuis de nombreuses années les peuplements de Nématodes de plusieurs stations et a pu nous fournir les chiffres globaux suivants; nous y ajouterons également les nombres de Copépodes Harpacticoïdes observés.

2.5.1. - Deux stations au Nord de l'Ile de Batz (Pors Kernoc) (zone intertidale)

Dans une zone où il existait encore au début juin un film de mazout sur la surface du sédiment, on constate une baisse de la méiofaune, sans cependant noter de chute aussi spectaculaire que celle des Amphipodes que nous venons de constater.

Date	sable vaseux		sable graveleux	
	Nématodes	Harpacticoïdes	Nématodes	Harpacticoïdes
18 mars Pollution	2801	84	4668	33
27 mars	2334	28	-	-
2 avril	2315	31	-	-
8 avril	1636	65	-	-
17 avril	1719	45	2842	0
3 mai	1621	143	-	-

Tableau IV - Méiofaune Pors Kernoc. Nord de l'Ile de Batz - Densités par 10 cm² (carottage manuel des 2 premiers centimètres de sédiment)

N.B. Les observations précédentes montraient un maximum d'abondance entre mai et juillet.

La deuxième station plus polluée a vu disparaître totalement les Copépodes.

2.5.2. - Station des sables fins de la Pierre Noire (infralittoral, - 19 m).

Malgré une pollution qui progresse manifestement entre le 17 avril et le 12 mai où l'on trouve de véritables boulettes de pétrole dans le sédiment, cette station que G. BOUCHER suit depuis 1972 ne montre que peu d'incidence quantitative sur les Nématodes. Ici, il existe peu de variations annuelles naturelles, bien que la répartition verticale varie beaucoup.

Le nombre est passé de 2005 à 1589 pour 10 cm², mais la répartition verticale des organismes se trouve profondément affectée (tableau V).

Elle correspond à un enfoncement hivernal alors que la totalité du peuplement devrait à cette époque se trouver dans le premier centimètre.

Les Copépodes ont disparu : 51/10 cm² le 17/4 et 3/10 cm² le 12/5.

D'autres prélèvements doivent naturellement confirmer ces tendances.

	17 avril		12 mai	
	Nombre	%	Nombre	%
0 - 1 cm	452	39.4	37	0.4
1 - 2	152	13.3	120	13.2
2 - 4	217	18.9	180	19.8
4 - 6	114	9.9	200	22.0
6 - 8	83	7.2	176	19.4
8 - 10	45	3.9	83	9.1
10 - 12	53	4.6	55	6.3
12 - 14	31	2.7	57	6.3
Nombre dans la carotte	1 147		909	
Nombre/cm ²	2 005		1 589	

Tableau V - Densité de Nématodes en fonction de la profondeur - Sable fin de la Pierre Noire

CONCLUSION

Il est très net que le tableau actuel est tout à fait provisoire, mais déjà se dégage un fait très important : pour de nombreuses espèces et de nombreuses zones, rochers et même plages sableuses, l'état des dégâts en termes de mortalité doit pouvoir être établi maintenant et l'on a nettement l'impression que l'étude principale doit porter maintenant sur la reconstitution des peuplements - qui peut d'ailleurs être relativement longue - et dont on peut raisonnablement se demander si elle sera complète.

Mais le point principal qui se dégage à l'heure actuelle est le rôle de piège à mazout qu'ont joué manifestement les sédiments fins des baies; c'est là que doivent sans doute se porter en grande partie les efforts d'analyse dans tous les domaines, aussi bien sédimentologique que biologique.

Les conséquences risquent en effet d'être ici beaucoup plus durables et il est important que nous puissions recueillir le maximum d'information sur les variations induites au niveau de la macrofaune comme de la méiofaune et des peuplements bactériens.

IMMEDIATE IMPACT OF *AMOCO CADIZ* ENVIRONMENTAL OILING:
OIL BEHAVIOR AND BURIAL, AND BIOLOGICAL ASPECTS

by

J.H. VANDERMEULEN¹, D.E. BUCKLEY², E.M. LEVY³, B. LONG²,
P. McLAREN² and P.G. WELLS⁴

Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S., Canada B2Y 4A2

1. Marine Ecology Laboratory
2. Atlantic Geoscience Centre, Geological Survey of Canada
3. Atlantic Oceanographic Laboratory
4. Environmental Protection Service

RESUME

Les différents états d'altération du pétrole, depuis les huiles jusqu'aux mousses, ont des effets significatifs sur les interactions pétrole-eau et pétrole-sédiment lors de leur échouage. L'observation des plages polluées suggère que deux mécanismes interviennent lors de la contamination : la contamination et la pénétration de la couche superficielle par les huiles, et l'enterrement de couches distinctes par le purgeage des nappes de mousses. De grandes quantités de pétrole échoué peuvent se retrouver logées dans les sédiments de la plage selon le temps de contamination et la dynamique de la plage. Elles restent disponibles pour un relarguage ultérieur.

La toxicité létale aigue est intermédiaire à celle du pétrole brut Bunker C et du Koweït. Mais des études d'altération simulée suggèrent, cependant, que la toxicité aigue augmente directement avec l'altération.

Les mortalités dans la zone intertidale ont été très variables, quelques espèces ont subi une mortalité presque totale tandis que d'autres, notamment les annélides et les némertides, ont été apparemment très résistantes à la contamination. Les oiseaux et les poissons pollués avaient des concentrations d'hydrocarbures et des activités d'aryle hydrocarbure hydroxylase beaucoup plus élevées que ceux qui n'étaient pas pollués. Les conséquences de l'altération du pétrole sur la toxicité des nappes échouées et des nappes enterrées sont discutées ainsi que les mécanismes de défense possibles écologiques ou physiologiques.

ABSTRACT

Weathering states of oil ranging from sheen oil to mousse have significant effects during oil stranding on oil-water and oil-sediment interaction. Observations of oiled sandy beaches suggest two mechanisms of beach contamination - general penetration and contamination of beach substrate by sheen oil,

and burial of discrete layers resulting from entrapment of mousse slicks. Depending on timing of oiling with respect to beach dynamics, large amounts of stranded oil can be accommodated in beach sediments. These are then available for later release.

Acute lethal toxicity of stranded *Amoco Cadiz* oil is intermediate to Bunker C and of Kuwait crude. Simulated weathering studies suggest, however, that acute toxicity increases directly with weathering.

Mortalities in the intertidal zone were highly variable, some species experiencing near total mortality while others, notably burrowing annelids and nemerteans, appeared highly resistant to oiling. Hydrocarbon concentrations and aryl hydrocarbon hydroxylase activity of oiled birds and oiled fish were found to be markedly higher than those in non-oiled species. The implications of weathering on toxicity of stranded and buried oil, and possible ecological and physiological defense mechanisms are discussed.

INTRODUCTION

The *Amoco Cadiz* incident (March 16, 1978) presented a unique opportunity to examine under prevailing spill conditions certain immediate short-term aspects of oil impact - the behavior and toxicity of freshly-spilled crude oil in an inshore marine environment. Of particular interest were the behavior of freshly-spilled oil during mousse formation and oil-burial in porous sandy sediments and the potential re-release of such entrapped petroleum hydrocarbons. Although this aspect of oiling has been examined to some degree (e.g. Thomas, 1973, 1978; Owens and Drapeau, 1973; Owens and Rashid, 1976; Owens, 1977, 1978; *viz.* also Environmental Protection Service, 1977), most studies to date have dealt with the post-spill situation, while in others conclusions have been drawn from simulated laboratory investigations. Thus, while burial of oil in beaches following a spill has been documented (Anonymous, 1970; Vandermeulen and Gordon, 1976; Owens and Rashid, 1976), the significance of buried oil in terms of beach dynamics has not been fully appreciated.

Similarly, although many toxicity studies have been carried out, the toxicity of a freshly-spilled oil during initial natural weathering and the biological tolerances are not well understood.

In this manuscript we describe observations and preliminary conclusions resulting from studies carried out within four weeks of the initial grounding of the *Amoco Cadiz*, and while fresh slicks were still coming ashore along the north shore of Brittany.

MATERIALS AND METHODS

Samples (sediments, oil, biota) were collected in chemically clean glass jars (rinsed with double-distilled solvents) and stored at -10°C . For analysis at the Bedford Institute of Oceanography in Dartmouth, Canada, samples were transported in dry ice, and subsequently stored at -20°C until analyzed.

Oiled birds were obtained from a bird-cleaning clinic through the assistance of Monsieur J-Y Monat of the Université de Bretagne Occidentale at Brest, France. Severely oiled birds assessed to be beyond recovery were sacrificed and the freshly collected tissues were frozen and stored as outlined **above**.

Oil samples from the *Amoco Cadiz* were not available. Therefore, samples of freshly stranded oil were taken for reference.

Sediment Hydrocarbons

Following thawing, known amounts of sediment samples were extracted by the method of Farrington and Tripp (1975), with minor modifications as described in detail by Keizer *et al.* (1978).

Hydrocarbon concentrations were determined spectrofluorometrically (Vandermeulen *et al.*, 1977). Synchronous scans (Hargrave and Phillips, 1975) were also done periodically for further hydrocarbon identification.

Tissue Hydrocarbons

Extractions were carried out by the methods of Gordon *et al.* (1978), with only minor modifications. Hydrocarbon concentrations were determined spectrofluorometrically, and were expressed as micrograms of *Amoco Cadiz* oil equivalents per milligram protein nitrogen (Lowry *et al.*, 1951). Characterization of tissue aliphatic hydrocarbons was done on pentane extracts using an HP-7620 gas-liquid chromatograph (FID, 3% Dexil 300 on Chromosorb W HP, 6°C min⁻¹).

Oil Toxicity

Acute toxicity, expressed as 2-hour LC₅₀s, was estimated for the flagellate unicellular alga *Monochrysis lutheri* (Vandermeulen and Hemsworth, 1977) which were exposed to aqueous extracts of oil. Extracts were prepared by shaking 5 mL oil in 250 mL filtered sea water (0.45 µm, Millipore). The resulting mixture was allowed to separate in a glass separatory funnel for one hour, after which aliquots from the lower aqueous phase were added to a number of test tubes containing samples of the algal culture. Test concentrations of oil in water ranged from 0.01 ppm to 100 ppm.

Aryl Hydrocarbon Hydroxylase (AHH)

Enzyme activity was assayed by monitoring hydroxylation of benzopyrene to 3-OH-benzopyrene (Nebert and Gelboin, 1968). Results were expressed as picomoles of 3-OH-benzopyrene min⁻¹ mg protein nitrogen⁻¹, using purified 3-OH-benzopyrene as standard.

RESULTS

Oil Behavior

(a) Oil States

Oil impinging on the shoreline was present in at least three readily identifiable stages of weathering - sheen, early mousse, late mousse. Sheen oil, under the influence of various weathering conditions, will readily form into mousse by incorporation of water into oil. Late mousse differs from early mousse by having an increased water content together with increasing sand incorporation.

The meteorological and oceanographic conditions which prevailed at the time of the grounding, i.e. storm wave conditions with large amounts of suspended sediment during the beach constructional phase, greatly favored emulsification, with rapid changing from sheen oil to mousse formation. On the other hand, mousse resulting from the *Amoco Cadiz* oil appeared to be quite unstable, with ready reversal from mousse to sheen. Thus in several stranded oil pools, as in the Ile Grande salt marsh, a layer of relatively fluid black oil was found overlying the characteristic chocolate-brown mousse, suggesting 'breaking' of the water-in-oil emulsion.

Oil sheens covered large areas of water and were largely wind-driven. Sheens concentrated along the shoreline were deposited over the complete tidal

range during the ebb. Sheens were also occasionally visible as discontinuous patches on intertidal flats, particularly on flood-dominated areas, where sheen oil became available for penetration into porous sediments (e.g. at Grève St. Michel near Lilia).

Mousse, due to its increased viscosity with increasing water-in-oil concentration, penetrates poorly into porous sediments. Early mousse clings readily, and typically coated marsh grass (e.g. Aber Benoit, Ile Grande salt marsh) and beach sediments. Because of its clinging property it does not lift off readily during the following flood tide, and is therefore apt to become buried.

Late mousse, i.e. fully emulsified water-laden mousse, continually accumulated sand until the density of the resulting mixture exceeded that of water. Such mousse/sand mixtures tended to clump, and were moved and deposited preferentially into the more quiescent subtidal zones, such as near Portsall.

(b) Sediment Penetration

Examination of a number of sandy beaches showed oil incorporation into sediments of two types - more or less homogeneous contamination of sandy sediments versus burial of discrete oil layers within sediments.

The first, relatively homogeneous contamination of the sand column was observed on several sandy tidal flats near Lilia. Oil in sand concentrations averaged around 20.2 ppm in the upper oxidized layer and *circa* 5.8 ppm in the lower reduced sediments. Concentrations of petroleum hydrocarbons in the surface layer sediment were generally higher, averaging 32.4 ppm (Table 1).

Table 1. Petroleum hydrocarbon concentrations in beach sandy sediments oiled by *Amoco Cadiz* cargo oil. Means and standard deviations are presented.

Sample Depth	Sediment Hydrocarbons (ppm)*	Worm Cast Hydrocarbons (ppm)*
Surface	32.4 ± 20.7	-
Subsurface (5 cm) oxidized	20.2 ± 4.7	23.1 ± 4.8
Subsurface (15 cm) reduced	5.8 ± 5.9	0.7 (N=1)

* Hydrocarbon concentrations in un-oiled reference sediments averaged between 2.5 and 3.0 ppm.

Beach oiling by burial of discrete oil layers was observed in a number of beaches, most notably Treompan beach near Portsall (Fig. 1), Grève St. Michel near Lanion (Fig. 2), the mouth of the Aber Benoit near Portsall (Fig. 3), and the beach of the Centre Héliomarin near Roscoff (Fig. 4). Up to four and five distinct oil layers were observed at various depths below the sand surface, separated by apparently clean but contaminated sand layers. Oil concentrations

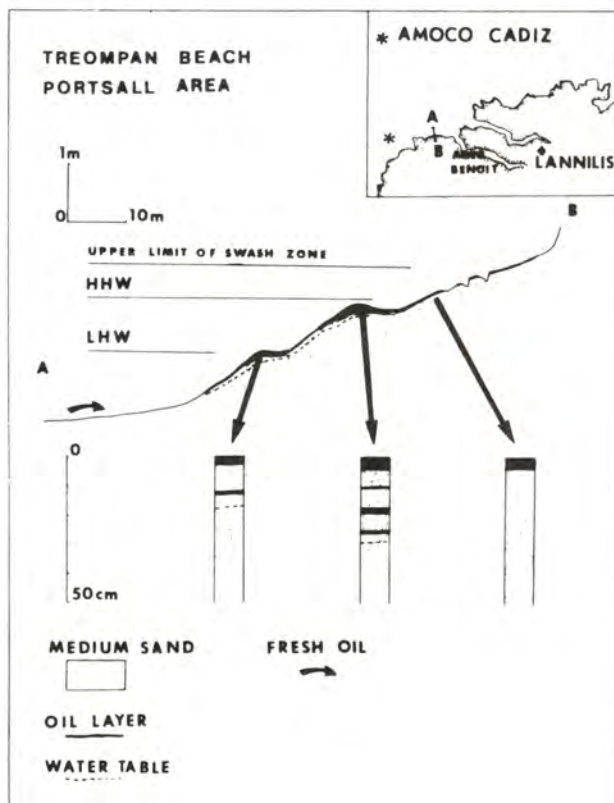


Figure 1. Beach profile of Treompan beach near Portsall, France, taken April 11, 1978.

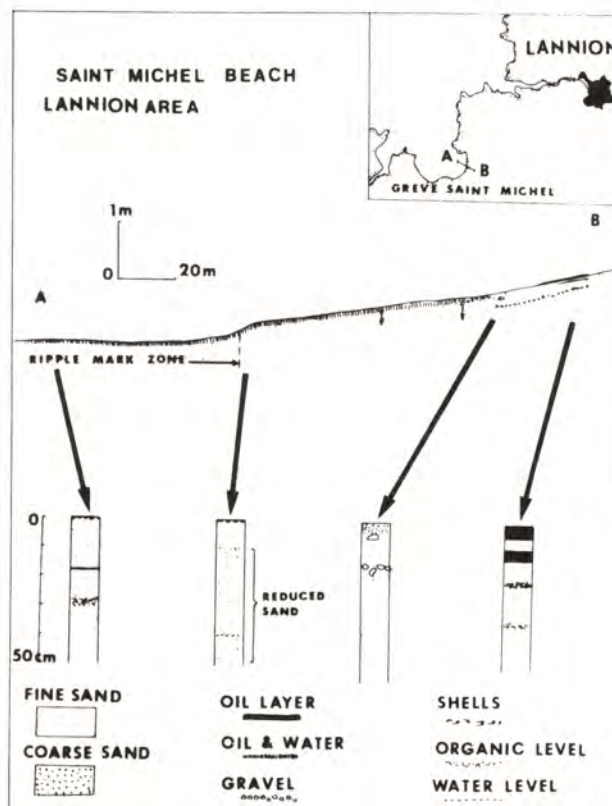


Figure 2. Profile of St. Michel beach near Lanion, France, taken April 11, 1978.

in the oily layers ranged from 72 to nearly 100 ppt in samples from the beach near the Centre Héliomarin. In contrast, the 'clean' sand layers, although oiled, were remarkably less oiled with hydrocarbon concentrations between 35 and 50 ppm (Fig. 4). Surface hydrocarbon concentrations in the upper one centimetre were slightly higher, averaging 185 ppm.

Oil Toxicity

(a) Two-hour LC_{50}

Two-hour toxicity tests using freshly collected *Amoco Cadiz* stranded oil indicated its acute lethal toxicity to *Monochrysis* sp. to be between that of Bunker C and Kuwait crude oil (Fig. 5). The two-hour LC_{50} for the *Amoco Cadiz* sample was 4.4 ppm versus 3.3 and 8.6 ppm for Bunker C and Kuwait crude, respectively. Under similar test conditions the two-hour LC_{50} for No. 2 fuel oil was 0.085 ppm, two orders of magnitude more toxic than the others.

The mortality curve for the *Amoco Cadiz* sample was similar to that for Kuwait crude with no detectable mortality over a two-hour assay at concentrations less than 1.0 to 2.0 ppm. Above 2.0 ppm mortality increased rapidly, with total mortality at above 10 ppm. The slope of the curve for the linear portion between 2 and 10 ppm was similar to that for Kuwait crude. That of Bunker C differed from these in being steeper.

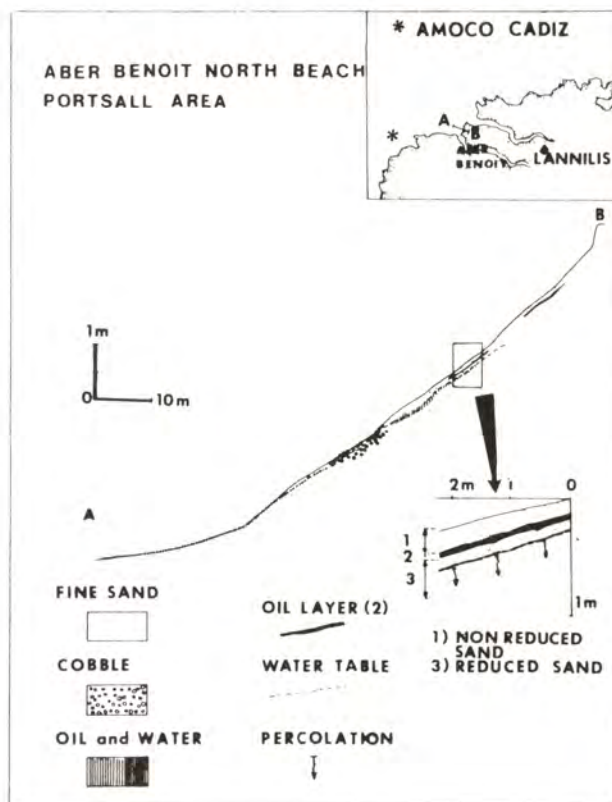


Figure 3. Profile of the beach at the mouth of the Aber Benoit, North Brittany, taken April 11, 1978.

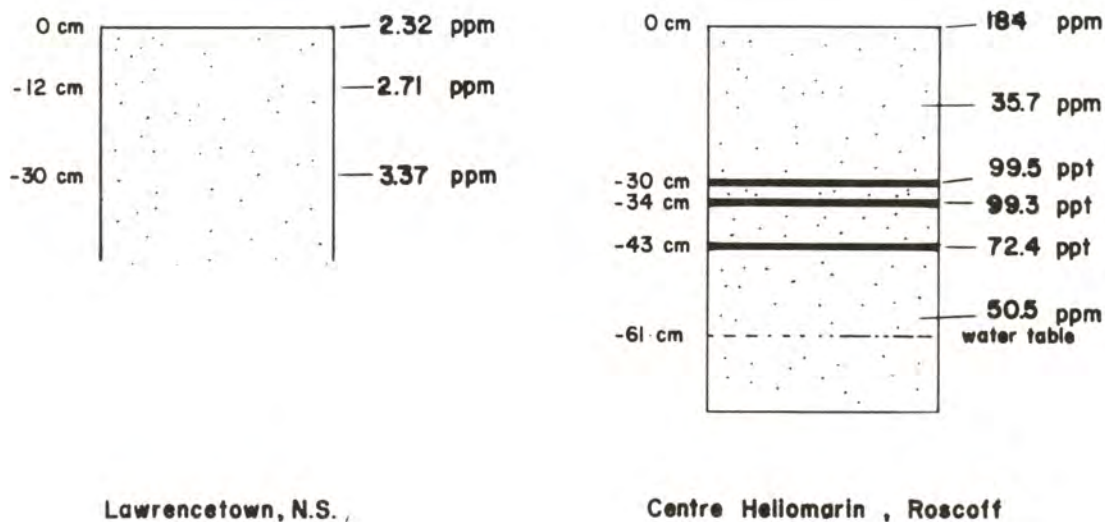


Figure 4. Section of trench in the beach of the Centre Héliomarin, Roscoff, showing oil in sand concentrations in parts per million (ppm) and parts per thousand (ppt). The adjoining section shows hydrocarbon concentrations found in un-oiled sediments from Nova Scotia, Canada. Concentrations were determined spectrofluorometrically.

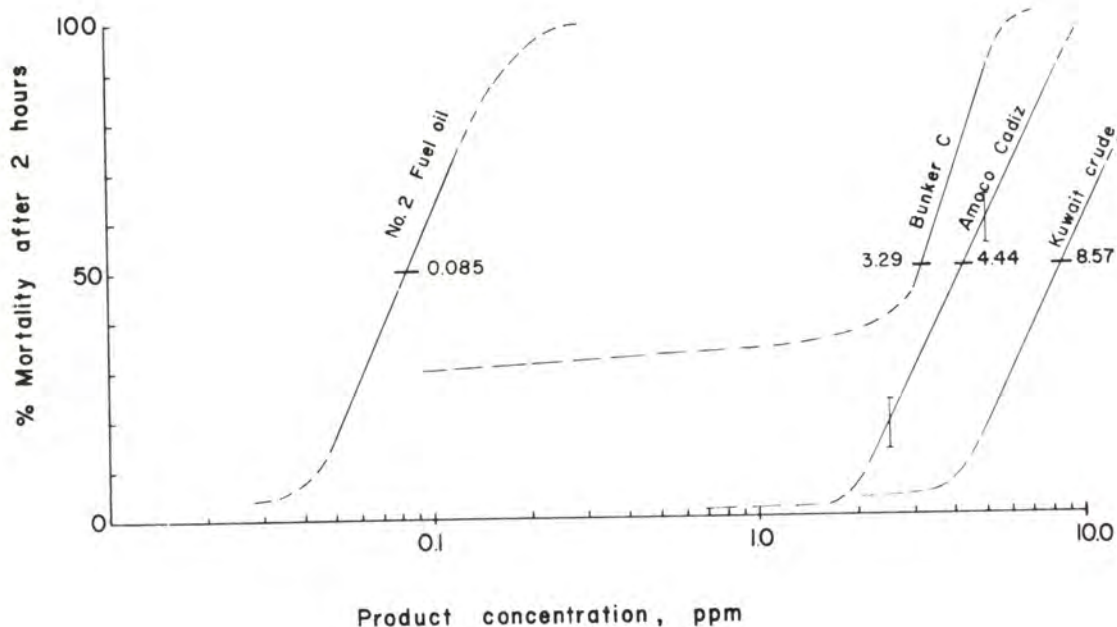


Figure 5. Toxicity curve for a number of crude oils and oil products using *Monochrysis lutheri* as test organism. LC₅₀ values are indicated by the small dash-mark for each curve.

(b) Weathering Effect

Preliminary results with laboratory-weathered oil (bypassing a stream of air over a sample for one week) suggest increased toxicity over time (Fig. 6). Also observed was a concomitant steepening of the linear portion of the mortality curve, similar to that seen with Bunker C.

(c) Biological Impact

All obviously oiled intertidal zones examined (sandy beaches, mud flats, rocky shores, salt marsh) showed heavy mortality of the intertidal macro-fauna communities although not all species were affected equally. High mortality was observed of the shore crab, *Carcinus maenas*, and the absence of several macroscopic organisms as amphipods and isopods in all oiled locations was noted. Heavy mortality of intertidal seaweeds, e.g. *Fucus* sp., was found in heavily oiled intertidal areas of Ti Saoson, an island offshore from Roscoff. In one location near the wreck of the *Amoco Cadiz* off Portsall lichens on rocks in the upper intertidal had been killed or severely damaged by sprayed oil.

Of the sandy beach in-fauna large numbers of normally sub-tidal cockles, *Cardium edule*, and Venus shells, *Venus* sp., were found in the intertidal on the surface of the sediments, either moribund or dead. In contrast, various burrowing species of polychaete annelids, including *Arenicola*, and nemertean were found alive and producing normal worm casts. Large numbers of the heart urchin, *Echinocardium cordatum*, and of the razor clam, *Ensis* sp., both dead and moribund, were found on the eastern end of the beach at St. Michel-en-Grève.

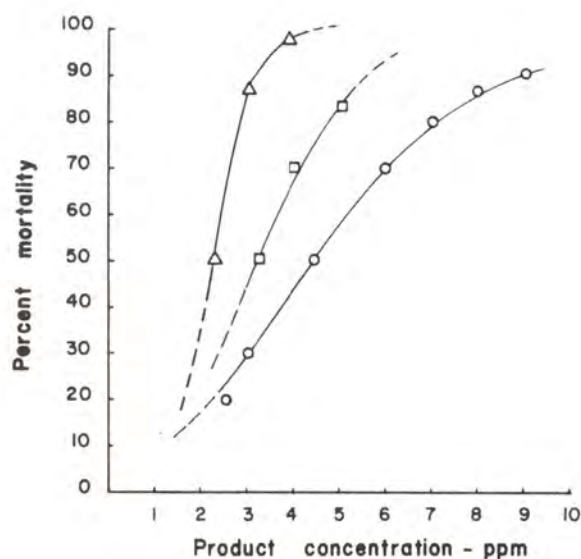


Figure 6. Effect of simulated weathering on toxicity of *Amoco Cadiz* oil. Open circle - freshly collected oil; open square - Bunker C fuel oil; open triangle - 'weathered' *Amoco Cadiz* oil.

On rocky shorelines sponges and sea anemones appeared largely unaffected by the oil, as were the common limpets *Patella* sp., despite quite heavy deposits of oil and mousse near the high tide line and obvious oiling of rocky tide pools. However, many species of marine gastropods, including the Littorinidae, were eliminated by all but very light exposures to oil.

Intertidally, all of the seaweeds were coated with oil, although the inner fronds seemed to escape heavy oiling.

Of the vertebrates examined schools of small mullet were seen swimming in the intertidal zone in a number of locations, including near the heavily oiled shoreline of the town of Lilia, and in marsh channels of the severely oiled salt marsh near Ile Grande. Dead fish were not found on any of the shorelines of north Brittany.

Aryl hydrocarbon hydroxylase (AHH) activity in mullet from the Ile Grande salt marsh was markedly higher than that normally associated with fish from non-oiled reference sites taken from Nova Scotia, Canada, waters (Fig. 7).

Analysis of oiled birds from north Brittany showed presence of petroleum hydrocarbons in all tissues from four bird species - liver, kidney, muscle, and brain. With the exception of loon liver all concentrations were greater than found in similar Nova Scotia bird species from non-oiled waters. In addition to the aromatic compounds detected by fluorescence, all tissues analyzed for aliphatics retained several aliphatic hydrocarbons (Fig. 8).

AHH levels in the oiled birds were generally higher than those found in non-oiled bird species (Fig. 7). Greatest AHH activity was found in the oiled

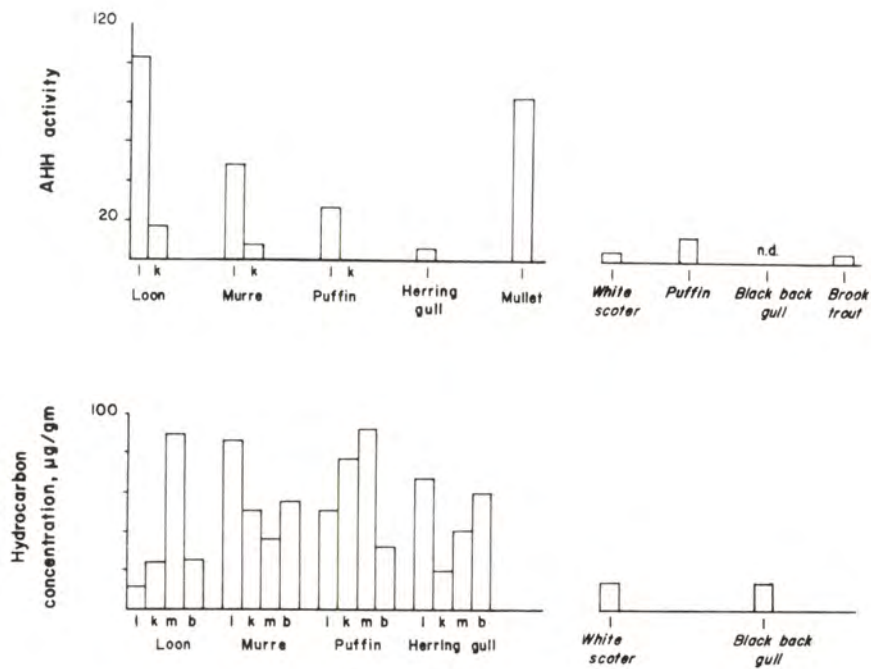


Figure 7. Aryl hydrocarbon hydroxylase activity and hydrocarbon concentrations in tissues from oiled (left) and non-oiled (italics right) birds and fish. l = liver, k = kidney, m = pectoral muscle, b = brain. Oiled birds and fish were collected in north Brittany four weeks after the *Amoco Cadiz* grounding. Non-oiled organisms were taken in Nova Scotia, Canada.

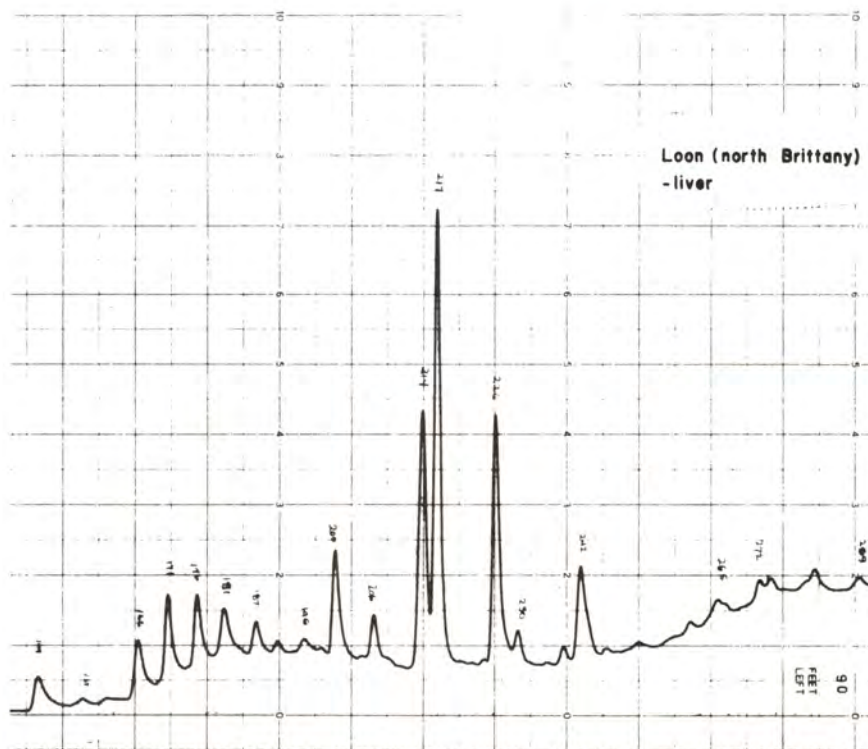


Figure 8. Gas liquid chromatograph spectrum of extract from oiled loon liver. Peaks at 214 and 217 retention times probably are of biogenic origin.

loon and murre, with lesser levels in the oiled puffin. That of the oiled herring gull was between that of control, i.e. non-oiled, puffin and control black-back gull.

DISCUSSION

Much of the immediate behavior of stranded oil results from its various weathering states, each state significant for subsequent oil-water and oil-sediment interaction.

Oil as sheen is readily available for dissolution into the water column, and because of its high mobility can readily penetrate the more porous sandy beach sediments. Because of its ready solubility sheen oil probably played a prominent role in the impact of the *Amoco Cadiz* spill on the subtidal and intertidal beach communities such as that off St. Michel-en-Grève, accounting for large mortalities of razor clams and heart urchins. Sheen oil was also probably largely responsible for the mortalities of *Venus* sp. and *Cardium* sp. near Lilia.

Sheen oil was also probably the main factor in the observed general contamination in the ppm range of sandy beach sediments, due to stranding of thin sheens on the tidal flats with the receding tide. The relatively high mobility of sheen oil together with tidal pumping of oiled interstitial water ensured thorough penetration throughout the beach structure. In this respect it is interesting to note that the reduced lower layers of the beach normally not accessible to oxygenation also appear to be less accessible to oiling via this pumping mechanism.

A potentially far-reaching consequence of the high mobility and solubility of sheen oil is that, by percolation through sandy sediments, hydrocarbons may reach the underlying water table, and thus be distributed considerable distances from the initial point of contact.

Stranded mousse, on the other hand, behaves entirely differently on sediments, tending to cling and to accommodate sand particles. As a result it contaminates by burial rather than by percolation. This was particularly evident in the case of the *Amoco Cadiz* where it is important to note that widespread pollution of the north Brittany coastline occurred immediately prior to the spring constructional wave activity, when sand which was carried offshore by winter storms was being returned to the beaches. This resulted in rapid burial of stranded oil, with interlayering of stranded mousse with new deposits of beach sand, resulting at some sites in up to five sequential buried slicks. (In fact, the situation in the beach of the Centre Héliomarin probably represents the results of the two processes superimposed on one another with mousse burial accounting for the observed oil layering, and the lesser, 30 ppm, contamination of the cleaner sand layers due to sheen oil penetration.) Throughout the summer constructional beach phase such buried oil layers will lie protected by the overlying sand layers, and oil buried in this manner is therefore relatively immobile - that is, until the onset of winter storm activity and the accompanying beach erosion. It is highly likely that at that time this buried oil will again be released into the marine environment.

The environmental corollary of this is that, whereas sheen oil acts in general oiling of sandy beaches in the ppm range, the constructional phase of beach geomorphology more specifically encourages the entrapment of mousse slicks in the ppt range. The amount of *Amoco Cadiz* oil entrapped through these mechanisms is not known. However, estimates from trenching studies suggest that this can be significant (*viz.* Fig. 4). Oil in buried mousse layers can reach concentrations of nearly 10% by weight of sand. Preliminary estimates suggest that as much as 7.5 kg of oil may be accommodated in this manner under one square metre of beach in the example cited. Thus, if even only 10% of the Centre Héliomarin beach were as described in Figure 4, a one-kilometre stretch of sandy beach *circa* 100 metres wide can contain up to 75 metric tons of stranded oil. By a very conservative estimate, assuming there are 12 similar beaches in north Brittany, some 900 metric tons or 4800 barrels of *Amoco Cadiz* cargo lie within the sandy sediments, ready for potential release at next winter's beach sand removal.

Little can be said on the initial acute toxicity of the original *Amoco Cadiz* crude oil, a mixture of light Arabian and light Iranian crudes, since no samples of the cargo were taken or were available. Any tests therefore were done on samples of freshly stranded oil, and any interpretations of data must take into account alterations in chemical composition due to weathering. The oil in our studies had probably been at sea for at least a week, and had probably lost a large proportion of its lighter smaller molecular weight aliphatics and other components. In this respect the GC trace of oiled loon liver is interesting in that a relatively full spectrum of aliphatics above C₁₂ or C₁₃ were obtained, suggesting that this bird may have become exposed to relatively unweathered original cargo oil.

The question of toxicity is interesting in that toxicity is not an absolute property of the oil but varies directly with weathering of the oil. This is particularly well demonstrated in the results of the laboratory weathering experiment (*viz.* Fig. 6) where both a shift of the curve and a steepening of the curve slope were observed as the sample weathered, suggesting a change from a crude oil to a Bunker C type oil. This aspect of oil toxicity is little studied, but results from long-term field studies in Chedabucto Bay, Nova Scotia, site of the 70000 Bunker C spill in 1970 (×15~ Anonymous, 1970), suggest that long-term residual Bunker C derived hydrocarbons have a persistent and significant toxic effect on metabolism of a number of intertidal infauna (e.g. Thomas, 1978; Gilfillan and Vandermeulen, 1978). This question of changing toxicity with weathering comes up again when considering the potential impact of buried *Amoco Cadiz* oil upon its release from beach sediments during winter beach erosion. For the oil released later will likely not be the same oil buried during the spring depositional phase, having experienced presumably microbial degradation and other weathering processes.

Finally, there is the question of biological response to spilled oil exposure during the initial phases of a major spill. Probably the most striking observation made was the unexpectedly high variability in susceptibility to oil, with extreme mortalities in some species and high survival in others. It would appear that two factors may be involved in this variable impact, one environmental and the other physiological. Near total mortality was observed in marine invertebrate species living freely within the water column, as amongst the crabs, isopods, amphipods and various molluscs. Discounting obvious exceptions there was high survival among benthic infauna, as annelids, nemertean, and

Mya arenaria. (The large mortalities of *Echinocardium* sp., *Ensis* sp., *Cardium* sp. and *Venus* sp. may be due to an unexpectedly high and continuously high concentration of hydrocarbons observed throughout the entire subtidal water column reported by Marchand *et al.* [1978], *viz.* these proceedings.) Thus the suggestion arises that intertidal infauna were in part protected by their burrowing habit, whereas the epibenthic organisms live in continuous and total exposure to their seawater environment. Even in the severely oiled marsh sediments of the Ile Grande salt marsh a surprisingly large number of burrowing organisms were found alive below the sediment surface, as was the case in a number of oiled tidal flats.

The second factor, the role of aryl hydrocarbon hydroxylase in tissue detoxification, is equally poorly understood. It is interesting to speculate, however, that the survival of mullet in the awesomely oiled salt marsh channels near Ile Grande may in part have been due to their ability, through induction of the AHH system, to successfully reduce or eliminate petroleum hydrocarbons from their tissues. Evidence for this mechanism of tissue depuration is now accumulating from studies with flounder (McCain *et al.*, 1978) and other systems (e.g. Kurelec *et al.*, 1977). Interestingly, although distribution of this AHH system in the invertebrate phyla is less well understood (Payne, 1977) and in some cases appears nonexistent (bivalves - Lee *et al.*, 1972; Vandermeulen and Penrose, 1978) there is evidence for high tolerance of oiling coupled with a possible role of AHH in certain annelids (Lee *et al.*, 1977; Gordon *et al.*, 1978). This possibility may be a further factor in the observed high survival of many burrowing annelid species.

ACKNOWLEDGEMENTS

Technical assistance was provided by T.P. Ahern, B. Amero, T. Hemsworth, and J. Moffat. 3-OH-benzopyrene standard was the gift of Dr. J. Stegeman. The manuscript was critically read by Drs. C.F.M. Lewis, A.R. Longhurst, and P.G. Wells. The authors express their gratitude to Messieurs L. Laubier, H. Bougault, and L. d'Ozouville of the Centre Oceanologique de Bretagne, Brest, France, for their hospitality and assistance in gathering the field data.

BIBLIOGRAPHY

- Anonymous - 1970 - Report of the Task Force - Operation Oil. Vol. I, II, III, IV. Canadian Ministry of Transport, 1971.
- Environmental Protection Service - 1977 - A selected bibliography on the fate and effects of oil pollution relevant to the Canadian marine environment. Department of Fisheries and the Environment, Canada; Environmental Protection Service, Econ. Tech. Rev. Rep. EPS-3-EC-77-23: 174 p.
- Farrington, J.W. and B.W. Tripp - 1975 - A comparison of analysis methods for hydrocarbons in surface sediments. Marine chemistry in the coastal environment, p. 267-284. In T.M. Church (ed.), Am. Chem. Soc. Symp. Ser. No. 18.

- Gilfillan, E.S. and J.H. Vandermeulen - 1978 - Alterations in growth and physiology of soft-shell clams, *Mya arenaria*, chronically oiled with Bunker C from Chedabucto Bay, Nova Scotia, 1970-76. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 360-636.
- Gordon, D.C., Jr., J. Dale and P.D. Keizer - 1978 - Importance of sediment working by the deposit-feeding polychaete *Arenicola marina* on the weathering rate of sediment-bound oil. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 591-603.
- Hargrave, B.T. and G.A. Phillips - 1975 - Estimates of oil in aquatic sediments by fluorescence spectroscopy. *Environ. Pollut.* 8: 193-215.
- Keizer, P.D., T.P. Ahern, J. Dale and J.H. Vandermeulen - 1978 - Residues of Bunker C oil in Chedabucto Bay, Nova Scotia, 6 years after the ARROW spill. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 528-535.
- Kurelec, B., S. Britvic, M. Rijavec, W.E.G. Muller and R.K. Zahn - 1977 - Benzo(a)pyrene monooxygenase induction in marine fish - molecular response to oil pollution. *Marine Biology* 44: 211-216.
- Lee, R.F., G. Sauerheber and A.A. Benson - 1972 - Petroleum hydrocarbons: uptake and discharge by the marine mussel, *Mytilus edulis*. *Science* 177: 344-346.
- Lee, R.F., E. Furlong and S. Singer - 1977 - Metabolism of hydrocarbons in marine invertebrates. Aryl hydrocarbon hydroxylase from the tissues of the blue crab, *Callinectes sapidus*, and the polychaete worm, *Nereis* sp. In C.S. Giam (ed.), *Pollutant Effects on Marine Organisms*, D.C. Heath, Lexington, Mass.
- Lowry, O.H., N.J. Rosenbrough, A.L. Farr and R.J. Randall - 1951 - Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275.
- McCain, B.C., H.O. Hodgins, W.D. Gronlund, J.W. Hawkes, D.W. Brown M.S. Myers and J.H. Vandermeulen - 1978 - Bioavailability of crude oil from experimentally oiled sediments to English sole (*Parophrys vetulus*), and pathological consequences. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 657-664.
- Nebert, D.W. and H.V. Gelboin - 1968 - Substrate-inducible microsomal aryl hydroxylase in mammalian cell culture. *J. Biol. Chem.* 243: 6242-6249.
- Owens, E.H. and G. Drapeau - 1973 - Changes in beach profiles at Chedabucto Bay, Nova Scotia, following large-scale removal of sediments. *Can. J. Earth Sci.* 10: 1226-1232.
- Owens, E.H. - 1977 - Coastal environments of Canada: The impact and cleanup of oil spills. Department of Fisheries and the Environment, Canada; Environ. Impact Control Directorate, Econ. Tech. Rev. Rep. EPS-3-EC-77-13: 412 p.
- Owens, E.H. - 1978 Mechanical dispersal of oil stranded in the littoral zone. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 563-572.

- Payne, J.F. 1977. Mixed function oxidases in marine organisms in relation to petroleum hydrocarbon metabolism and detection. *Marine Pollution Bulletin* 8: 112-116.
- Thomas, M.L.H. - 1973 - Effects of Bunker C oil on intertidal and lagoonal biota in Chedabucto Bay, Nova Scotia. *J. Fish. Res. Board Can.* 30: 83-90.
- Thomas, M.L.H. - 1978 - Comparison of oiled and unoled intertidal communities in Chedabucto Bay, Nova Scotia. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 707-716.
- Vandermeulen, J.H. and D.C. Gordon, Jr. - 1976 - Reentry of 5-year-old stranded Bunker C fuel oil from a low-energy beach into the water, sediments, and biota of Chedabucto Bay, Nova Scotia. *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 2002-2010.
- Vandermeulen, J.H., P.D. Keizer and W.R. Penrose - 1977 - Persistence of non-alkane components of Bunker C oil in beach sediments of Chedabucto Bay, and lack of their metabolism by molluscs. *Proc. 1977 Oil Spill Conf. (Prevention, Behavior, Control, Cleanup)*, New Orleans, March 8-10, 1977. American Petroleum Institute, p. 469-473.
- Vandermeulen, J.H. and T.C. Hemsworth - 1977 - Altered grazing patterns in a copepod/alga ecosystem by low level naphthalene exposure. ICES Contribution 1977/E:70.
- Vandermeulen, J.H. and W.R. Penrose - 1978 - Absence of aryl hydrocarbon hydroxylase (AHH) in three marine bivalves. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 643-647.

ONSHORE SURVEY OF MACROBENTHOS ALONG THE
BRITTANY COAST FOLLOWING THE
AMOCO CADIZ OIL SPILL

by

Jeffrey L. Hyland
U.S. Environmental Protection Agency
Environmental Research Laboratory
Narragansett, Rhode Island

RESUME

Une étude écologique préliminaire a été faite le long de la côte nord de Bretagne afin d'évaluer le choc initial de la fuite de pétrole venant du vaisseau Amoco Cadiz sur les communautés macrofauniques intertidales. Le but spécifique était d'observer sur les plages souillées, les organismes manifestement couverts de pétrole, les organismes morts et les organismes moribonds; et de faire une étude limitée de la structure et de la composition des communautés benthiques en péril de souillure par le pétrole. On discute les résultats de ces études pour plusieurs habitats différents.

ABSTRACT

A preliminary ecological survey was conducted along the northern Brittany coast for the purpose of evaluating the initial impact of the Amoco Cadiz oil spill on intertidal macrofaunal communities. Specific objectives were to observe obviously oiled, dead, or moribund organisms on contaminated beaches, and to conduct a limited examination of the structure and composition of benthic communities considered at risk to impact. Results reflecting these objectives are discussed for a variety of habitats.

MOTS-CLES: Amoco Cadiz, pétrole brut, étude écologique, intertidal, communautés macrofauniques, impact de pétrole.

KEY WORDS: Amoco Cadiz, crude oil, ecological survey, intertidal, macrofaunal communities, oil impact.

INTRODUCTION

On March 16, 1978, the supertanker Amoco Cadiz lost her steering and ran aground on rocky shoals approximately 1.5 km offshore of Portsall, France. The vessel was carrying two cargos of light mideastern crude oil, amounting to 223,000 tons, in addition to 4000 tons of bunker fuel. On the morning of March 17, the vessel broke apart forward of the wheelhouse, and during the following 15 days released all of the oil into neighboring waters. Prevailing northwest winds together with strong waves and tidal currents drove much of the oil onshore, heavily impacting nearly 140 km of the Brittany coast from Portsall east to Ile de Brehat.

Immediately after the spill, a team of American scientists from the U.S. Environmental Protection Agency and the National Oceanic and Atmospheric Administration visited the area to assist French scientists in assessing the impact of the spill. Overall results of this joint research effort are discussed in Hess (1978). As a part of that effort, a preliminary intertidal survey was conducted on 3/27-3/31/78 from Argenton to Ile Grande for the purpose of developing a general understanding of the extent of the oiling and the magnitude of initial onshore ecological impact. Two specific objectives of this preliminary survey were (1) to observe and photograph obviously oiled, dead, or moribund organisms found on contaminated beaches, and (2) to conduct a limited examination of the structure and composition of benthic macrofaunal communities considered at risk to impact. Results reflecting these two objectives are discussed herein for each of several habitats investigated.

SAMPLING TECHNIQUES AND TREATMENT OF DATA

Research stations varied in habitat type and included an intertidal sand cove with algal-coated rocky zones (Roscoff-EPA station 1); a salt marsh (Ile Grande-EPA station 2); and a high energy, ocean-exposed sandy beach backed by steep dunes (Corn ar Gazel-EPA station 3). Station locations are illustrated in Figure 1. Each station was photographed and samples of dead, moribund, and oil-coated organisms were returned to the laboratory for gross observation and species identification.

At each station, samples were also collected for examination of the structure and composition of macrofaunal communities. Sampling was conducted during low tide, three to five days after the arrival of spring tides. In the rocky intertidal zone at Roscoff, density estimates of epifauna were made at five substations using 0.25 m² quadrats. Infaunal samples were collected at Roscoff from three additional sandy substations (high water mark on beach at Mariner's Home--substation 1-1; middle of cove between Roscoff and tip of Perharidic peninsula---substation 1-2; and low water mark at mouth of cove, near edge of channel between Roscoff and Ile de Batz--substation 1-3). Infauna alone were sampled from one substation at Ile Grande (on a mud flat along southern edge of main channel intersecting highway D21) and from three sandy substations at Corn ar Gazel (10 m above low water mark--substation 3-1; low water mark--substation 3-2; and 5 m below low water mark--substation 3-3). At each infaunal substation, 10 replicate samples were collected with a 0.01 m² PVC corer to a depth of 20 cm. Replicate samples were then pooled together and rough sieved through a 2.0 mm screen. Contents on the screen were preserved in 10% formalin in the field and returned to the laboratory for identification and enumeration of all macroinvertebrates. Most organisms were identified to the species level with the aid of the following literature:

Polychaeta: Fauvel (1923, 1927), Clark (1960), Day (1967)

Mollusca: Cornet and Marche-Marchad (1951), Allen (1962),
Tebble (1966).

Crustacea: Sars (1890), Truchot and Toulmond (1964),
Bourdon (1965), Allen (1967), Barnard (1969),
Bouvier (1940), Chevereux and Fage (1925).

Other general works which were useful included Barrett and Yonge (1958), Eales (1967), Day (1969), and Gosner (1971).

Data analysis included the generation of preliminary species lists with numerical abundances and the calculation of several community structural indices. These included species diversity (H' , in bits per individual; from Shannon and Weaver, 1963), species richness (Gleason diversity, D_G ; from Gleason, 1922), and evenness (J' ; from Pielou, 1966). Together these indices reflect the variety of species within a sample and the evenness of distribution of individuals among the species present.

Additional samples of sediment and organisms were collected from each station for routine hydrocarbon analysis, the results of which are discussed in Hess (1978).

Field work was facilitated through the services of James Lake (U.S. Environmental Protection Agency, Narragansett, RI) and Ford Cross (U.S. National Marine Fisheries Service, Beaufort, NC). Taxonomic assistance was provided by Sheldon Pratt (Oceanography Dept., University of Rhode Island, U.S.A.), Robert Bullock (Zoology Dept., University of Rhode Island, U.S.A.), and John Scott (U.S. Environmental Protection Agency, Narragansett, RI).

ROCKY INTERTIDAL ZONE AT ROSCOFF

The five rocky intertidal substations (quadrats) were randomly positioned on boulders located approximately 30 m below the high water mark on the beach at the Mariner's Home. The substations may be regarded as replicates since they were apparently exposed to similar environmental conditions and were located at similar depths (0.5 to 1.5 m from the bottom). Table 1 lists epifaunal species identified and enumerated within the five substations. These commonly occurring species are considered members of the mesolittoral zone and were found attached or crawling on the bare rock or on dense patches of algae (mostly Ascophyllum nodosum and Fucus spp.) Table I includes only the obvious species which were large enough to recognize and enumerate in the field, and is therefore exclusive of the smaller organisms, particularly amphipods and small gastropods, associated with microhabitats. Limpets (Patella vulgata) and periwinkles (Littorina obtusata and L. littorea) were the most numerous.

Other species included the gastropod, Gibbula umbilicalis; the chiton, Lepidochitona cinereus; the tube dwelling polychaete, Spirorbis borealis; and the barnacle, Elminius modestus.

All species within these quadrats were exposed to the oil, as thick layers of oil still heavily coated the rocks and algae. Consequently, most organisms were considered at risk to impact and some were in fact dying at the time the survey was conducted on March 29. Limpets and periwinkles for example were particularly impacted, and dead and moribund individuals were observed at the base of the rocks. Some limpets were beginning to lose purchase on the rocks and were easily removed with the flick of a finger. Limpets are unable to hold their shells firmly against the substrate for prolonged periods of time, since the adductor muscles must relax occasionally allowing the shells to lift slightly. In heavily oiled areas, the oil can then penetrate beneath the shell margin, thus contaminating the gills and other delicate tissues. Macroscopic examination of the limpets revealed contamination of the soft body parts and deterioration of the flesh. Shore birds were observed feeding on the upturned shell contents.

Other epifaunal species not necessarily occurring within the five quadrats were found dead or moribund in the immediate vicinity. These included the topshells (Gibbula cineraria, G. umbilicalis, and Calliostoma zizyphinum) and the green crab (Carcinus maenus) (Figure 2). Microscopic examination of dissected crabs revealed that the oil had formed a thick coating around the gills.

These same rocky intertidal species were similarly affected along Cornish coasts in 1967 after exposure to a mixture of detergents and crude oil spilled from the Torrey Canyon (Smith, 1968; Nelson-Smith, 1968a). However, in contrast to Smith's account that oil alone had resulted in little harm to shore life, and that ecological effects were induced mostly by the application of detergents, the current impact to rocky intertidal organisms was observed in an area where detergents were allegedly not used prior to sampling.

Mussels, Mytilus edulis, were not observed on the rocks at Roscoff. However, dense populations were found subsequently at Locquirec. The mussels were oiled, yet they appeared unharmed at that time.

INTERTIDAL SAND COVE AT ROSCOFF

The sandy cove between Roscoff and the Perharidic peninsula is almost entirely exposed at low tide. Consequently, oil was initially concentrated in thick layers high up on the beaches, and then with receding tides was also dispersed throughout the cove. This spreading was observed as visible droplets of mousse at depth in the sediment and as occasional surface stains even in the middle of the cove. That the underlying sediment and pore water contamination had reached toxic levels was evident since some dead and moribund infaunal specimens were collected throughout the cove, particularly toward the beachface where the oil

was most concentrated. These species included the edible cockle, Cardium edule, the carpet shell, Venerupis decussata, and the polychaete, Nereis diversicolor (Figure 2). The epifaunal green crab, Carcinus maenus, was also found dead in large numbers.

Quantitative sampling of the sand substations revealed a generally diverse infaunal assemblage, consisting of a rather large number of species in comparison to the other stations (Table 2). Twenty-one species were found, representing 78% of the total number of species found at all stations combined. The dominant organisms were the two polychaetes, Nereis diversicolor, which was found at substation 1 at a density of 52 per 0.1 m², and Scoloplos armiger, which was found at moderate densities (12 to 17 per 0.1 m²) at all three substations. Abundant on the sediment surface were the shingled tubes (90/m²) of the polychaete, Lanice conchilega, and casts (36/m²) of the lugworm, Arenicola marina. However, these species were not well represented in the infaunal samples.

Community structure and composition varied between substations, with the number of species and other structural indices increasing from substation 1 to substation 3. At substation 3, 15 species per 0.1 m² were recovered, and relatively high values for H' (3.34), D_G (7.51), and J' (0.85) were recorded. In contrast, at substation 1 only 6 species per 0.1 m² were sampled and values for H' (1.30), D_G (2.66), and J' (0.50) were relatively low. Intermediate values were observed for substation 2. Each substation was intertidal, yet environmental conditions generally varied between them. For example, substation 1 was located at the high tide mark on the beach at the Mariner's Home; substation 2 was located in the middle of the cove, approximately 0.5 km from the mouth; and substation 3 was located at the low water mark at the mouth of the cove. Furthermore, sediment grain size increased toward substation 3, while visible levels of petroleum contamination increased toward substation 1. Possible explanations for the observed variation in community structure and composition between substations then are: (1) the greater availability of microhabitats toward substation 3 as a result of the increase in sediment grain size, (2) an increase in environmental stability toward substation 3 as a result of a decrease in shoreward influences (breaking surf, atmospheric exposure, etc.), and the elimination of some species from substation 1 as a result of the greater concentration of oil on the beachface. Without additional data, however, it is difficult to determine which of these factors (if any) are most significant.

Since such a large number of organisms were found still living within the sediments at the time of sampling on March 29, it appeared that up to this time many of these infaunal species (particularly toward the channel edge) had escaped initial impact. Perhaps the sediment itself provided a blanket of protection against immediate impact, whereas a greater number of rocky intertidal organisms succumbed to the effects of direct physical

contact with heavy oil slicks. These infaunal assemblages are nonetheless considered threatened in view of several observations including the visible levels of sediment and pore water contamination throughout the study area, and the observed death of infauna (e.g., cockles, clams, and polychaetes) in the immediate vicinity. Subsequent surveys of neighboring localities (e.g., at St. Michel-en-Greve four days later) revealed massive kills of infauna, particularly heart urchins (Echinocardium cordatum) and razor clams (Pharus legumen and Ensis siliqua). Dead urchins and razor clams were similarly reported along the Cornish coast after the Torrey Canyon spill (Smith, 1968). Also, impact of oil spills on soft-bottom intertidal communities has been reported elsewhere in the literature by Hampson and Sanders (1969), Thomas (1973), and Bender, Hyland, and Duncan (1974).

One striking observation was the presence of reproductively active polychaetes throughout the infaunal samples. Perinereis cultrifera was found in its heteronereid stage, while other polychaetes including Phyllodoce sp., Glycera convoluta, and Nephtys hombergii were carrying numerous ripe ova. It is possible that adult mortality at such a sexually productive period could have a local impact through reduced recruitment of young, thus significantly altering the numerical distribution of species for some time to come. Larval forms are also known to be extremely sensitive to petroleum pollutants.

SALT MARSH AT ILE GRANDE

Oil coverage of the marsh at Ile Grande was extensive, contaminating vegetation (Juncus sp., Spartina patens, and Salicornia sp.) and leaving most mud surfaces coated with several centimeters of mousse. Dead and moribund invertebrates were commonly found in large numbers on the oil-soaked mud flats, and included polychaetes (Nereis diversicolor and Arenicola marina), cockles (Cardium edule), and green crabs (Carcinus naenus) (Figure 3).

Quantitative sampling of the infauna was conducted on March 30 along a mud flat immediately adjacent to the main channel. Sampling was nearly impossible due to the nature of the soft sediments coupled with the extent of oiling. Therefore only one substation was sampled, and this became feasible only after scraping away large areas of surface oil. Table II reveals the extremely low diversity at this site, reflecting the presence of only two species, namely Nereis diversicolor and Arenicola marina. Although Nereis was the most abundant, neither were found alive in large numbers.

It is not uncommon to find low species diversity in salt marshes. However, many characteristic marsh species still large enough to be sampled in a 2.0 mm sieve (e.g., larger gammarid amphipods, capitellid and spionid polychaetes, and lamellibranch molluscs) were absent from the

collection. It is felt then that the observed absence of species is not only a result of the natural tendency for marshes to exhibit low numbers of species, but also a result of the demise of organisms due to the impact of the spill. As mentioned above, numerous dead infaunal organisms were found in the sampling area. Also, a day earlier at this same site, Eric Gundlach (Research Planning Institute, Columbia, SC, U.S.A.) reported that thousands of moribund polychaetes were attempting to escape their oily environment by emerging from the sediment, only to wind up on the surface of oil pools. Ecological damage to salt marsh communities has been reported previously as a result of the Chryssi P. Goulandris spill in Milford Haven, England (Nelson-Smith, 1968b); the Arrow spill in Chedabucto Bay, Canada (Thomas 1973); and the West Falmouth spill in Massachusetts, USA (Michael, et al., 1975).

INTERTIDAL SAND BEACH AT CORN AR GAZEL

Station 3 was situated on a high energy, ocean-exposed sandy beach, located approximately 500 m NW of the small town of Corn ar Gazel and 6 km SE of the wreck site. The beach was apparently once well coated with oil, since at the time of sampling on March 31 occasional stains and droplets were still visible both on the surface and at depth in the sediment. Also, grass growing on the sides of the steep dunes still revealed visible traces of oil. For the most part, though, the waves and tides effectively removed the bulk of surface oil from the beachface. On the other hand, seaward the oil was still heavily concentrated and appeared as an oil-in-water emulsion throughout the water column. Nearby boulders located just offshore were still heavily oiled.

Toxicity was apparent as the jetsam line was littered with a large number of dead and moribund organisms, many of which revealed visible quantities of oil. These species included the edible crab, Cancer pagurus; an unidentified fish; the lugworm, Arenicola marina; an unidentified Holothuroidean (sea cucumber); the gastropods, Patella sp., Calliostoma zizyphinum, Gibbula cineraria and G. umbilicalis; and the bivalves Dosinia exoleta, Venerupis pullastra, and Venus verrucosa (Figure 4). Some of these were washed up from the neighboring rocks (e.g., Patella and Gibbula), while others arrived from the soft-bottom intertidal and subtidal areas. Oil was also lethal to organisms living higher up on the shore. For example, Eric Gundlach observed on a similar beach 5 km west thousands of dead sand hoppers, Talitrus saltator, which normally live among the deposited jetsam. Many of these species were similarly affected after the Torrey Canyon spill (Smith, 1968).

Table II reveals the results of the quantitative sampling of in-fauna. There were no clear patterns in the distribution of species between substations and any variation is most likely attributable to normal spatial patchiness. Values for the number of species, species diversity, and richness were generally between those observed at stations 1 and 2, while values for J' for all three substations were particularly high, revealing an even distribution of the relatively few individuals among

the species present. Because so few organisms were present in the samples, a more detailed discussion of community structure is unwarrantable. Fewer organisms (particularly at substation 2) in comparison to the situation at Roscoff was most likely a result of natural factors, since the physical environment here was less stable (e.g., shifting sands and exposure to wave action). However, one should not rule out the possibility that fewer organisms were found as a result of the oil, since visible oil levels were observed both in the water column and in the sediments, and since many dead and moribund organisms were observed on the sediment surface in the immediate vicinity.

Here, as elsewhere, several species of polychaetes that were still alive were found in sexually productive states. Glycera convoluta, Nephtys hombergii, Audouinia tentaculata, and Arenicola marina were all carrying ova. One dead Arenicola was examined and also contained a large number of ova.

CONCLUSIONS

To assess the impact of the spill on onshore macrobenthos, a preliminary survey was conducted with two objectives in mind: to observe and photograph obviously oiled, dead, or moribund organisms found on contaminated beaches; and to conduct a limited examination of the structure and composition of macrofaunal communities considered at risk to impact. Sampling was necessarily very limited in scope due to the urgency to complete an immediate, broad-scale spill damage assessment. Accordingly, the overall purpose of this work was to aid in developing a general understanding of the extent of oiling and magnitude of initial onshore ecological impact. In addition, it is anticipated that the preliminary species lists and observations presented herein will provide useful "quasibaseline" information for comparison with more definitive, long-term studies which may be conducted in the future.

Research stations were established two weeks after the spill in a variety of habitats and included an intertidal sand cove with algal coated rocky zones (Roscoff); a salt marsh (Ile Grande); and a high energy, ocean-exposed sand beach (Corn ar Gazel). All stations were heavily oiled, however the marsh at Ile Grande was the most polluted with surface oil accumulating to several centimeters. Removal of visible surface oil from the substrate as a result of the waves and currents was most effective at the higher energy stations, particularly at Corn ar Gazel. However, even at Corn ar Gazel, traces of sediment and pore water contamination were still observed at depth in the sediment two weeks after the spill. Removal of visible oil from algal-coated rocks and salt marshes was less effective.

Lethal effects of the oil were apparent from the number of dead and moribund organisms collected at the various stations. Affected species included limpets (Patella vulgata), periwinkles (Littorina obtusata and

L. littorea), topshells (Gibbula cineraria, G. umbilicalis, and Calliostoma zizyphinum), cockles (Cardium edule), clams (Venerupis decussata), polychaetes (Nereis diversicolor), and green crabs (Carcinus maenus) at Roscoff; polychaetes (Nereis diversicolor and Arenicola marina), cockles (Cardium edule), and green crabs (Carcinus maenus) at Ile Grande; and edible crabs (Cancer pagurus), fish (unidentified), sea cucumbers (unidentified), limpets (Patella sp.), and top shells (Gibbula cineraria, G. umbilicalis, and Calliostoma zizyphinum) at Corn ar Gazel. Numerous dead amphipods (Talitrus saltator), sea urchins (Echinocardium cordatum), and razor clams (Ensis siliqua and Pharus legumen) were collected from neighboring sites.

Samples of the living organisms remaining at each of the stations were collected to provide a limited description of community structure and composition. Sampling of infauna revealed a relatively high diversity of species for the intertidal sand cove at Roscoff, an intermediate level for the sand beach at Corn ar Gazel, and an extremely low level for the marsh at Ile Grande. For the most part, the observed variation in community structure reflects the natural variation in environmental conditions between contrasting habitats (e.g., protected sand cove vs. ocean-exposed beach vs. marsh). However, for some areas (particularly in the heavily oiled marsh) abnormally low numbers of species and individuals could have resulted partly from the impact of the oil. All of these infaunal communities are nonetheless considered threatened by the spilled oil because of the visible sediment and pore water contamination and the observed kill of organisms in the immediate vicinity of sampling. If possible, subsequent observations in these areas are recommended to delineate future changes in the numerical and spatial distribution of species.

All of the epifaunal species observed at Roscoff rocky intertidal substations were directly exposed to heavy oil slicks, and some (particularly limpets) were dead or moribund at the time of sampling. Similarly, these communities are considered threatened, and again subsequent observations to delineate population changes are recommended.

Several species of oil-impacted polychaetes were examined microscopically and were observed in sexually active states. The heteronereid stage of Perinereis cultrifera was found in one sample, and other polychaetes (Phyllodoce sp., Glycera convoluta, Nephtys hombergii, Audouinia tentaculata and Arenicola marina) were carrying numerous ripe ova. Widespread adult mortality during such a sexually productive period could affect the future recruitment of species, accentuating the ecological significance of the initial impact.

BIBLIOGRAPHY

- Allen, J.A. 1962. Fauna of the Clyde Sea area. Mollusca. Scottish Marine Biol. Assoc. 88 p.

- Allen, J.A. 1967. Fauna of the Clyde Sea area. Crustacea: Euphausiacea and Decapoda. Scottish Marine Biol. Assoc. 116 p.
- Barnard, J.L. 1969. The families and genera of marine Gammaridean amphipods. Smithsonian Inst. Bull. 271:535 p.
- Barrett, J. and C.M. Yonge. 1958. Collins pocket guide to the sea shore. Collins. London. 272 p.
- Bender, M.E., J.L. Hyland, and T.K. Duncan. 1974. Effects of an oil spill on benthic animals in the lower York River, Va. In Proceedings of Marine Pollution Monitoring (Petroleum) Symposium, Gaithersburg, Md., May 13-17, 1974. IOC-UNESCO, WMO, USDC-NBS. pp. 259-260.
- Bourdon, R. 1965. Inventaire de la faune marine de Roscoff. Decapodes-Stomatopodes. Editions de la Station Biologique de Roscoff. 45 p.
- Bouvier, E. 1940. Faune de France. Vol. 37, Decapodes Marcheurs. Librairie de la Faculte des Sciences. Paris. (Kraus reprint, Nendeln/Liechtenstein. 1970). 404 p.
- Chevreaux, E. and L. Fage. 1925. Faune de France. Vol 9, Amphipodes. Librairie de la Faculte des Sciences. Paris. (Kraus reprint, Nendeln/Liechtenstein. 1970). 488 p.
- Clark, R.B. 1960. Fauna of the Clyde Sea area: Polychaeta, with keys to the British genera. Scottish Marine Biol. Assoc. 71 p.
- Cornet, R. and I. Marche-Marchad. 1951. Inventaire de la faune marine de Roscoff. Mollusques. 5. Aux Travaux de la Station Biologique de Roscoff. 80 p.
- Day, J.H. 1967. Polychaeta of Southern Africa. Part 1, Errantia; Part 2, Sedentaria. Brit Mus. (Nat. Hist.). 878 p.
- Day, J.H. 1969. A guide to marine life on South African shores. A.A. Balkema Co., Cape Town. 300 p.
- Eales, N.B. 1967. The littoral fauna of the British Isles. A handbook for collectors. Cambridge Univ. Press. 306 p.
- Fauvel, P. 1923. Faune de France. Vol. 5, Polychetes Errantes. Librairie de la Faculte des Sciences. Paris. (Kraus reprint, Nendeln/Liechtenstein. 1969). 488 p.
- Fauvel, P. 1923. Faune de France. Vol. 16, Polychetes Sedentaires. P. Lechevalier. Paris 494 p.
- Gleason, H.A. 1922. On the relation between species and area. Ecology. 3:156-162.

- Gosner, K.L. 1971. Guide to identification of marine and estuarine invertebrates. Wiley-Interscience. NY 693 p.
- Hampson, G.R. and H.L. Sanders. 1969. Local oil spill. *Oceanus*. 25:8-10.
- Hess, W.N. (ed.). 1978. The Amoco Cadiz oil spill. A preliminary scientific report. NOAA/EPA Special Report. (NOAA Environmental Research Laboratory, Boulder, Colorado).
- Michael, A.D., C.R. Van Raalte, and L.S. Brown. 1975. Long-term effects of an oil spill at West Falmouth, Mass. In Proceedings of Conference on Prevention and Control of Oil Pollution, San Francisco, Calif., March 25-27, 1975, API, EPA, USCG, pp. 573-582.
- Nelson-Smith, A. 1968a. Biological consequences of oil pollution and shore cleansing, p. 73-80. In J.D. Carthy and D.R. Arthur (eds.). The biological effects of oil pollution on littoral communities. *Fld studies* 2 (suppl.).
- Nelson-Smith, A. 1968b. The effects of oil pollution and emulsifier cleansing on marine life in southwest Britain. *J. Appl. Ecol* 5:97-107.
- Pielou, E. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* 13:131-144.
- Sars, G.O. 1890. An account of the Crustacea of Norway. Vol. 1, Amphipoda (Text and Plates). Universitetsforlaget, Bergen and Oslo. 711 p.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana. 117 p.
- Smith, J.E. (ed.). 1968. Torrey Canyon pollution and marine life. Cambridge Univ. Press. 196 p.
- Tebble, N. 1966. British bivalve seashells. *Brit. Mus. (Nat. Hist.)*. 213 p.
- Thomas, M.L.H. 1973. Effects of Bunker C oil on intertidal and lagoonal biota in Chedabucto Bay, Nova Scotia. *J. Fish. Res. Board Can.* 30:83-90.
- Truchot, J. and A. Toulmond. 1964. Inventaire de la fauna marine, de Roscoff. Amphipodes-Cumaces. Supplement Aux Travaux de la Station Biologique de Roscoff. 42 p.

TABLE I. Species List with Numerical Abundances
(No.'s per 0.25 m²) for Rocky Intertidal
Quadrats at Roscoff

Quadrat No.:	1	2	3	4	5
<u>Gastropoda</u>					
Patella vulgata	2	-	4	16	16
Littorina obtusata	1	-	1	6	-
Littorina littorea	-	-	1	-	-
Gibbula umbilicalis	-	-	-	1	-
<u>Polychaeta</u>					
Spirorbis borealis	occasional calcareous tubes	2	-	occasional calcareous tubes	-
<u>Amphineura</u>					
Lepidochitona cinereus	-	-	1	-	-
<u>Cirripedia</u>					
Elminius modestus	-	-	dense population	-	-
<u>Algae</u>					
Mostly Ascophyllum nodosum and fucus spp.	← 80 to 100% cover →				

TABLE II. Species List With Numerical Abundances and Associated Structural Indices for the Three Infaunal Stations.

Station:	1 Roscoff			2 Ile Grande	3 Corn ar Gazel		
Substation:	1-1	1-2	1-3	2	3-1	3-2	3-3
<u>Polychaeta</u>							
<i>Nereis diversicolor</i>	52	1	-	14	-	-	-
<i>Scoloplos armiger</i>	17	12	15	-	-	-	2
<i>Polycirrus aurantiacus</i>	1	1	1	-	-	-	-
<i>Notomastus latericeus</i>	2	5	20	-	-	-	-
<i>Arenicola marina</i>	-	1	-	1	-	-	1
<i>Nephtys hombergii</i>	-	1	1	-	3	-	-
<i>Spio filicornis</i>	-	1	5	-	1	-	1
<i>Nicomache</i> sp.	-	5	-	-	-	-	-
<i>Aonides oxycephala</i>	-	-	1	-	-	-	-
<i>Nephtys</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-
<i>Perinereis cultrifera</i>	-	-	3	-	-	-	-
<i>Lanice conchilega</i>	-	-	3	-	-	-	-
<i>Syllis</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-
<i>Phyllodoce</i> sp. A.	-	-	1	-	-	-	-
<i>Phyllodoce</i> sp. B.	-	-	-	-	-	-	1
<i>Clymene</i> sp.	-	-	13	-	-	-	-
<i>Harmothoe lunulata</i>	-	-	-	-	1	-	-
<i>Glycera convoluta</i>	-	-	-	-	-	-	2
<i>Audouinia tentaculata</i>	-	-	-	-	-	-	4
<u>Amphipoda</u>							
<i>Haustorius arenarius</i>	2	-	-	-	-	-	-
<i>Phoxocephalopsis</i> <i>deceptionis</i>	1	1	-	-	-	-	-
<u>Decapoda</u>							
<i>Carcinus maenus</i>	-	1	1	-	-	-	-
<i>Cancer pagurus</i>	-	-	-	-	-	1	1
<u>Bivalvia</u>							
<i>Tellina tenuis</i>	-	1	-	-	-	-	-
<i>Loripes lucinalis</i>	-	4	1	-	-	-	-
<i>Loripes</i> sp.	-	-	6	-	1	-	-
<u>Gastropoda</u>							
<i>Littorina obtusata</i>	-	-	-	-	1	1	-
S (No. species/0.1 m ²)	6	12	15	2	5	2	7
N (No. indiv./o.1 m ²)	75	34	73	15	7	2	12
H'	1.30	2.90	3.34	0.35	2.13	1.00	2.58
DG	2.66	7.18	7.51	0.85	4.71	3.33	5.56
J'	0.50	0.81	0.85	0.35	9.91	1.00	0.91

Figure 1. Location of Environmental Protection Agency (EPA) research stations. Note: Only stations 1 through 3 are relevant to the study discussed herein.

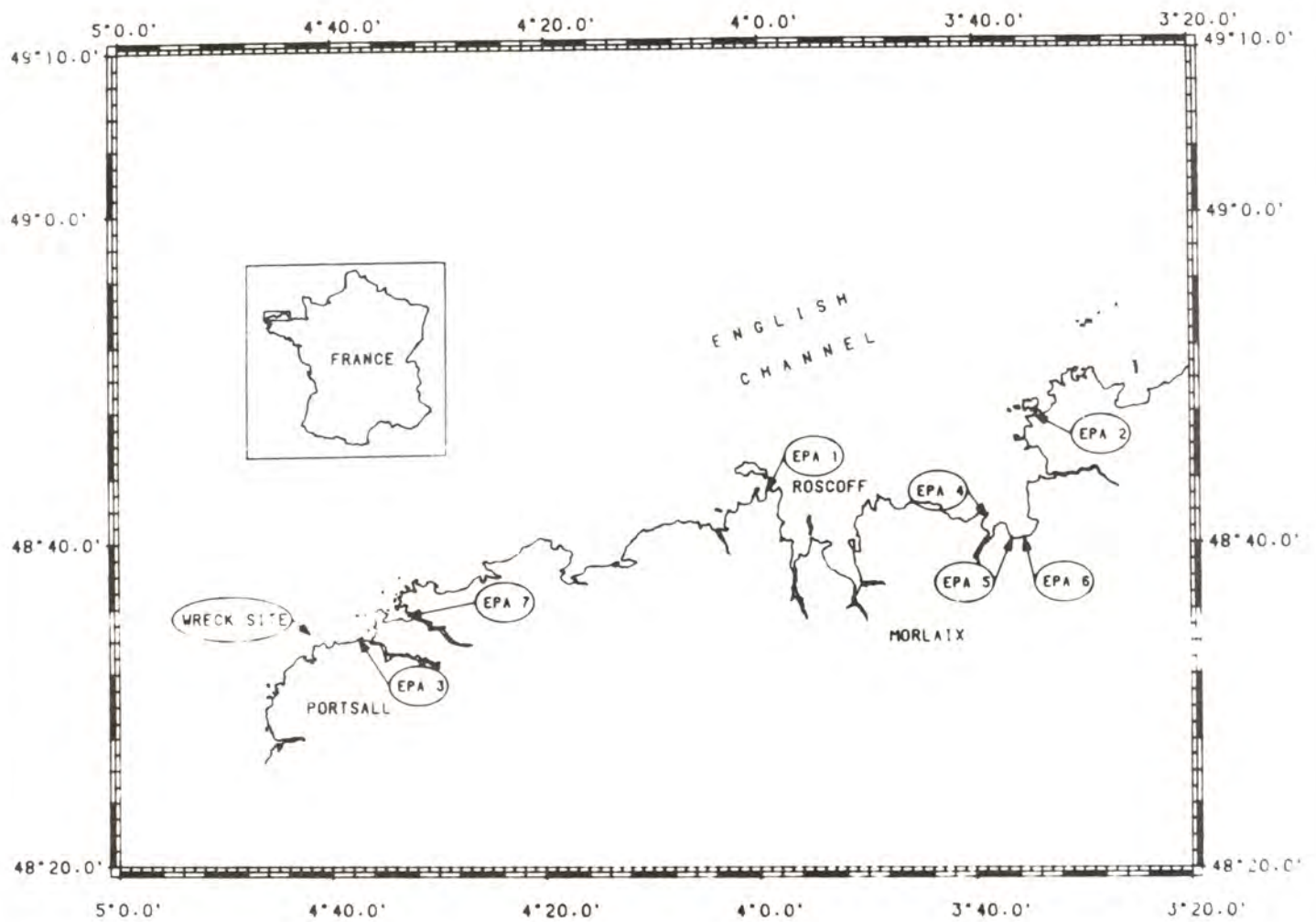


Figure 2. Dead and moribund organisms at EPA Station 1, Roscoff. Left to right: Top row = Venerupis decussata, Cardium edule, Patella vulgata, and Littorina littorea (with attached Elminus modestus). Middle row = Littorina obtusata (one black and one yellow specimen), Gibbula umbilicalis, Gibbula cineraria, and Calliostoma zizyphinum. Bottom row = Nereis diversicolor and Carcinus maenus.

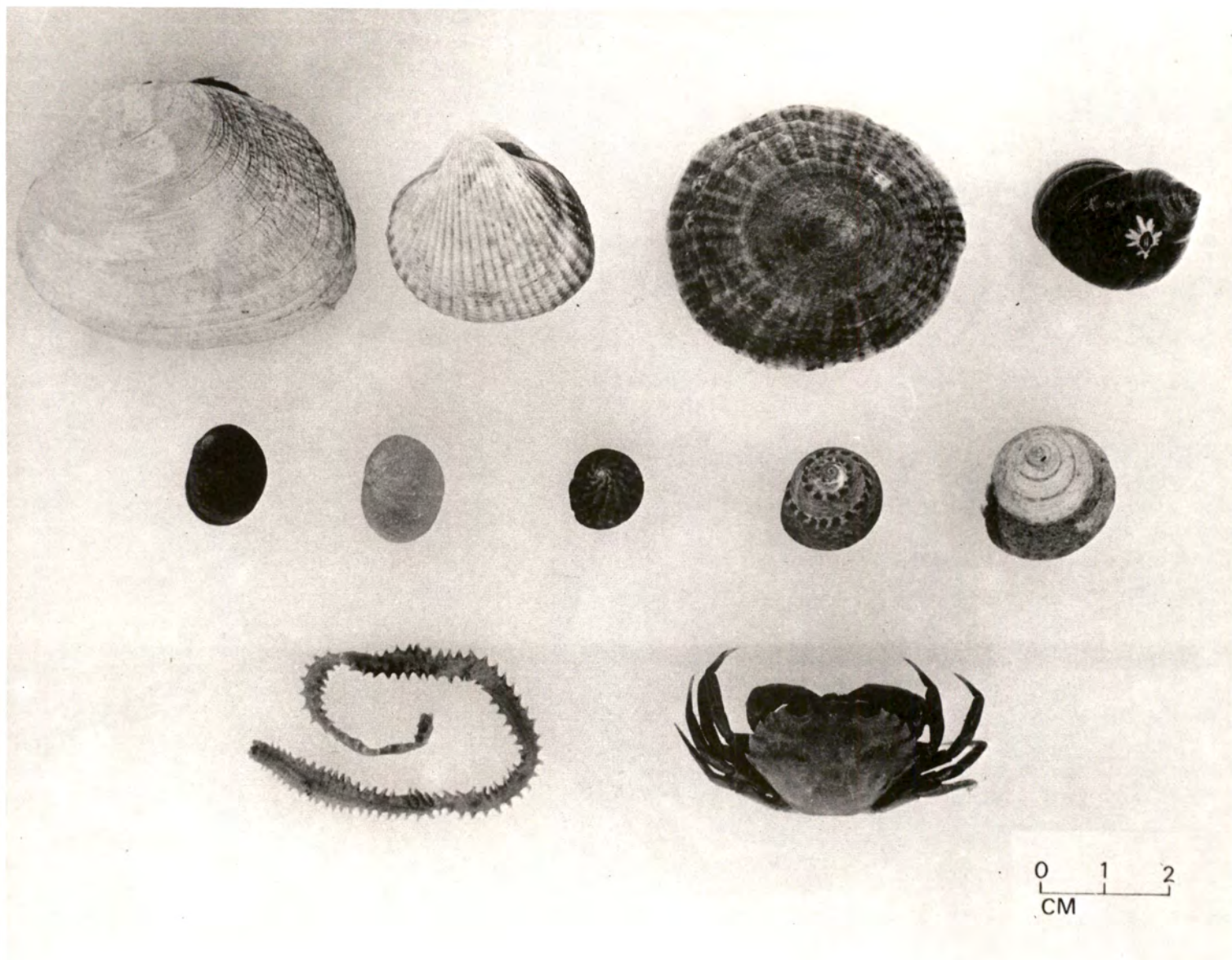


Figure 3. Dead and moribund organisms at EPA Station 2, Ile Grande. Left to right: Top row = Carcinus maenus and Cardium edule. Bottom row = Arenicola marina and Nereis diversicolor.

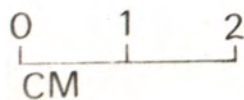
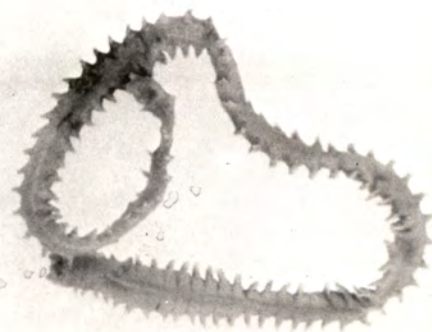
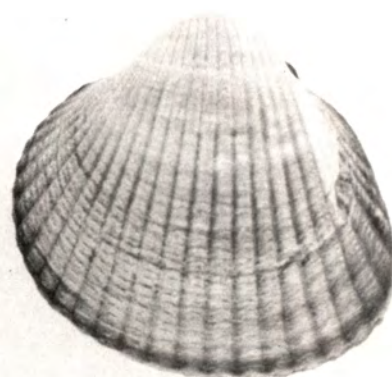


Figure 4. Dead and moribund organisms at or near EPA Station 3, Corn ar Gazel. Left to right: Top row = Cancer pagurus, unidentified Holothuroidean, and unidentified fish. Middle row = Arenicola marina, Venus verrucosa, Dosinia exoleta, and Venerupis pullastra. Bottom row = Patella sp., Calliostoma zizyphinum, Gibbula cineraria, Gibbula umbilicalis, and Talitrus saltator.



Journée spéciale "AMOCO CADIZ", Brest, France, 7 Juin 1978.
Publications du C.N.E.X.O. Série "Actes de Colloques" n° 6 - 1978 : page 193 à 208

EVOLUTION DE LA BIOMASSE ET DE LA PHYSIOLOGIE DU
ZOOPLANKTON SUR LA CÔTE NORD DE BRETAGNE EN RELATION
AVEC L'ECHOUAGE DE L'AMOCO CADIZ : RESULTATS PRELIMINAIRES
POUR LA PERIODE DU 16 MARS AU 20 MAI 1978.

par

J.F. SAMAIN*, J. LE FEVRE**, J. MOAL*,
J.Y. DANIEL* et J. BOUCHER*

*Centre Océanologique de Bretagne, BP 337, 29273 Brest Cédex

**CNRS, Institut d'Etudes Marines,
Université de Bretagne Occidentale, 29283 Brest Cédex

RESUME

Les premières observations sur la distribution et l'évolution des biomasses du zooplancton (poids sec, protéines totales), de la physiologie (amylase, trypsine) et de la composition des peuplements, pendant les deux mois suivant le naufrage de l'AMOCO CADIZ sont présentées. Les déficits de biomasse enregistrés dans la région des abers sont attribués aux effets des hydrocarbures. Les faibles valeurs de biomasse de la côte du Nord-Finistère et l'existence d'évolutions particulières dans les estuaires, la Baie de Lannion et dans la région du Trieux sont mises en évidence et discutées.

ABSTRACT

First results about distribution and changes of biomass (dry weight and total soluble proteins), physiology (amylase, trypsin) and faunistic composition of zooplankton are reported for the two months period following the spill of AMOCO CADIZ on the Brittany Northern coast. A shortage of biomass in the aber area is attributed to hydrocarbons. The low level of the mean value of biomasse on the North coasts, and the peculiarities of estuarine station of the Lannion bay and of Trieux area are reported and discussed.

MOTS - CLES : Amoco Cadiz, Zooplancton, Biomasse, Physiologie, Marée noire.

KEY WORDS : Amoco Cadiz, Zooplankton, Biomass, Physiology, Spill.

INTRODUCTION

Le 16 Mars 1978, le pétrolier "Amoco Cadiz" déverse 223 000 t de brut léger dans la région de Portsall. Etant donnée l'importance de la pollution, qui a principalement affecté une zone située à l'Est de l'épave jusqu'à l'entrée de la Baie de St Brieuc, on peut s'attendre à de profonds effets sur le milieu naturel. En dehors même de son ampleur, cet accident présente une spécificité liée à la nature exacte des hydrocarbures libérés, et aux moyens de lutte utilisés. Il en résulte, la nécessité d'études approfondies et à long terme sur le comportement de l'écosystème perturbé, considéré dans l'ensemble et dans chacune de ses composantes.

Le présent article traite, au sein de ce cadre général, du zooplancton. Le domaine pélagique constitue un tout qui doit être abordé d'une manière synoptique. La dynamique de la production du phytoplancton et du zooplancton, comme celle des successions floristiques et faunistiques mettant en jeu de nombreux paramètres physico-chimiques ne permettent pas de proposer dès maintenant une interprétation fine, qui sera recherchée ultérieurement. Un bilan provisoire peut cependant être réalisé à partir des premiers résultats. Nous utiliserons pour ce faire, les données quantitatives globales telles que : biomasses en poids sec ou en teneur totale en protéines et activités enzymatiques digestives du zooplancton. Des travaux antérieurs (BOUCHER et al, 1975 ; SAMAIN et al, 1975), ont en effet montré l'existence d'une variation des taux enzymatiques de l'amylase et de la trypsine en fonction des conditions trophiques, mais aussi de l'état physiologique général des organismes étudiés. Enfin, pour compléter cette première esquisse de bilan, une analyse faunistique sommaire a été effectuée sur quelques stations représentatives des différents secteurs géographiques touchés.

Ces premiers résultats, pour des raisons pratiques, concernent en principe uniquement les deux premiers mois suivant l'accident, qui correspondent d'ailleurs au moment de la perturbation la plus brutale. Cependant, les observations ultérieures (jusqu'à la mi-juin) sont déjà partiellement traitées et il pourra y être fait allusion pour faciliter la discussion.

MATERIEL ET METHODES

Les prélèvements ont été effectués selon une stratégie correspondant au mieux, aux différents degrés de définition souhaitables dans cette étude. Trois niveaux d'observation ont été étudiés : une prospection globale dans la frange des 60 milles au large de la côte Nord de Bretagne, allant de Brest aux îles anglo-normandes (campagnes Suroît 1, Suroît 3 et Cryos), une prospection plus fine dans les estuaires et les baies, des Abers au Trieux (campagnes Thalia et Pluteus II), une étude détaillée enfin de l'Aber Benoît et de la Rade de Brest, cette dernière à titre de témoin non touché par cette pollution. La périodicité des campagnes est présentée dans le tableau I.

Date	Jours après échouage	Aber Benoît Rade de Brest	Estuaires et Baies	Côtier
15/03/78	0	Echouage AMOCO CADIZ		
15/04/78	15	ABER RADE		SUROIT 1
	30	ABER RADE	THALIA	SUROIT 3
	45	ABER RADE		
15/05/78	60		PLUTEUS	CRYOS
	75	ABER RADE		
15/06/78	90		THALIA	
	105	ABER RADE		

A chaque station, des prélèvements hydrologiques ont été réalisés (température, salinité, oxygène, sels nutritifs) à 1 m sous la surface et à proximité du fond. Des prises d'eau ont en outre été réalisées à 1 m pour l'analyse des hydrocarbures et de la chlorophylle ainsi que pour le comptage du phytoplancton. Pour le zooplancton, trois traits verticaux du voisinage du fond à la surface étaient effectués, deux d'entre eux avec un filet standard WP 2 à maille de 200 μ (UNESCO, 1968), l'autre avec un filet de géométrie identique, mais à maille de 80 μ . L'un des prélèvements au filet de 200 μ était destiné à la mesure des biomasses en poids sec, l'autre, fractionné en aliquote (FOLSOM, 1959), pour l'analyse taxonomique, et les analyses biochimiques. Le prélèvement au filet 80 μ est destiné à une analyse faunistique complémentaire, concernant en particulier la structure d'âge des populations de certaines espèces. Une pêche horizontale de 10 minutes a été enfin effectuée au filet à larves (FLH de 300 et 500 μ de vide de maille) pour le tri des espèces dominantes de la station pour la mesure des paramètres physiologiques. La détermination et le dénombrement des larves de poissons ont été effectués sur ces prélèvements. Des homogénats des espèces triées, ainsi que du demi-échantillon vertical 200 μ , ont été effectués dans de l'eau distillée pour l'analyse des protéines et des enzymes digestives selon la méthode de SAMAIN et al. 1977.

RESULTATS

Evolution des biomasses

Au large, 15 jours après l'échouage, la biomasse moyenne en poids sec total est de 12,6 mg/m³. La biomasse protéique moyenne est de 1,84 mg/m³, soit 168 mg/m² en valeur intégrée. La corrélation généralement observée entre poids sec total et biomasse protéique est vérifiée, sauf pour quelques points côtiers proches de Portsall pour lesquels les poids secs très élevés sont dûs essentiellement à la présence de sédiments en suspension (fig. 1). La biomasse protéique est répartie selon un gradient décroissant d'Ouest en Est et du large vers la côte (fig. 2).

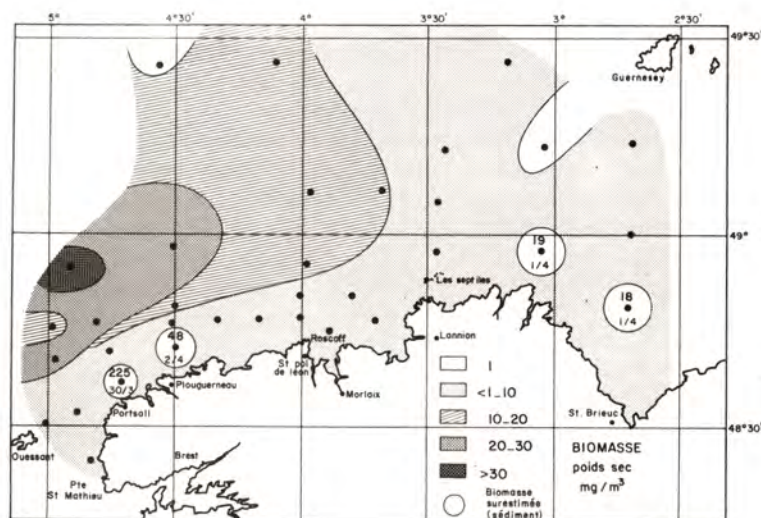


FIG. 1 : Distribution géographique des biomasses (mg poids sec/m³) le 30 mars : 15 j. après l'échouage.

PROTEINES mg/m ³	MARS	AVRIL	MAI
Large	1.84	2.08	6.48
		↕ significatif	↕ significatif
Côte		1.00	2.40
		↕ significatif	↕ significatif

TABEAU II : Evolution des biomasses protéiques moyennes après l'échouage de l'AMOCO CADIZ (mars à mai 1978, Bretagne Nord) significativité au seuil de 5% (test).

DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DES BIOMASSES PROTEIQUES (mg/m^3)

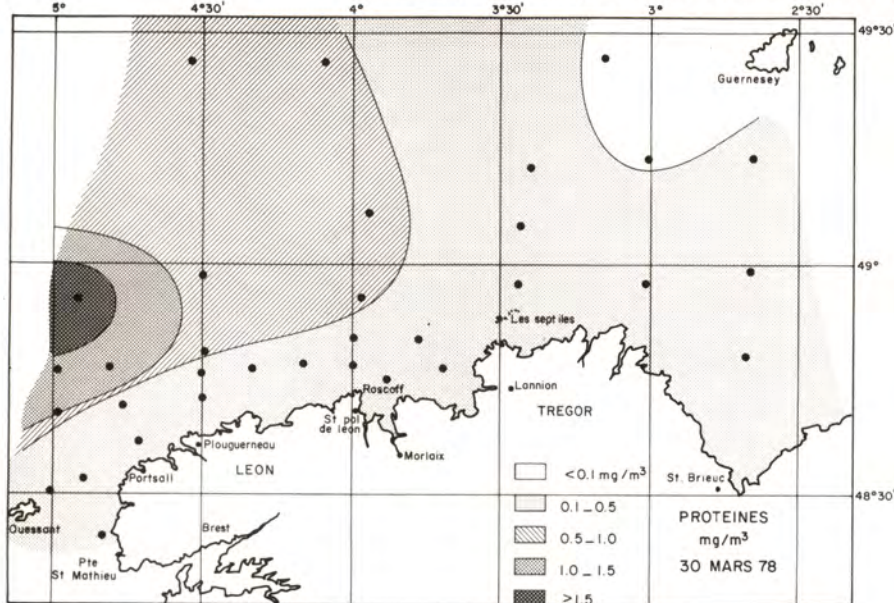


FIG. 2 : Le 30 Mars,
15 jours après l'échouage.

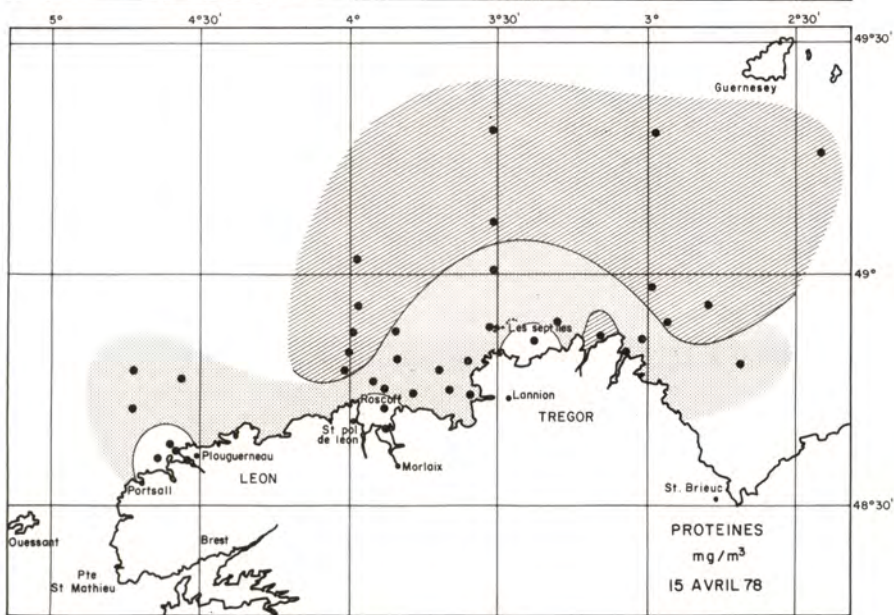


FIG. 3 : Le 15 Avril,
30 jours après l'échouage.

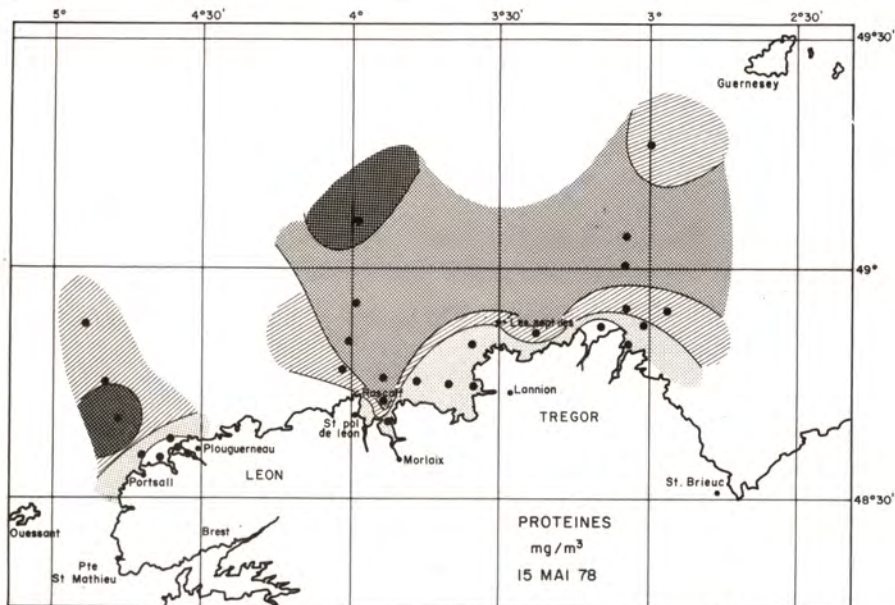


FIG. 4 : Le 15 Mai,
60 jours après l'échouage.

Après 1 mois, (fig. 3) la biomasse protéique au large (en moyenne $2,08 \text{ mg/m}^3$ ou 165 mg/m^2) n'est pas, globalement significativement différente des observations précédentes (test T), (tableau II). Cependant des variations compensées sont observées. Une chute importante des valeurs du large s'est produite à l'Ouest ainsi qu'une augmentation significative à l'Est, se traduisant par une inversion du gradient géographique. A la côte, la moyenne est de $1,0 \text{ mg/m}^3$ ($18,3 \text{ mg/m}^2$). Cette valeur peu élevée est la résultante de biomasses faibles dans les Abers ainsi qu'au fond de la Baie de Morlaix, et de valeurs plus importantes devant les côtes du Trégor (Jaudy, Trieux). La Baie de Lannion présente une situation proche de la moyenne.

Après deux mois, (fig. 4) la biomasse protéique moyenne à la côte atteint la valeur de $2,4 \text{ mg/m}^3$, traduisant une augmentation de plus de 100 % en un mois, qui approche même de 300 % si l'on prend en compte les valeurs intégrées (de $18,3$ à 70 mg/m^2). Au large, la moyenne passe de $2,08$ à $6,4 \text{ mg/m}^3$ ou de 165 à 597 mg/m^2 , soit une progression de plus de 200 %.

L'examen dans le détail de ces variations montre qu'au large une augmentation très importante est enregistrée à une vingtaine de milles de Roscoff, avec des valeurs maximales de 16 mg/m^3 et une autre à l'Ouest à cinq milles devant Portsall, avec un maximum de 8 mg/m^3 . Ces zones de forte biomasse présentent des prolongements vers la côte expliquant la situation observée dans le secteur littoral, où les plus fortes progressions s'observent précisément au Nord de la Baie de Morlaix et à la station du Libenter au large de l'Aber Wrach. Par contre, on constate une certaine stagnation des biomasses dans les secteurs abrités tels que les abers et l'entrée du Jaudy. Le fond de la Baie de Morlaix et la Baie de Lannion présentent cependant une légère amélioration.

Des données de biomasse en poids sec sont par ailleurs disponibles pour un secteur étendu des côtes de Bretagne occidentale ; à partir de début avril 1978 pour la Baie de Concarneau et la Rade de Brest, de début mai pour la Baie d'Audierne et les environs du Conquet. A la mi-avril, on observe des valeurs proches de 80 mg/m^3 en Baie de Concarneau, la moyenne en Rade de Brest étant voisine de 40 mg/m^3 . Dans le secteur Nord-Bretagne à la même époque (1 mois après l'accident) la moyenne des valeurs aux stations du large est de $12,7 \text{ mg/m}^3$ et celle des stations côtières proche de 10 mg/m^3 (fig. 5). En valeurs intégrées, cependant, l'écart est un peu moins important, avec 145 mg/m^2 environ pour l'ensemble des stations côtières Nord-Bretagne contre des moyennes de l'ordre de 500 mg/m^2 pour la Rade de Brest et la Baie de Concarneau.

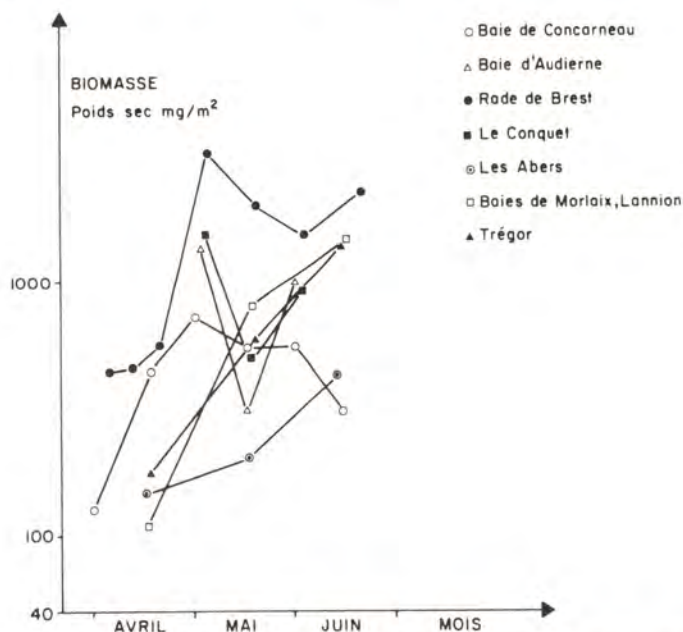


FIG. 5 : Evolution des biomasses (mg poids sec/m²) d'avril à juin sur les côtes de Bretagne.

Un mois plus tard, la moyenne des stations côtières est d'environ 20 mg/m^3 pour le Nord de la Bretagne, contre 50 mg/m^3 pour l'ensemble des autres secteurs, où les extrêmes se situent en Rade de Brest (moyenne d'environ 80 mg/m^3) et en Baie d'Audierne (20 mg/m^3). En valeurs intégrées, les différentes zones géographiques s'individualisent mal, à l'exception d'une moyenne particulièrement basse (200 mg/m^2) pour l'ensemble des quatre stations des Abers et d'une moyenne particulièrement élevée (2000 mg/m^2) pour la Rade de Brest. Les moyennes des autres secteurs (Baie de Concarneau, environs du Conquet, ensemble Baie de Morlaix - Baie de Lannion, Trégor) s'échelonnent entre 500 et 800 mg/m^2 , avec une valeur un peu plus faible en Baie d'Audierne (300 mg/m^2).

A une échelle géographique plus détaillée, enfin, l'Aber Benoît, très gravement pollué 12 jours après l'échouage, hébergeait encore une quantité notable de zooplancton. Après 20 jours, les organismes étaient devenus très rares et cet état est resté stationnaire après 70 jours. Pendant la même période se développait une poussée importante de zooplancton en Rade de Brest (fig. 6).

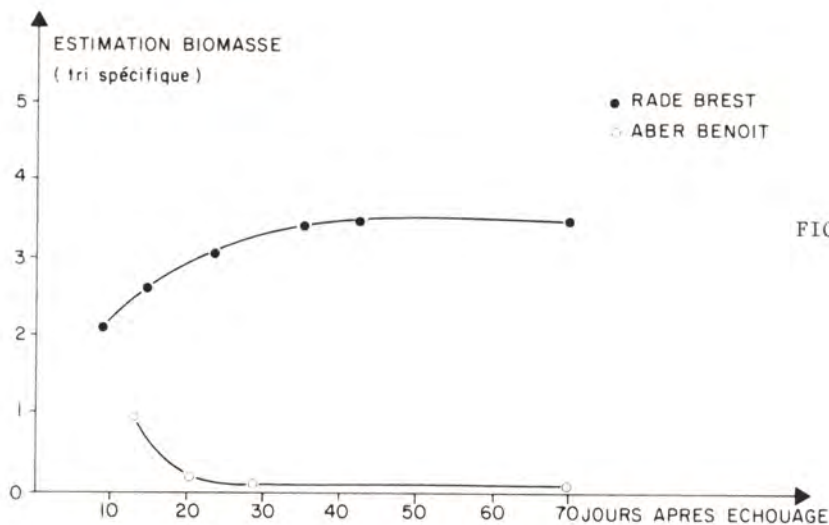


FIG. 6 : Evolution des biomasses dans l'Aber Benoît et la rade de Brest pendant les 2 premiers mois après l'échouage.

Evolution de la charge particulaire

Une très forte charge particulaire est apparue après l'accident dans la région des abers. Elle présentait à la fois l'aspect de débris végétaux, animaux et de particules minérales mazoutées. Cette charge a évolué fortement pendant la période considérée. Un maximum de débris d'algues de l'ordre du mm^2 est apparu après un mois. Ces débris se sont affinés progressivement jusqu'à l'obtention d'une suspension boueuse chargée en pétrole, en particules minérales et à forte odeur de décomposition.

Evolution de la physiologie

Les résultats obtenus portent sur les taux d'activité de l'amylase et de la trypsine. Des essais de détection en laboratoire des perturbations physiologiques induites chez *Artemia salina* par du cuivre et du zinc ont en effet montré que la synthèse des enzymes digestives se trouvait bloquée ou même réprimée chez les individus intoxiqués (ALAYSE et al, 1978). La détection de l'effet des hydrocarbures sur le zooplancton a été ici recherchée dans le milieu naturel selon le même principe.

Pendant la période de mars à mai, la moyenne générale de l'activité de la trypsine a augmenté de façon continue (tableau III).

	MARS	AVRIL	MAI
Large	8.3	11.9	13.0
Côte		9.6	11.0

Significativité des différences :

- Mars à Avril (Large) : significatif
- Avril à Mai (Large) : non significatif
- Mars à Mai (Large) : non significatif
- Avril à Mai (Côte) : non significatif
- Mars à Mai (Côte) : non significatif

TABLEAU III : Evolution de l'activité spécifique moyenne de la trypsine après l'échouage de l'AMOCO-CADIZ. Période de mars à mai 1978, zone Bretagne Nord. Significativité au seuil de 5% (test T).

DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DE L'ACTIVITE SPECIFIQUE
DE LA TRYPSINE (U/mg) DES POPULATIONS DE ZOOPLANCTON

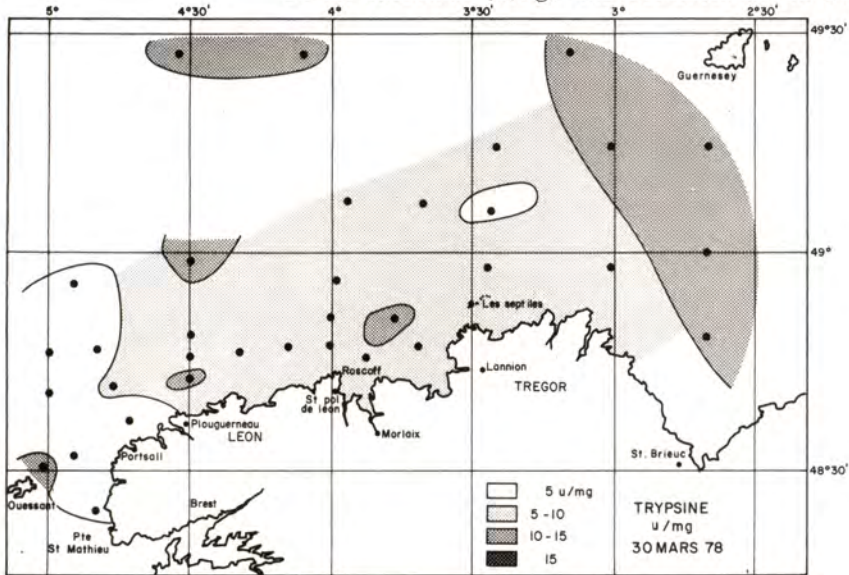


FIG. 7 : Le 30 Mars,
15 jours après l'échouage.

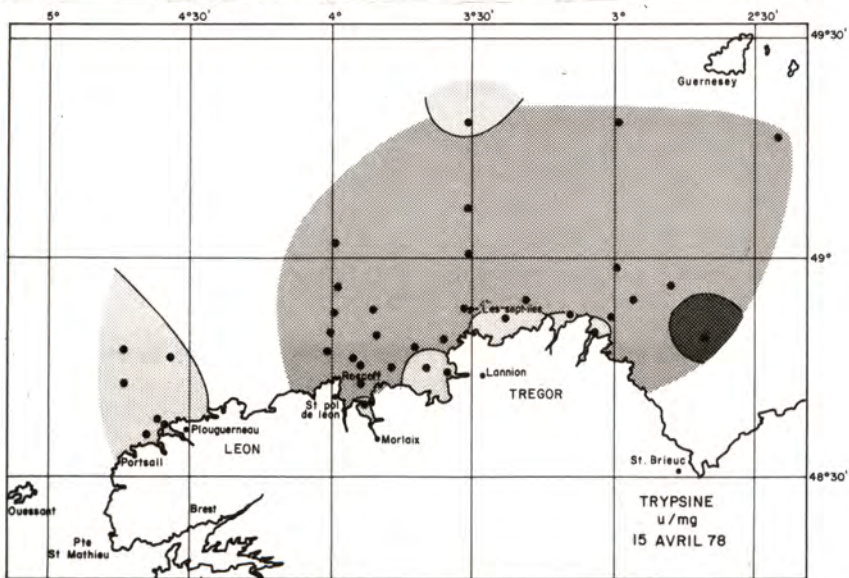


FIG. 8 : Le 15 Avril,
30 jours après l'échouage.

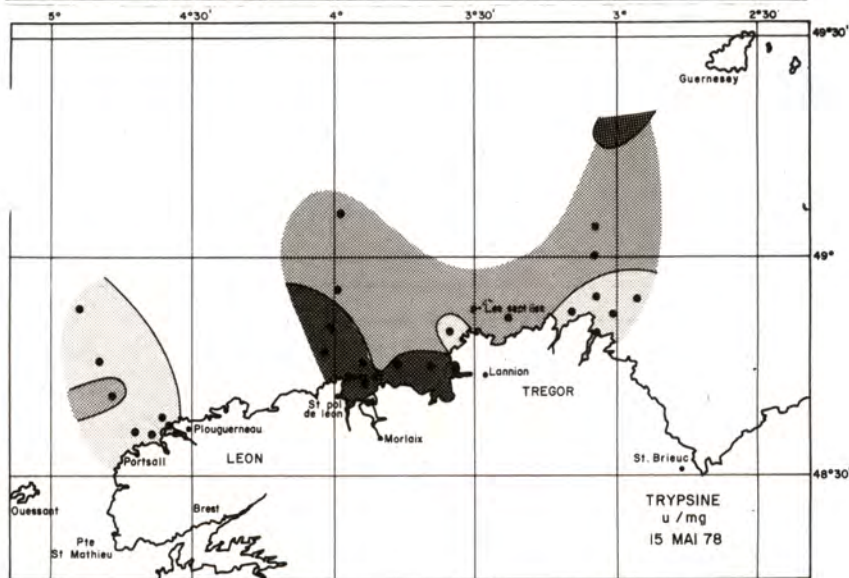


FIG. 9 : Le 15 Mai,
60 jours après l'échouage.

Au large, la moyenne de l'activité trypsique, de 8,3 U/mg 15 jours après l'échouage, est établie selon un gradient décroissant régulièrement d'Est en Ouest (fig. 7). Après un mois (fig. 8), l'activité trypsique moyenne a augmenté significativement (test T) et atteint les valeurs de 11,9 U/mg au large et 9,6 U/mg à la côte. Cette augmentation est marquée à l'Est et reste faible, voire inexistante à l'Ouest et dans le fond des baies. Après deux mois (fig. 9), l'amélioration de l'activité trypsique du zooplancton côtier s'est encore accentuée (moyenne 11 U/mg), essentiellement par une augmentation significative dans les baies de Morlaix et de Lannion, ainsi qu'au Nord de Roscoff. La situation reste par contre stationnaire dans les abers et certains secteurs de la côte du Trégor : large de Trégastel, estuaires du Jaudy et du Trieux.

La régulation, par les facteurs trophiques, des taux d'activité s'effectue indépendamment pour l'amylase ou pour la trypsine. La corrélation observée entre les activités spécifiques de l'amylase et de la trypsine pour les campagnes du premier mois correspond à une augmentation générale des taux d'activités cellulaires du mois de mars au mois de mai. Elle traduirait plus particulièrement l'évolution de l'état physiologique des organismes (fig. 10). Cette analyse est confirmée pour les observations effectuées sur les espèces : pour un même rapport A/T, les taux de trypsine chez *Temora longicornis* donnent pour l'Aber Benoît des valeurs significativement inférieures à celles mesurées en Rade de Brest à la même époque (tableau IV).

<i>Temora longicornis</i>	Rade de Brest	Aber Benoît	Signification
Trypsine (U/mg)	$\bar{M} = 11.2$	$\bar{M} = 7.8$	Différence significative.
Amysale/Trypsine	$\bar{M} = 4 \times 10^{-2}$	$\bar{M} = 4 \times 10^{-2}$	Différence non significative

TABLEAU IV : Activité spécifique de l'amylase et de la trypsine de la rade de Brest et de l'Aber Benoît - Significativité au seuil de 5% (test T).

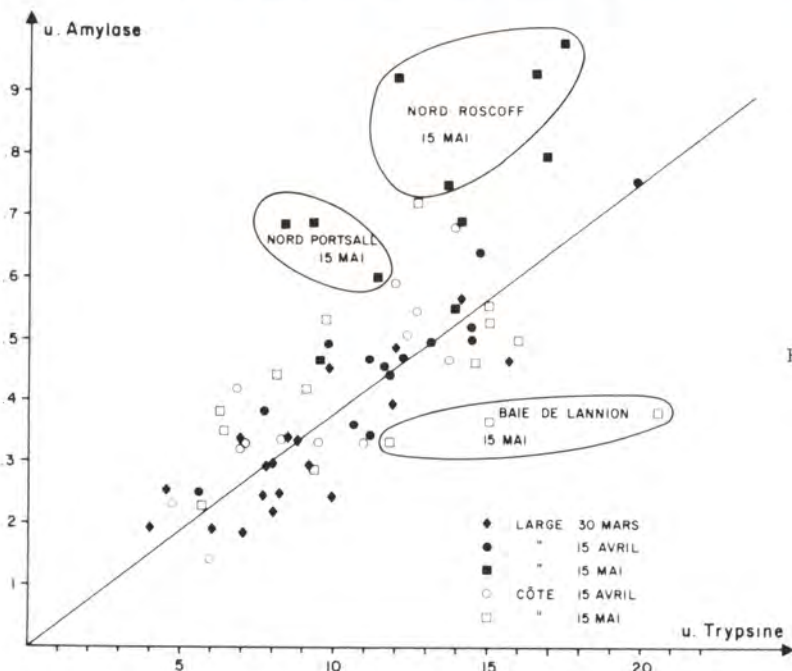


FIG. 10 : Corrélation entre l'activité spécifique de l'amylase et de la trypsine pendant les deux premiers mois après l'échouage 16 mars - 15 mai.

Au cours du deuxième mois, la corrélation n'existe plus pour les zones productives (au Nord de Roscoff et à 5 milles devant Portsall) et le rapport A/T augmente. De même, dans la Baie de Lannion, les valeurs s'écartent de la loi de corrélation, mais avec un rapport A/T plus faible.

Evolution de la composition faunistique

Seule une faible partie des données est disponible. Il manque encore en particulier celles des campagnes du large et celles de la Rade de Brest ou du Sud-Bretagne, qui pourraient servir d'éléments de comparaison. Pour les campagnes côtières Nord-Bretagne (Thalia et Pluteus II), le dépouillement a été limité aux prélèvements verticaux effectués au filet WP 2 à maille de 200 µ et à cinq stations par campagne, considérées chacune comme représentative d'un secteur géographique : abers (station du Libenter), Baie de Morlaix (Pot de Fer), Baie de Lannion (Beg Leguer), Sept Iles (Nord de l'Île Tomé) et estuaire du Trieux (station médiane). Le comptage a été en principe limité à une petite fraction (1/100 ou 1/50) de l'échantillon, mais certains d'entre eux, particulièrement pauvres, ont dû faire l'objet d'un comptage total (fraction 1/2, compte tenu du partage du matériel entre analyses taxonomiques et biochimiques). Les résultats sont donnés dans les tableaux V à VII, en nombre d'individus par mètre carré et en nombre d'individus pour 10 m³. Ne figurent que les résultats des principaux taxons, d'autres formes ayant été observées, mais avec des abondances trop faibles pour que la méthode employée permette de les évaluer. Les chiffres entre parenthèses ont été calculés à partir du comptage de moins de 10 individus et sont donnés pour mémoire. Les chiffres soulignés, en revanche, correspondent au dénombrement de 100 individus au moins. Cette distinction bien entendu, ne concerne pas les échantillons soumis au comptage total (F : 2).

STATION → FRACTIONNEMENT → TAXON +	Libenter		Pot de Fer		Beg Leguer		Nord Tomé		Trieux	
	2		12.5*		2		2		50	
	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³
<i>Noctiluca scintillans</i>	16	13	20 000	8 900	370	490	1 800	1 430	-	-
Leptoméduses	-	-	450	200	630	840	72	58	(600)	(220)
L. Gastéropodes	88	-	600	270	710	950	890	710	(1 200)	(440)
L. Polychètes	24	19	1 200	530	16	21	56	45	2 200	800
L. Cirripèdes	1 856	1 485	5 250	2 300	11 140	14 860	1 250	1 000	9 600	3 500
L. Décapodes	128	102	(150)	(67)	56	75	64	51	-	-
<i>Calanus helgolandicus</i>	16	13	(300)	(130)	110	150	120	96	-	-
Paracalanus + <i>Pseudocalanus</i>	256	205	4 800	2 100			470	380	6 800	2 500
<i>Temora longicornis</i>	120	96	4 050	1 800	660	875	910	730	(400)	(145)
<i>Centropages hamatus</i>	-	-	+	+	-	-	80	64	(400)	(145)
<i>Acartia clausi</i>	120	96	(150)	(67)	-	-	260	205	(1 000)	(360)
<i>Acartia discaudata</i>	-	-	-	-	240	320	-	-	-	-
TOTAL COPEPODES	696	557	9 900	4 400	1 500	2 000	2 020	1 620	9 400	3 400
Appendiculaires	+	+	(250)	(111)	64	85	170	130	2 000	730

TABLEAU V : AVRIL 1978 - Abondance des principales formes du zooplancton à cinq stations côtières du secteur Nord-Bretagne à la campagne THALIA I. Le signe + indique la présence d'un seul spécimen dans la fraction d'échantillon soumise au comptage. Le signe - indique que la forme en question n'a pas été observée dans la fraction. Station du Pot de Fer, *Noctiluca scintillans* a été compté dans 1/50 d'échantillon seulement (*).

STATION →	Libenter		Pot de Fer		Beg Leguer		Nord Tomé		Trieux	
	50		50		12.5*		50		50	
	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³
<i>Noctiluca scintillans</i>	-	-	(800)	(270)	23 600	23 600	-	-	-	-
Leptoméduses	-	-	3 200	1 100	950	950	(1 200)	(320)	(400)	(160)
L. Gastéropodes	-	-	(200)	(67)	600	600	(600)	(160)	(400)	(160)
L. Polychètes	-	-	-	-	(300)	(300)	(300)	-	-	-
L. Cirripèdes	-	-	(1 000)	(330)	4 400	4 400	(400)	(105)	-	-
L. Décapodes	(1 000)	(435)	-	-	-	-	(800)	(211)	(400)	(160)
<i>Calanus helgolandicus</i>	-	-	(400)	(130)	-	-	(400)	(105)	-	-
<i>Paracalanus</i> + <i>Pseudocalanus</i>	9 800	4 300	20 400	6 800	5 250	5 250	15 600	4 100	8 000	3 200
<i>Temora longicornis</i>	(400)	(170)	19 200	6 400	2 800	2 800	11 200	2 950	1 600	640
<i>Centropages hamatus</i>	(200)	(90)	(1 000)	(330)	(50)	(50)	6 000	1 580	2 400	960
<i>Centropages typicus</i>	-	-	-	(1 200)	(400)	-	-	-	-	-
<i>Acartia clausi</i>	2 600	1 100	(1 000)	(330)	-	-	5 000	1 300	5 400	2 200
<i>Acartia discaudata</i>	-	-	-	-	(200)	(200)	-	-	-	-
TOTAL COPEPODES	13 600	5 900	43 800	14 600	8 350	8 350	38 800	10 200	18 400	7 400
Appendiculaires	-	-	(1 600)	(530)	6 250	6 250	3 400	895	1 400	560

TABLEAU VI : MAI 1978 - Abondance des principales formes du zooplancton à cinq stations côtières du secteur Nord-Bretagne à la campagne Pluteus II. Symboles identiques à ceux du tableau V. * Comptage de *Noctiluca scintillans* dans 1/50 à la station de Beg Leguer.

STATION →	Libenter		Pot de Fer		Beg Leguer		Nord Tomé		Trieux	
	50		50		12.5*		RO		50	
	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³	N/m ²	N/10m ³
<i>Noctiluca scintillans</i>	-	-	-	-	18 800	15 000	-	-	-	-
Leptoméduses	-	-	(1 600)	(430)	10 000	8 000	(800)	(190)	(1 600)	(530)
L. Gastéropodes	-	-	(1 600)	(430)	6 800	5 400	4 400	1 000	(3 600)	(1 200)
L. Polychètes	-	-	-	-	(400)	(320)	(1 600)	(380)	(400)	(130)
<i>Evaëne nordmanni</i>	(800)	(360)	(1 600)	(430)	55 000	24 000	(400)	(94)	(800)	(270)
L. Cirripèdes	(3 600)	(1 600)	(2 000)	(530)	19 800	15 800	(2 400)	(565)	20 000	6 700
L. Décapodes	-	-	(3 200)	(850)	(200)	(160)	(1 600)	(380)	(2 800)	(930)
<i>Calanus helgolandicus</i>	(800)	(360)	(1 600)	(430)	(400)	(320)	(400)	(94)	-	-
<i>Paracalanus</i> + <i>Pseudocalanus</i>	18 400	8 200	29 600	7 900	22 400	17 900	14 000	3 300	11 600	3 900
<i>Temora longicornis</i>	(400)	(180)	21 200	5 650	43 600	34 900	4 000	940	(2 800)	(930)
<i>Centropages hamatus</i>	(800)	(360)	5 600	1 500	(1 200)	(960)	9 600	2 260	23 200	7 700
<i>Acartia clausi</i>	6 800	3 000	(2 400)	(640)	9 200	7 400	76 000	17 900	110 400	36 800
<i>Acartia discaudata</i>	-	-	-	-	11 600	9 200	-	-	-	-
TOTAL COPEPODES	31 600	14 000	64 800	17 300	90 800	72 600	106 400	25 000	112 400	37 500
Appendiculaires	(2 400)	(1 100)	8 400	2 200	7 200	5 800	9 600	2 260	18 800	6 300

TABLEAU VII : JUIN 1978 - Abondance des principales formes du zooplancton à cinq stations côtières du secteur Nord-Bretagne à la campagne THALIA 3. Symboles identiques à ceux du tableau V.

Pour la majorité des organismes, on observe d'avril à juin une très nette augmentation d'abondance, que traduit bien, globalement, l'effectif total des Copépodes. En avril, les abondances sont comprises entre 1 000 et 5 000 individus pour 10 m³, à l'exception d'une valeur particulièrement basse devant les abers. Cet échantillon contient davantage de débris que d'animaux capturés vivants. Une décroissance d'Est en Ouest semble se dessiner en ce qui concerne les estuaires et les fonds de baies. Un mois plus tard, les valeurs ont toutes franchi le seuil de 5 000 individus pour 10 m³ ; ces valeurs intégrées ne font pas apparaître de différence entre les estuaires : le Trieux, qui hébergeait en avril 13 fois plus de Copépodes que l'entrée des abers a des effectifs multipliés par un facteur 2, contre un facteur 20 à la station de Libenter, les biomasses des deux secteurs deviennent alors sensiblement identiques. Deux maxima proches de 40 000 ind./m² sont observés aux stations du Pot de Fer et des Sept Iles. En juin, l'augmentation des effectifs globaux se poursuit avec des valeurs intégrées dépassant dans certains cas 100 000 ind./m² ; à cette époque, on observe un gradient modéré (de 1 à un peu plus de 3) et régulier décroissant d'Est en Ouest.

L'examen de la composition faunistique permet d'affiner sur le plan géographique ces constatations globales. Un petit nombre de formes contribuent, inégalement selon les secteurs, aux fortes abondances de Copépodes. Ce sont *Acartia*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis* et l'ensemble *Paracalanus* + Pseudocalanidae, constitué d'une très grande majorité de *Pseudocalanus minutus*. La station de Beg Leguer se distingue des autres par la présence d'*Acartia discaudata*, d'abord seul représentant du genre, puis associé à *Acartia clausi*. Ceci traduit un effet de dessalure, marqué en avril-mai, plus atténué en juin, lié à la proximité de la rivière de Lannion. Cette station est en outre caractérisée par la très forte abondance en mai-juin de *Noctiluca scintillans*, en juin d'*Evadne nordmanni*. Ces caractéristiques faunistiques se retrouvent de façon moins marquée en s'éloignant de la rivière vers l'Ouest de la baie de Lannion.

Cette distribution, compte tenu des caractéristiques écologiques de ces espèces, traduit une frontière hydrologique marquant la limite d'un effet de dessalure, en deçà duquel l'écosystème du fond de la baie de Lannion évolue de manière isolée (Lefèvre et Grall, 1970 ; Lefèvre, 1978).

Temora longicornis, *Paracalanus* et Pseudocalanidae sont responsables des fortes abondances de Copépodes au Pot de Fer en avril et mai et aux Sept Iles en mai.

En avril, le Trieux s'individualise par une dominance de *Pseudocalanus minutus*. A la campagne suivante, les effectifs de cette espèce restent stationnaires, tandis qu'ils suivent ailleurs l'augmentation du total des Copépodes. En juin, *Centropages hamatus* et surtout *Acartia clausi* lui succèdent. Les effectifs de la seconde espèce sont supérieurs d'un ordre de grandeur aux valeurs des stations les plus occidentales. A cette époque, cependant la différence s'atténue entre le Trieux et les Sept Iles, stations où les compositions faunistiques sont assez voisines.

DISCUSSION

La comparaison des deux méthodes de détermination de la biomasse permet de mettre en évidence, peu après l'échouage, des anomalies dans les valeurs de poids sec à la côte. En effet, une très forte charge particulière a été observée le premier mois, particulièrement dans la zone de Portsall. Cette anomalie est due à la présence abondante des débris organiques et de sédiment mazouté. Les fortes tempêtes qui ont suivi l'accident ont mis en suspension une grande quantité de matériel particulière. La densité d'une partie de la fraction minérale de cette charge particulière a été abaissée après contamination par les hydrocarbures. Le matériel résultant a ensuite dérivé avec les masses d'eau. Devant Portsall, en l'espace de quatre jours, la localisation des valeurs aberrantes de poids sec (225 mg/m³) s'est déplacée d'une dizaine de milles vers l'Est (48 mg/m³). Les observations effectuées dans l'Aber Benoît confirment cette interprétation. En effet, les prélèvements au filet 200 µ se sont révélés dépourvus de sédiment trois mois après l'échouage.

Tenant compte de ces observations, l'évolution des biomasses côtières est analysée à partir des teneurs protéiques. Cependant, les valeurs moyennes de poids sec permettent la comparaison avec les données obtenues à la même époque dans d'autres secteurs géographiques (Ouest et Sud Bretagne). Cette comparaison montre que pendant deux mois, l'ensemble des valeurs de biomasse de la côte Nord est inférieur de 5 à 6 fois à celles enregistrées au Sud de la Pointe St Mathieu. En valeurs intégrées par mètre carré, l'écart est plus faible, mais reste cependant important (de 1 à 3 environ). Il serait tentant de rechercher une explication climatique à cette situation, mais les données de températures moyennes sont pratiquement identiques au Nord et au Sud de la Bretagne en avril. A cette époque, l'écart de biomasses est maximum, il s'atténue en mai et surtout en juin, quand s'établit un gradient géographique de température, avec un retard d'environ 1 degré pour la côte Nord. Dans l'état actuel du dépouillement, il n'est pas possible de proposer une explication définitive de ce résultat, qui peut tenir aux effets éventuels des hydrocarbures. En raison de la saison de l'échouage, l'impact du pétrole sur le milieu vivant a été recherché, plus par l'analyse du processus de la poussée printanière, que par celle des valeurs absolues.

A l'intérieur de l'Aber Benoît, situé à proximité immédiate de l'épave, et qui a été contaminé très rapidement par d'importantes quantités d'hydrocarbures, les observations montrent que la toxicité sur le zooplancton ne s'est pas manifestée immédiatement ; l'ensemble des organismes a disparu en vingt jours. La présence de nombreux débris animaux permet de conclure à une mortalité importante. De plus, chez *Temora longicornis*, les valeurs très basses d'activité trypsique et amylasiques des individus survivants, traduisent un faible niveau métabolique, donc un état physiologique précaire.

Au large, la situation observée après les quinze premiers jours paraît correspondre aux conditions hydrologiques. En effet, un gradient de température décroissant d'Ouest en Est coïncide avec un gradient analogue de chlorophylle et un maximum de biomasses à l'Ouest (fig. 1). Après un mois, au large, le gradient de température de surface s'est modifié et on observe un refroidissement moyen de l'ordre de 0,5° C par déplacement vers l'Ouest de l'isotherme 9,5° C. De même le gradient de chlorophylle s'étire vers l'Ouest où les concentrations baissent sensiblement. A la côte, la situation évolue peu et se caractérise par des températures de l'ordre de 9,5° C et des concentrations de chlorophylle allant jusqu'à 3mg/m³ au débouché de la baie de Morlaix (Aminot et al., 1978). A l'Est, une sursaturation en oxygène dissous pourrait témoigner d'un développement de phytoplancton trop fugace pour être mis en évidence par mesure directe.

Il reste à examiner si ces conditions sont également en mesure de rendre compte de la chute des biomasses à l'Ouest et du déficit à la côte, où les perturbations hydrologiques ont été faibles. Le déficit de biomasse constaté provient essentiellement de zones particulièrement pauvres comme les abers, les baies de Morlaix et Lannion. Les valeurs de la région du Trégor, à l'exception de la station située au Nord de l'Ile Tomé, sont proches de celles enregistrées au large. L'observation des échantillons permet de mettre en cause l'effet du pétrole. En effet, le zooplancton des prélèvements les plus pauvres présente un aspect dépigmenté et de nombreux débris d'organismes. Le nombre de ces cadavres plus ou moins détériorés peut, dans certains cas, être supérieur à celui des animaux capturés vivants. Par contre, les stations du Trégor et celle du Pot de Fer au débouché de la baie de Morlaix présentent dans l'ensemble un aspect normal et des valeurs de biomasse comparables à celles du large. Ces zones semblent avoir échappé à une contamination directe. Les seules conditions hydrologiques ne permettent pas d'expliquer davantage la chute de biomasse de la région Ouest. En effet, à l'Est, où les conditions de température et les concentrations de chlorophylle sont moins favorables, la poussée printanière du zooplancton se développe plus rapidement et les taux des activités physiologiques des organismes sont élevés.

L'analyse globale des activités métaboliques traduites par les enzymes digestives permet de mettre en évidence une augmentation continue des taux de trypsine pendant la période de mars à mai. La distribution géographique de ces taux d'activité métabolique montre que les plus faibles valeurs rencontrées pendant les quinze premiers jours sont observées dans des secteurs qui se révéleront être les moins productifs pendant la période suivante : secteur Ouest, abers, baies de Morlaix et Lannion. Les faibles taux d'activité physiologique accompagnant une chute de production en quinze jours dans le secteur Ouest pourraient résulter en partie de l'effet des fortes teneurs en hydrocarbures mesurées à cette époque (Marchand et al., 1978).

Deux mois après l'échouage, les biomasses protéiques moyennes du large et de la côte ont augmenté, mais le déficit côtier reste très marqué ($6,4 \text{ mg/m}^3$ au large, $2,4 \text{ mg/m}^3$ à la côte, soit un écart de près de 1 à 3 que la prise en considération des valeurs intégrées accentuerait encore). L'amélioration de la situation côtière résulte de l'extension des poussées enregistrées au large. Les zones non productives restent les fonds des abers et des estuaires, tandis que la situation est à peine améliorée dans la frange très côtière, en baie de Lannion et dans la région du Trieux. Les taux d'activité trypsique confirment le retard de l'évolution dans les abers, les fonds de baie et le Trieux. Par contre, leur très forte progression en baie de Morlaix traduirait une augmentation du niveau physiologique. En effet, une régulation générale du métabolisme affecte tous les paramètres cellulaires qui varient alors corrélativement (fig. 10). Par contre, la régulation de chaque enzyme digestive par la nutrition est indépendante et varie selon les espèces (Samain et al., 1975). Dans ce cas les deux enzymes ne sont pas corrélées et seules des observations faunistiques permettent de dégager la part des effets trophiques du changement de populations. Ceci est observé en Baie de Lannion, comme dans les zones productives (Nord Roscoff et Nord Portsall) où les activités des deux enzymes n'obéissent plus à la loi de corrélation précédente. La baie de Lannion se distingue par un rapport Amylase/Trypsine faible contrôlé essentiellement par une augmentation de la Trypsine. De même, les zones productives se distinguent avec un rapport A/T plus élevé. Les caractéristiques particulières de la faune de la baie de Lannion pourraient expliquer ces résultats confirmant l'évolution particulière de cet écosystème. Il reste à savoir si elles traduisent une situation normale dans un milieu partiellement isolé et soumis à dessalure, ou bien une perturbation dont l'origine pourrait être recherchée dans l'accumulation d'hydrocarbures dans les sédiments de cette baie. Des caractéristiques similaires se dégagent de l'analyse des populations. De même les stations côtières qui se rattachent aux zones productives du large semblent se caractériser par une augmentation plus précoce de *Temora longicornis*, tandis que pour les autres, sauf en baie de Lannion, la poussée des Copépodes paraît essentiellement due à *Pseudocalanus minutus* et *Acartia clausi*. Une étude plus détaillée des activités enzymatiques des espèces composant ces populations permettra de faire la part de l'influence de ces variations de composition faunistique de celle des régulations trophiques.

CONCLUSION

Les données recueillies sur les biomasses zooplanctoniques et la physiologie des organismes pendant les deux mois suivant l'échouage de l'Amoco Cadiz, complétées par les premiers éléments faunistiques du troisième mois permettent de mettre en évidence un retard de la poussée printanière de zooplancton, qui revêt une ampleur inégale dans les différentes zones géographiques touchées.

Les zones les moins productives sont, d'une manière générale, les estuaires et les fonds de baie, mais la situation varie dans le détail. Dans le Trieux, peu touché par l'arrivée directe des hydrocarbures, l'abondance initiale du zooplancton est relativement élevée, mais ce secteur connaît ensuite une évolution lente avec de faibles taux d'activités physiologiques, l'origine de ce phénomène restant à déterminer. En baie de Morlaix, au contraire, à une situation initiale de grande pauvreté du zooplancton, succède une phase productive d'autant mieux caractérisée qu'on s'éloigne de la côte. Cette évolution contraste avec celle de la baie de Lannion, qui se distingue par un certain retard et une évolution autonome. Seules des données chimiques complémentaires et une étude poursuivie sur des cycles annuels à venir permettront de définir la causalité de ce phénomène. Dans les parages des abers, enfin, le déficit de biomasse est important et durable. Il s'accompagne d'un niveau physiologique faible. Ces résultats ne font que confirmer les observations plus détaillées effectuées à l'intérieur de l'Aber Benoît, et traduisent un effet direct et prolongé du pétrole.

Au large, la chute de production, constatée surtout à l'ouest, pourrait correspondre à une extension des effets observés à la côte, sans qu'on puisse exclure un mécanisme totalement indépendant de la pollution, par exemple le résultat d'une chute de température. Cependant, la comparaison de la situation dans les différents estuaires, ainsi que celle de la côte nord et des côtes ouest et sud de Bretagne permettent d'exclure que les conditions météorologiques soient seules en cause.

L'état de traitement encore partiel des données ne permet pas d'interpréter plus avant les phénomènes. Faire la part des facteurs climatiques et des effets de la pollution, comme évaluer précisément l'ampleur du déficit, implique une comparaison avec des cycles annuels témoins. Les données antérieures susceptibles de servir de référence sont limitées, en ce qui concerne le zooplancton, à des analyses taxonomiques, qualitatives et quantitatives. Pour les biomasses, comme pour les indices physiologiques, des références ne pourront être établies que par l'étude de cycles annuels à venir.

REMERCIEMENTS

Nous remercions pour leur participation à ce travail, C. RAZOULS, J.R. GRALL, J.P. BERGERON, J.R. LE COZ, M. JEZEQUEL et F. QUINIOU.

BIBLIOGRAPHIE

- ALAYSE-DANET, A.M., J.L. CHARLOU, M. JEZEQUEL, J.F. SAMAIN. -1978- Modèle de détection rapide des effets sublétaux des polluants : Modification des taux d'amylase et de trypsine d'*Artemia salina* L. contaminées par le cuivre ou le zinc. Marine Biology, sous presse.
- AMINOT, A., R. KEROUEL. -1978- Premiers résultats sur l'hydrologie, l'oxygène dissous et les pigments photosynthétiques en Manche occidentale après l'échouage de l'Amoco Cadiz. Actes de Colloques, CNEXO (même volume)
- BOUCHER, J., A. LAUREC, J.F. SAMAIN, S.L. SMITH. -1975- Etude de la nutrition, du régime et du rythme alimentaire du zooplancton dans les conditions naturelles, par la mesure des activités enzymatiques digestives. 10th European Symposium on Marine Biology, Ostend, Belgium, sept. 17-23, 1975, vol. 2 : 85-110.
- LE FEVRE, J., J.R. GRALL. -1970- On the relationships of *Noctiluca* swarming off the western coast of Brittany with hydrological features and plankton characteristics of the environment. J. exp. mar. Biol. Ecol., 4 : 287-306.
- LE FEVRE, J. -1978- A propos des phénomènes d'eau rouge : mise en évidence de quelques facteurs contributifs. Congrès de l'Union des Océanographes de France, Brest, janvier 1978.
- MARCHAND, M. -1978- Estimation par spectrofluométrie des concentrations d'hydrocarbures dans l'eau de mer en Manche occidentale à la suite du naufrage de l'AMOCO CADIZ du 30 Mars au 18 Avril 1978. Actes de Colloques, CNEXO (même volume).
- SAMAIN, J.F., J. BOUCHER, D. BUESTEL, M.M. BORNE, J.R. LE COZ. -1975- Signification biologique des teneurs protéiques et des activités de l'amylase et des protéases chez *Artemia salina* L. Aspects d'application à l'étude de la nutrition. 10th European Symposium on Marine Biology, Ostend, Belgium, sept. 17-23, 1975, vol. 1 : 391-417.
- SAMAIN, J.F., J.Y. DANIEL, J.R. LE COZ. -1977- Trypsine, amylase et protéines du zooplancton : Dosage automatique et manuel. J. exp. mar. Biol. Ecol., vol. 29 : 279-289.

PRELIMINARY RESULTS FROM POLUMAR III (April 13-18 1978)
(SUROIT III) ATP, PRIMARY PRODUCTION AND RESPIRATION RATES IN SESTON ;
RESPIRATION RATES IN ZOOPLANKTON
Complément à la Communication du Groupe Ecophysiologie du
Centre Océanologique de Bretagne
(SAMAIN et al.)

By

P. HENDRIKSON, H. J. HIRCHE and U. JUNGHANS,
Institut für Meereskunde KIEL, FRG

R E S U M E

Des mesures de l'ATP, de la production primaire et des taux respiratoires du seston, des taux respiratoires du zooplancton ont été effectuées après le naufrage de l'"AMOCO CADIZ". La production primaire moyenne est du même ordre de grandeur que dans la situation normale. La vitesse de photosynthèse est inférieure à la station proche de l'"AMOCO CADIZ" comparativement à toutes les autres stations. Les taux respiratoires sont curieusement élevés en surface. La concentration en ATP est homogène sur la zone, les taux respiratoires du zooplancton concordent avec les observations effectuées dans l'upwelling péruvien ou sur des cultures de copépodes. Un traitement plus détaillé des données est nécessaire avant d'en déduire des conclusions.

A B S T R A C T

ATP, primary production and respiration rates in seston, respiration rates in zooplankton have been investigated after the spill by "AMOCO CADIZ". Gross primary production seems to be similar to the normal situation. The rate of photosynthesis is lower at the "AMOCO CADIZ" station than at any of the others. Respiration rates are surprisingly high at the surface. ATP concentration exhibit an homogeneous pattern, zooplankton respiration are similar to the data obtained in Peruvian upwelled waters or in zooplankton culture. A more detailed computation of data will be necessary before concluding.

M O T S - C L E S : Plancton, Taux respiratoires, ATP, Production primaire, Pollution, AMOCO CADIZ.

K E Y - W O R D S : Plankton, Respiration rates, ATP, Primary production, Pollution, AMOCO CADIZ.

INTRODUCTION

The effects of crude oil pollutants on plankton organisms are not well understood. Therefore different ecophysiological methods have been applied in order to gain information on the activity of plankton, as defined by primary production and respiration rates of phyto and zooplankton. It was supposed that ecological stress, if present, would become evident when important metabolic processes are regarded.

1. MATERIAL AND METHODS

During POLUMAR III filter samples from stations along the Brittany coast (including stations close to the "AMOCO CADIZ" locality as well as some far off) were taken from different depth. Zooplankton was taken at the same stations with vertical net tows.

ATP from 0,5 ℓ of water, filtered over Whatman GF/C discs, was extracted on board ship (HOLM-HANSEN & BOOTH, 1966) and stored frozen. The samples were then thawed and measured according to KARL & LA ROCK (1975) using firefly extracts by SERVA-Heidelberg, FRG in a SAR-ATP-Photometer 2000.

Primary production was measured according to STRICKLAND et al. (1965) in a simulated in situ incubator, corresponding to 100 %, 50 % and 33 % light intensity as calculated from the Secchi depth. Incubations lasted a full or a half true sun day. Geiger-Müller counts were obtained from the carbon 14 Centralen, Hørsholm, Denmark.

Respiration rates were calculated from ETS-activity-estimations as described by OWENS & KING (1975). A factor of $R/ETS = 0,3$ was used to convert ETS-activity into oxygen uptake (own estimation by a Winkler method) of seston and from this carbon respired was calculated by $C = O_2 \times 0,43$ (assuming an average RQ of 0,81 (MULLIN & BROOKS, 1970)). Zooplankton respiration rates were expressed in $\mu l O_2 \text{ hr}^{-1} \text{ mg Protein}^{-1}$, applying a factor of $R/ETS = 0,5$ (OWENS & KING, 1975). No attempt was made to apply different factors for different species within the mixed zooplankton populations. Protein was estimated in the lab in COB, Brest according to SAMAIN, DANIEL, LE COZ (1977).

We thank J. BOUCHER of the Ecophysiological lab. at the C.O.B. for his kind invitation and for providing the protein data, and M. AMINOT for the CHL a measurements.

Table 1 : Station No.	Depth m	ATP ng ℓ^{-1}	Prim. Prod. mg C $m^{-3}d^{-1}$	Photos Rate mgC/ mg Chl a/hr	Resp. Rate %Prim. Prod.	Zooplankton spec. Resp $/\mu l O_2 hr^{-1} mgProt^{-1}$
18	0	105	3,7		190	17,5
19	0	61				14,7
	20	86				
	75	83				
21	0	105	21,5		24	20,0
	4	100	29,7	1,38	18	
	7	144	37,7	1,75	14	
	20	110				
	45	51				
22	0	329				44,7
	20	203				
	35	70				
23	0	313				
	10	335				
	20	350				
24	0	164				13,1
	20	145				
	55	197				
28	0	110				21,6
29	0	110				
30	0	114	5,7		54	18,1
	4	126	40,5	2,50	8	
	7	102	31,0	1,48	12	
	20	115				
	55	149				
31	0	326	25,0		20	
	20	280				
	40	129				
32	0	71				20,4
	20	56				
	55	22				
34	0	161				
	16	62				
	32	74				
35	0	32				
36	0	51				28,7
	35	45				
40	0	118				18,2
	55	32				
43	0	157	13,7		40	11,8
	4	183	15,3	1,42	32	
	7	243	20,2	2,40	32	
	75	130				
45	0	104	10,7		82	24,6
	4	254	25,8	0,80	28	
	7	206	31,9	0,91	38	
	20	595				
	33	221				
47	0	101				
	20	116				
	33	30				

2. RESULTS

Preliminary results are presented in table 1. Primary production was measured only on a few stations because of lack of time. Secchi depth values were very similar on all stations, close to 11 m. From this the euphotic depth may be calculated, reaching down to about 25 m. Therefore primary production may also be expressed in $\text{mgC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, assuming that the integrated value between 0 and 7 m stands for half the value which could potentially be obtained from the total euphotic layer (which would definitely be the upper limit of gross primary production). Thus gross primary production is computed to be $415 \text{ mgC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ off Roscoff (st. 21), $360 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in the Bay of Lannion (st. 30), $230 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in the middle of the English (st. 43) Channel, and $320 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in the vicinity of the "AMOCO CADIZ" (st. 45). The rate of photosynthesis is lower at the "AMOCO CADIZ" station than at any of the others ($0,85 \text{ mgC/mg Chl a /hr.}$). However, here Chl a reaches maximum values of $2,8 \text{ mg Chl a m}^{-3}$. Since there is no indication from the ATP-data that the high Chl a values coincide with high concentrations of ATP, it may be assumed that there should be a high yield of dead pigment and not necessarily an inhibited photosynthetic rate. Microscopical analyses will reveal more about this question. Respiration rates are surprisingly high at the surface and it would be intriguing to see if there exists a correlation to hydrocarbon concentrations. High respiration rates on stations 43 and 45 may also be due to illumination (cloudy sky).

ATP concentrations are low in the Bay of St. Brieuc and further east (sts. 32-40) ranging generally below $100 \text{ ng l}^{-1} \text{ ATP}$. With few exceptions ATP concentrations exhibit a homogeneous pattern within the euphotic zone without distinct stratifications.

Zooplankton respiration rates are in the same range found in Peruvian upwelled waters (HENDRIKSON, unpublished) and in zooplankton cultures (OWENS & KING, 1975) with copepods, reaching values between $11,8$ and $28,7 \text{ } \mu\text{l O}_2 \text{ hr}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$. Only one value (st. 22) is much higher than the others ($44,7 \text{ } \mu\text{l O}_2 \text{ hr}^{-1} \text{ mg protein}^{-1}$).

3. DISCUSSION

Although physiological parameters offer opportunities to detect subtle differences of metabolic activity, these data generally lack sufficient material for comparison. Referring to gross primary production for example, the values found are well in agreement with the results of GRALL (1966) who worked in the region of Roscoff. No comparison however is possible for the other parameters. Metabolic rates on their own on the other side generally show a wide natural range of variation depending on environmental or biogeous factors, the influence of pollution being one factor among many.

Thus in this case no such drastic values occurred which would correspond to the effect of pollution with certainty. Nor did the comparison between a non-polluted station (43) and a polluted station (45) reveal any distinct differences. The only hints which may be gathered from these data which are likely to indicate pollution derive from high respiration rates at the surface which correlate with high values of ATP / primary production ratios. These ratios indicate the amount of living biomass which is necessary

to produce one mg C m⁻³ day⁻¹. Probably these ratios yield more information than the low photosynthetic rates at st. 45, since there is no difference between st. 43 (non polluted) and other polluted sts. such as 21 and 30. Further information however must be gained from microscopic observations since only these enable us to compare definite populations or to decide if there were any comparable populations present at all. In future more attention should be drawn to bio-assay-arrangements, which would consist of definite populations.

Beside the difficulties mentioned the history of the populations found was unknown to us with respect to water exchanges and advection of new plankton populations from unpolluted areas.

Further there is little information of long term effects of crude oil pollution and even if no apparent damage of plankton populations could be detected by the means of the physiological methods applied, nothing can be deduced from this for long term effects.

BIBLIOGRAPHIE

- GRALL, J. R., 1966 : C.R. Acad. Sci. Paris, 262, 2514-2517
- HOLM-HANSEN, O., and C. R. BOOTH, 1966, Limnol. Oceanogr. 11, 510-519
- KARL, D. M., and LA ROCK, P. A., 1975, J. Fish. Res. Bd. Canad. 32, 599-607
- MULLIN, M. M. and BROOKS, E. R., 1970, Marine Food Chains (ed. J. H. STEELE) 74-95
- OWENS T. G. and KING, F. D., 1975, Mar. Biol. 30, 27-36
- STRICKLAND, J. D. and PARSONS, T., 1965, Manual of sea water analyses, Bull. Suppl. Fish. Res. Bd. Canad.
- SAMAIN, J. F., DANIEL, J. Y., and LE COZ, J. R., 1977, J. exp. mar. Biol. Ecol. 29, 279-289.

PREMIERE SERIE DE RESULTATS SUR LA TOXICITE DU
PETROLE BRUT DE L'AMOCO CADIZ

par

S. LE ROUX, A. LUCAS

Laboratoire de Zoologie - Aquaculture et Pollutions marines
Faculté des Sciences et Techniques - 29283 Brest Cédex

R E S U M E

Les effets de la fraction soluble du pétrole de l'Amoco Cadiz, prélevé au rivage 18 heures après la catastrophe, ont été étudiés sur des gamètes, des larves et des postlarves de moules *Mytilus edulis*, en comparaison avec les effets du pétrole de Koweït standard IFP.

On a observé un effet toxique du pétrole de l'Amoco Cadiz sur le taux de fécondation et le développement embryonnaire des moules. Des variations de la consommation d'oxygène et du taux de grazing ont également été observées.

A B S T R A C T

The effects of crude oil from Amoco Cadiz upon gametes larvae and juveniles of mussels *Mytilus edulis* are studied. They are compared with effects of Koweït crude (standard of the FPI).

Toxical effects upon fecondation rate and embryonnary development are observed. Oxygen consumption and grazing rate vary also when mussels are treated with water soluble fraction of crude oil.

M O T S - C L E S : *Mytilus*, pétrole brut, toxicité, consommation oxygène, taux de fécondation.

K E Y W O R D S : *Mytilus*, crude oil, toxicity, oxygen consumption, fecondation rate.

INTRODUCTION

Dix huit heures après la catastrophe de l'Amoco Cadiz, nous avons prélevé sur le rivage, en face de l'épave, quelques litres de pétrole. Ceci nous a permis, dans les 2 mois qui ont suivi, d'effectuer plusieurs séries expérimentales afin d'étudier les effets de ce pétrole sur le matériel biologique utilisé habituellement dans notre laboratoire : les oeufs, les larves et les postlarves de *Mytilus edulis*. Lors de ces expériences, les effets du pétrole de l'Amoco Cadiz ont été comparés à ceux du pétrole brut de Koweït utilisé comme standard par l'Institut Français du Pétrole.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Préparation des produits testés

Les deux pétroles bruts sont prélevés de récipients stockés à 10°C. Un mélange de 10 ml de pétrole dans 2,5 l d'eau de mer filtrée sur 0,45 µ est réalisé par agitation sur une table d'agitation à raison de 150 va et vient/mn. Après une agitation de 6 à 12 heures, le mélange est décanté 2 heures et filtré sur filtre en papier, ce qui donne un liquide limpide. C'est ce liquide que nous appellerons "solution" qui est utilisé dans nos essais.

Pour chaque série expérimentale, ces "solutions" ont été dosées par spectrophotométrie infrarouge*

L'eau de mer utilisée dans les expériences est prélevée au Tinduff en rade de Brest.

1.2. Tests sublétaux

- Traitement

Les gamètes et les larves de moules sont rincés avec la "solution" sur un filtre de 40 microns de vide de maille, puis mis en bécher fermé hermétiquement, contenant la "solution". Après le traitement, qui peut durer de 1 heure à 96 heures, les gamètes ou les larves sont rincés à nouveau et remis en eau de mer filtrée.

- Mesures effectuées

Elles dépendent du matériel traité. Ainsi dans les séries expérimentales effectuées pendant ces 2 mois, on a étudié :

- | | | |
|---|---|--------------------------|
| . sur des ovules traités, avant fécondation..... | } | le taux de fécondation |
| . sur des ovules fécondés par du sperme traité..... | | et |
| | | le taux d'anormalités |
| | } | le taux de développement |
| . sur des oeufs fécondés, puis traités..... | | embryonnaire |
| | | et |
| | | le taux d'anormalités |

*Laboratoire de Chimie, E.P.S.H.O.M. Brest : Procédé d'analyse = norme expérimentale T90-203, août 1973. Essai des eaux, effluents aqueux des raffineries de pétrole, dosage des hydrocarbures totaux.

. sur des trochophores de 24 heures.....) le taux d'anormalités et) la mortalité
. sur des larves plus âgées.....	

La croissance des larves de plusieurs de ces élevages est en cours d'étude.

Toutes ces observations et mesures ont été effectuées au microscope.

La consommation d'oxygène et le grazing ont également été mesurés sur des moules juvéniles. Les moules utilisées pour ces essais mesurent de 1 à 7 mm. Les essais sont effectués avec une vingtaine d'individus dont le poids total est de 100 mg.

La consommation d'oxygène est mesurée dans des récipients confinés et thermostatés, par la méthode polarographique.

La quantité d'algues consommée (grazing) est mesurée avec un compteur de particules. Le grazing des moules traitées est calculé par rapport à celui de moules témoins.

2. RESULTATS

2.1. Etat du pétrole dans l'eau de mer et concentrations observées

Les concentrations observées dans l'eau de mer contaminée au laboratoire vont de 2 mg/l à 22 mg/l, selon le temps d'agitation. Elles sont du même ordre de grandeur pour les 2 pétroles. Dans la nature, les concentrations observées ont atteint jusqu'à 1 360 mg/l, 10 jours après le naufrage, dans de l'eau prélevée à Plestin-les-Grèves*. Ces fortes concentrations posent un problème. Elles sont bien supérieures à ce que permet la faible solubilité des hydrocarbures. Il s'agirait donc de micro-émulsions passant à travers le filtre en papier. Ceci expliquerait aussi les grandes variations observées entre divers dosages effectués sur des mélanges préparés au laboratoire dans des conditions expérimentales identiques. Il serait nécessaire de vérifier cette hypothèse par des méthodes physico-chimiques.

La toxicité des 2 pétroles a été testée à partir de mélanges réalisés au laboratoire, mais également avec de l'eau prélevée à Plestin-les-Grèves le 31 mars et le 4 mai, et dans l'Aber-Benoît le 1er avril, de fortes mortalités de coquillages ayant été observées dans ces 2 sites.

2.2. Résultats des tests de toxicité

- Traitement de gamètes, d'oeufs fécondés et de larves

8 séries expérimentales ont été effectuées :

Traitement pendant 1 heure d'oeufs fécondés depuis 1 heure - 1ère expérience
20/3/78

	Taux de développement embryonnaire	Larves normales	Larves anormales
Témoin	77 %	100 %	0 %
Amoco Cadiz (concentration inconnue)	66 %	83 %	17 %

*Plestin-les-Grèves (Côtes-du-Nord) 80 km de Portsall à vol d'oiseau.

Traitement pendant 1 heure d'oeufs fécondés depuis 1 heure - 2ème expérience
3/4/78

	Taux de développement embryonnaire	Larves normales	Larves anormales
Témoin	100 %	100 %	0 %
Amoco Cadiz 22 mg/l	10 %	70 %	30 %
Koweït 8 mg/l	80 %	100 %	0 %
eau de Plestin 1 360 mg/l	35 %	89 %	11 %

Traitement pendant 1 heure d'oeufs fécondés depuis 1 heure - 3ème expérience
18/5/78

	Taux de développement embryonnaire	Larves normales	Larves anormales
Témoin	100 %	93 %	7 %
Amoco Cadiz 2 mg/l	100 %	86 %	14 %
Koweït 2,64 mg/l	100 %	69 %	31 %
eau de Plestin 2,2 mg/l	100 %	94 %	6 %

Trochophores de 24 heures traitées pendant 24 heures - 21 mars 1978

	Taux de larves normales après les 24 h de traitement	48 heures après remise en eau de mer filtrée
Témoin	100 %	100 % vivantes et normales
Amoco Cadiz 134 mg/l	100 %	Toutes les larves sont anor- males (évaginées)
Koweït 37 mg/l	mortalité totale	-

Trochophores de 24 heures traitées pendant 1 heure - 18 mai 1978

	Taux de larves normales	Taux de larves anormales
Témoin	78 %	22 %
Amoco Cadiz 2 mg/l	81 %	19 %
Koweït 2,64 mg/l	70 %	30 %
Eau de Plestin 2,2 mg/l	90 %	10 %

Ovules non fécondés, traités 1 heure - 18 mai 1978

	Taux de fécondation	Larves normales	Larves anormales
Témoin	96 %	99 %	1 %
Amoco Cadiz 2 mg/l	44 %	91 %	9 %
Koweït 2,64 mg/l	58 %	91 %	9 %
Eau de Plestin 2,2 mg/l	45 %	94 %	6 %

Ovules fécondés avec du sperme traité 1 heure - 18 mai 1978

		Taux de fécondation	Larves normales	Larves anormales
Témoin		91 %	96 %	4 %
Amoco Cadiz	2 mg/l	75 %	93 %	7 %
Koweït	2,64 mg/l	72 %	99 %	1 %
Eau de Plestin	2,2 mg/l	98 %	91 %	9 %

Larves de 14 jours traitées pendant 72 heures - 20 mars 1978

		Mortalité au bout des 72 heures
Témoin		35 %
Amoco Cadiz	134 mg/l	10 %
Koweït	37 mg/l	20 %
Eau de Plestin	1 360 mg/l	16 %

Pour cette série expérimentale, nous avons observé, 30 jours après le traitement, les taux de fixation des larves métamorphosées suivants :

	Taux de fixation par rapport au témoin
Témoin	100 %
Koweït	46 %
Amoco Cadiz	40 %

L'élevage traité par l'eau de Plestin a dû être abandonné avant la métamorphose, la mortalité étant très forte.

- Consommation d'oxygène chez des moules juvéniles

Deux séries expérimentales ont été réalisées :

- Dans la première série, on a comparé la consommation d'oxygène d'une population témoin, dans de l'eau de mer filtrée, à celle d'une population immergée dans la "solution" eau de mer-pétrole de l'Amoco Cadiz. La température des enceintes expérimentales était de 20°C. L'expérience a duré 5 jours. Chaque nuit, l'eau était réoxygénée par bullage d'air au moyen d'un tube capillaire traversant la couche d'huile de paraffine. Les résultats apparaissent dans la figure 1.

La consommation d'oxygène est exprimée en microlitres d'oxygène par heure et par gramme. Elle est deux fois plus forte chez les moules traitées par le pétrole.

- Dans la deuxième série, seule la température a changé par rapport à la première série. Elle était de 24°C. Les résultats apparaissent dans la Figure 2. La plus grande variabilité des résultats est sans doute la conséquence de la forte température. Dans ce deuxième cas, on n'observe pas de différence significative entre les deux élevages.

- Grazing chez les moules juvéniles

Trois séries expérimentales ont été réalisées. Les résultats sont exprimés dans les figures 3, 4 et 5.

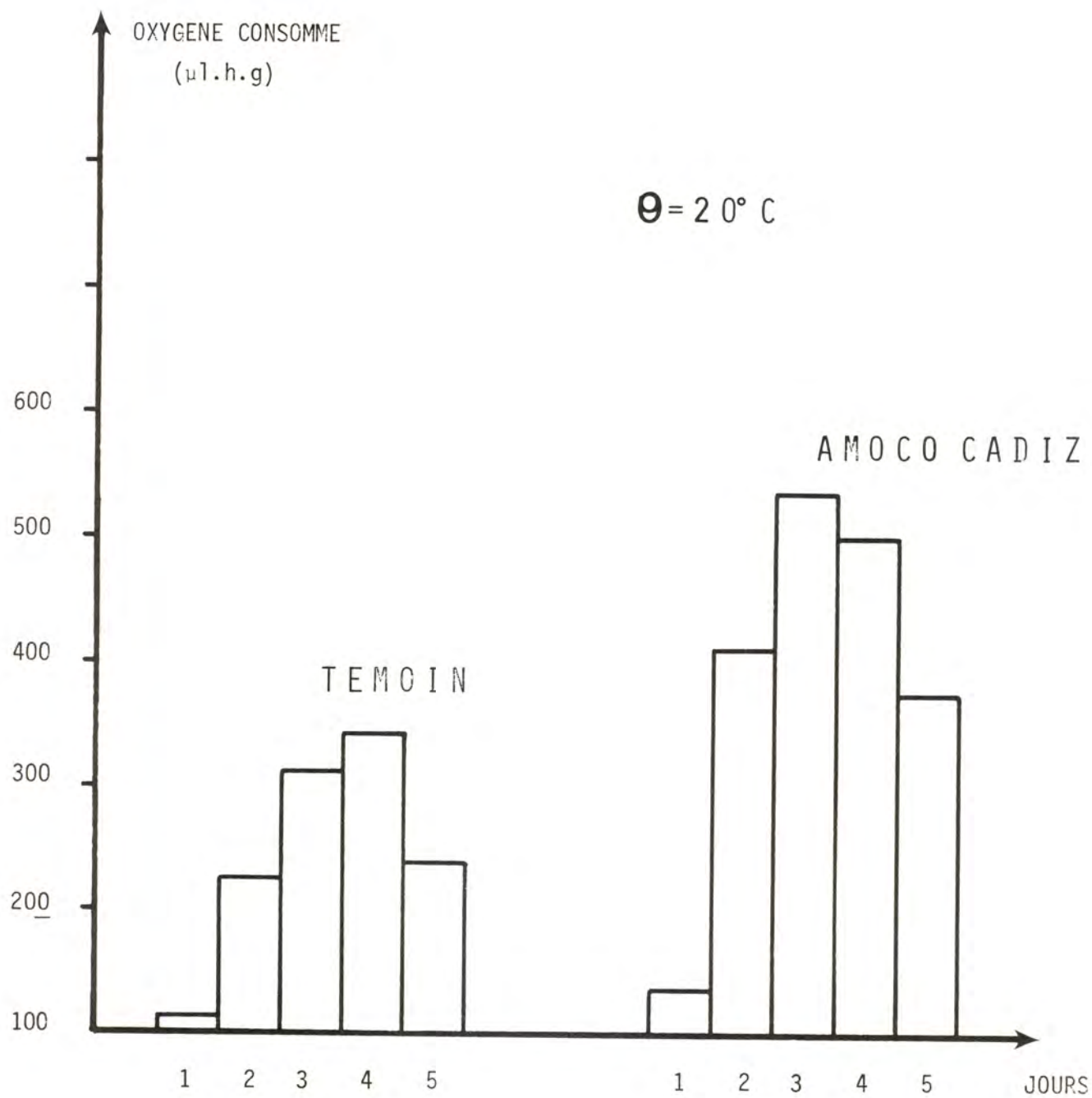


FIG. 1 - CONSOMMATION D'OXYGENE

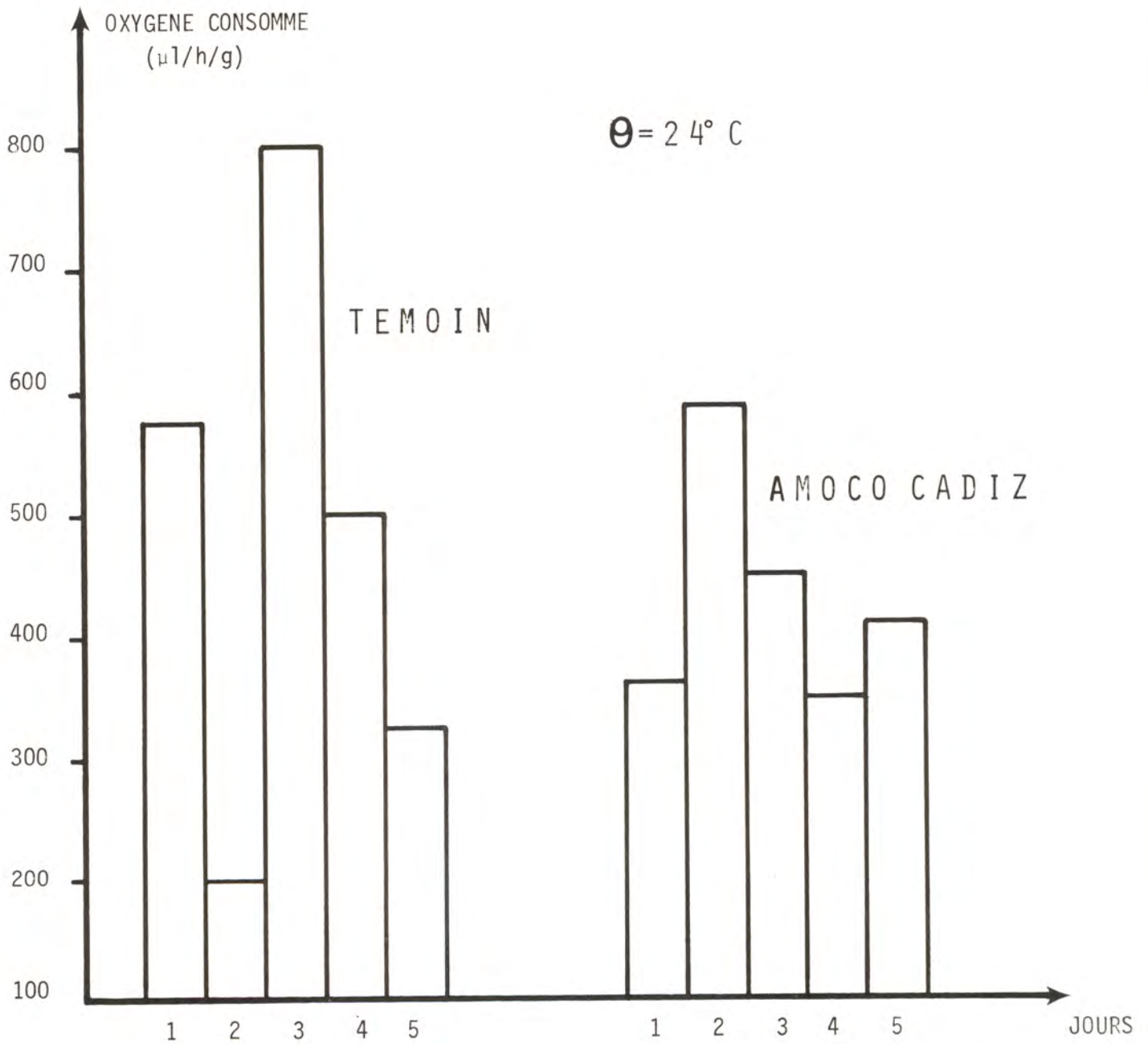


FIG. 2 - CONSOMMATION D'OXYGENE

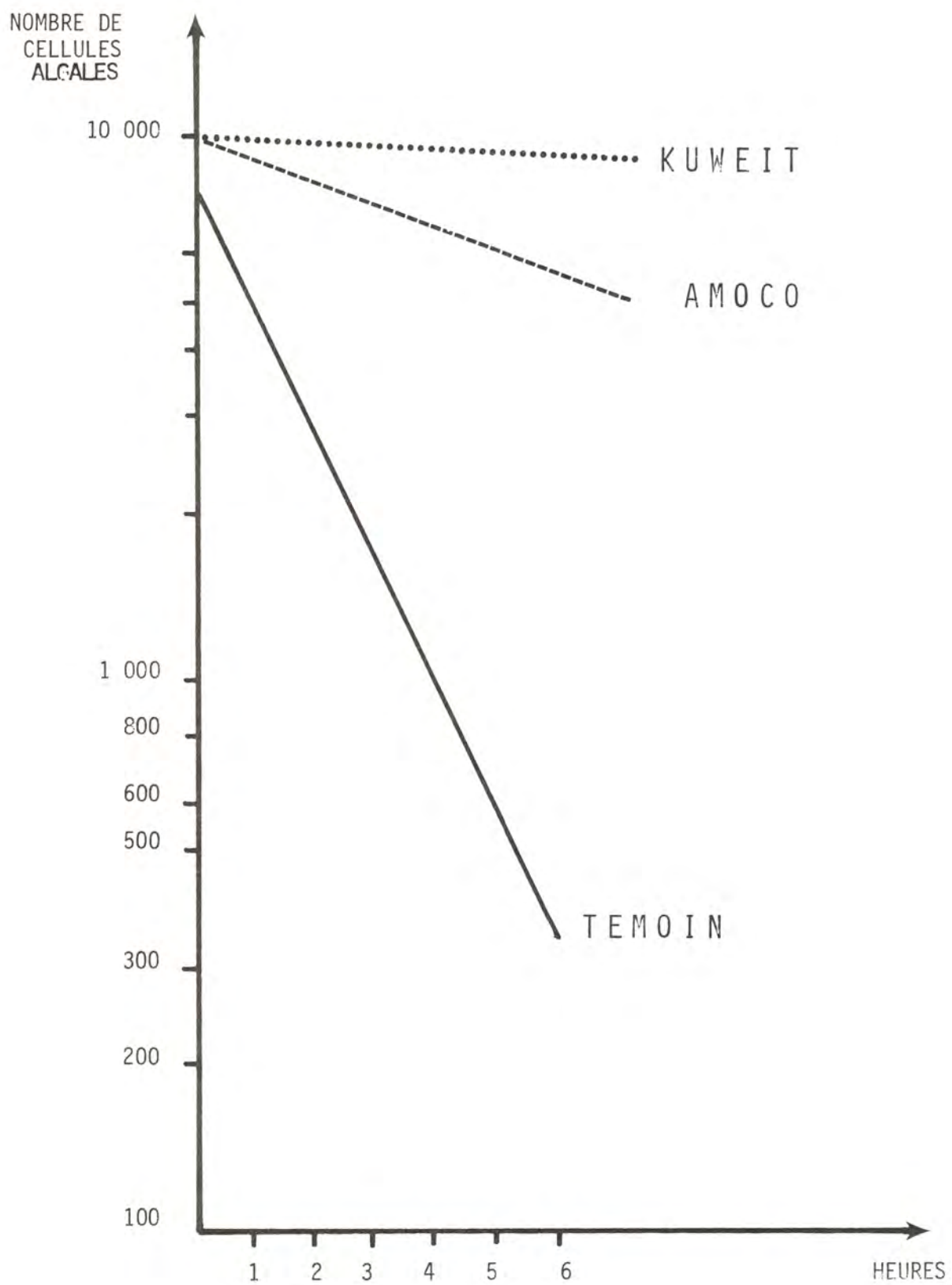


FIG. 3 - GRAZING

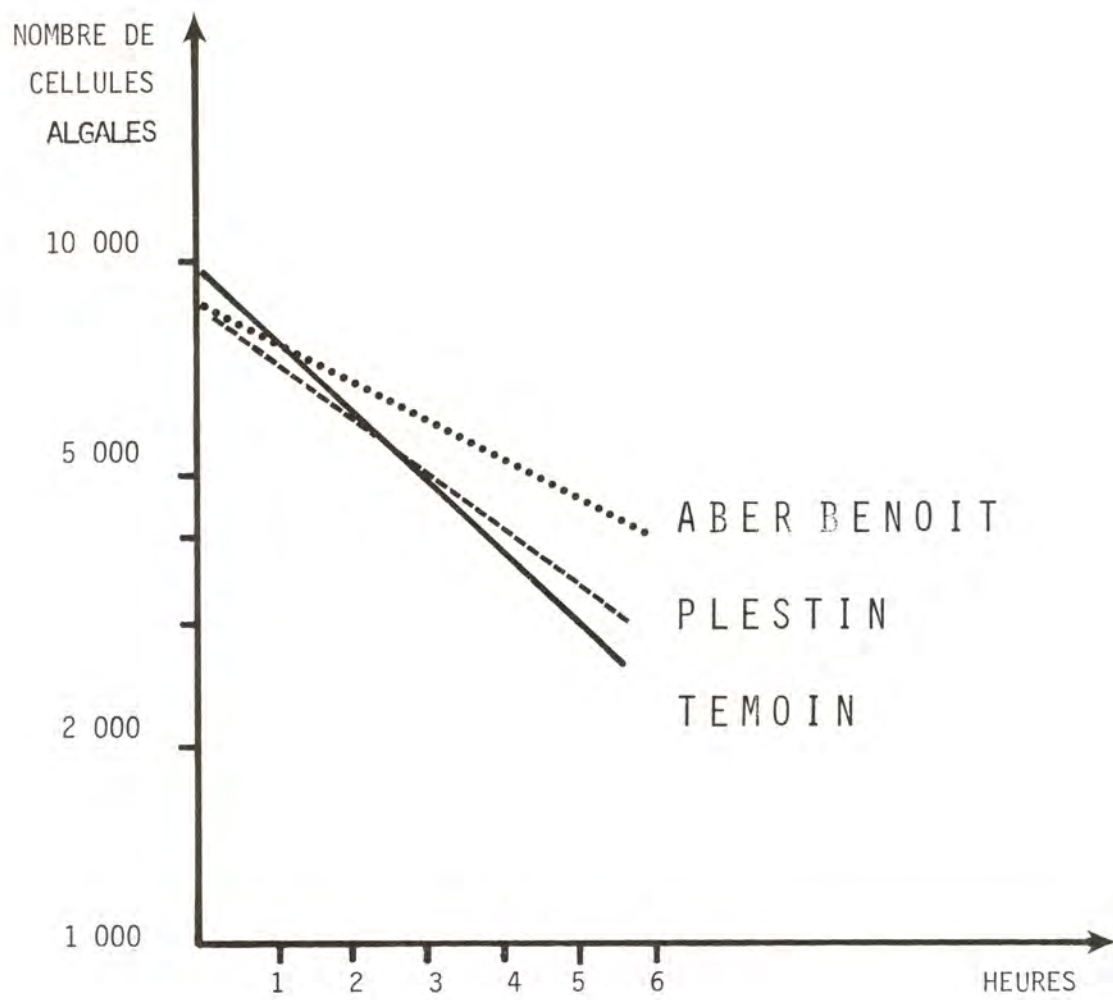


FIG. 4 - GRAZING

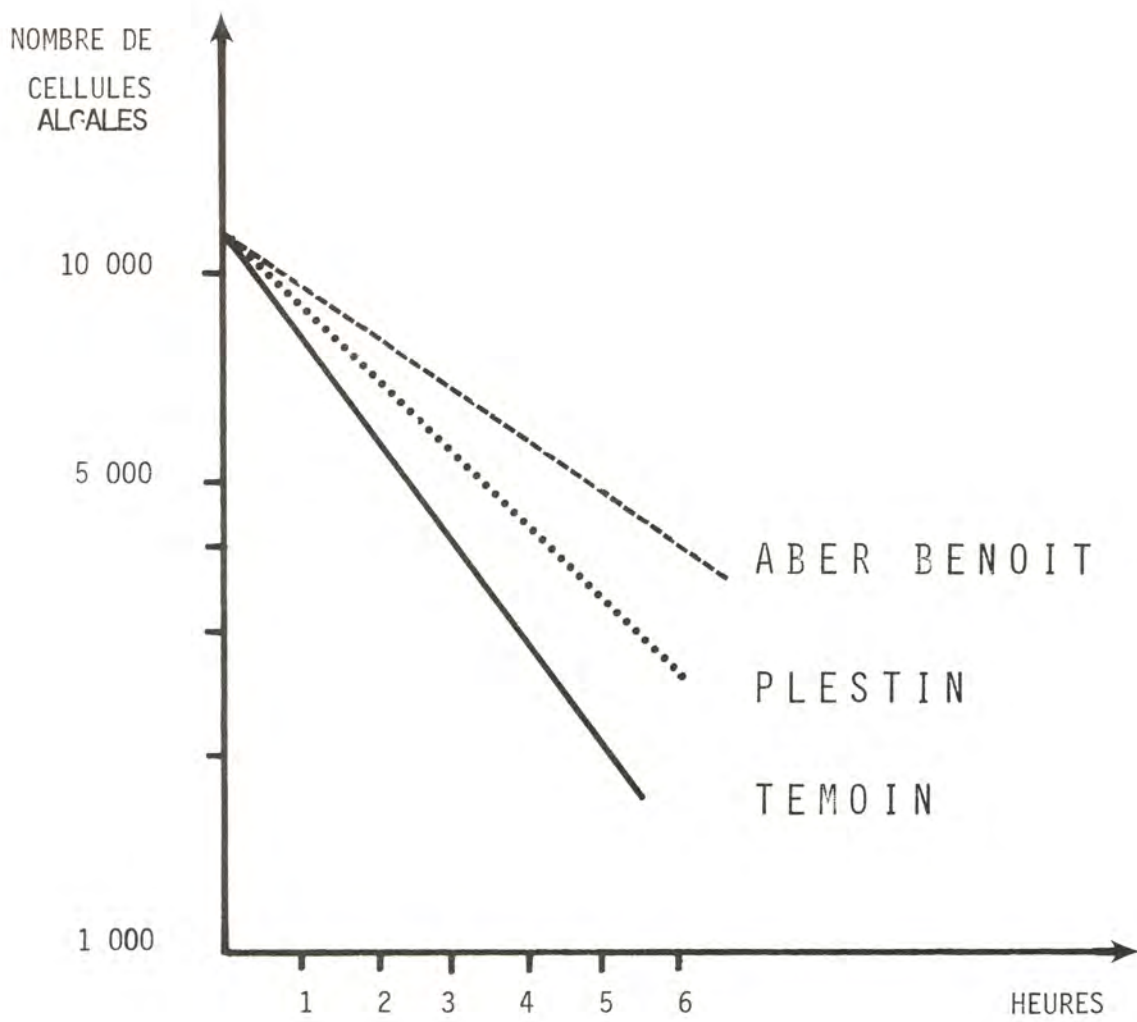


FIG. 5 - GRAZING

- Dans la première expérience, qui a duré 7 heures, les concentrations des hydrocarbures dans l'eau étaient : Amoco Cadiz 2,28 mg/l, Koweït 2,57 mg/l. Les moules traitées par du Koweït n'ont pas consommé d'algues. Les moules immergées dans le mélange eau de mer-Amoco Cadiz ont consommé 50 % d'algues de moins que le témoin.

- Dans les deux expériences suivantes, on a comparé les effets d'eaux prélevées à Plestin les Grèves le 4 mai, et dans l'Aber Benoît le 1er avril. Les expériences ont duré 7 heures et 6 heures respectivement. Les moules immergées dans l'eau de Plestin (2,2 mg d'hydrocarbures/l) ont consommé 21 % et 13 % d'algues de moins que le témoin. Celles immergées dans l'eau de l'Aber Benoît (1,57 mg d'hydrocarbures/l) ont consommé 44 % et 57 % d'algues de moins que le témoin. Des analyses pratiquées sur l'eau de l'Aber Benoît ont montré que celle-ci ne contenait ni détergents, ni métaux lourds.

CONCLUSION

Ces premières séries expérimentales nous permettent de dégager quelques conclusions sur la toxicité du pétrole de l'Amoco Cadiz.

1° La présence de pétrole de l'Amoco Cadiz (prélevé à la côte 18 heures après le naufrage) dans l'eau de mer provoque :

- un taux de fécondation des oeufs de moules plus faible que dans le témoin ;
- un taux de développement embryonnaire plus faible que dans le témoin.

Il induit l'existence de larves anormales.

2° Dans nos expériences, le pétrole de l'Amoco Cadiz prélevé à la côte 18 heures après le naufrage, s'est révélé moins toxique que le brut du Koweït standard I.F.P. à concentrations équivalentes.

3° Dans les mélanges effectués au Laboratoire, on a obtenu, dans des conditions expérimentales identiques, des concentrations équivalentes des deux pétroles dans l'eau de mer.

PRESENTATION PHOTOGRAPHIQUE DE QUELQUES ASPECTS
DE L'ECHOUAGE DE L'AMOCO - CADIZ

par

J. LE FEVRE

Centre National de la Recherche Scientifique et Institut
d'Etudes Marines de l'Université de Bretagne Occidentale
29283 Brest Cedex

Ces images ne constituent pas une communication scientifique. En introduction aux premiers résultats disponibles sur les conséquences de l'échouage de l'Amoco - Cadiz, elles représentent le point de vue, nécessairement en partie subjectif, d'un photographe qui est aussi un biologiste. Aussi y trouvera-t-on des correspondances avec certains des travaux présentés dans ce recueil. Elles restent cependant surtout une tentative de résumé de la façon dont la marée noire a pu être perçue sur place.

These pictures do not make up a scientific contribution. They are shown as an introduction to the first available results on the effects of the Amoco - Cadiz oil spill, and correspond to the point of view, necessarily subjective in part, of one photographer who happens to be a biologist as well. Some relevance of these pictures to a few papers appearing in this report may therefore be found. Their main purpose, however, is simply to try and show a way the oil spill was perceived on the spot.

- - - - -

Photos copyright J. Le Fèvre

1	5
2	6
3	7
4	8

PLANCHE I

1 - 4: Vues successives de l'épave *Successive views of the wreck*

1 - Le 17 mars 1978 à 9 heures, encore intacte.
On March 17th 1978, at 9 AM, still unbroken.

2 - Le 18 mars, brisée en deux depuis la veille 11 heures.
On March 18th, broken down in two parts since the eve, 11 AM.

3 - Même date, vue aérienne montrant l'écoulement de la cargaison.
Same date, aerial view showing the spill of the cargo.

4 - Le 28 mars.
On March, 28th.

5 - 8: Le rivage près de Portsall, le 18 mars. *The shore near Portsall, on March 18th.*



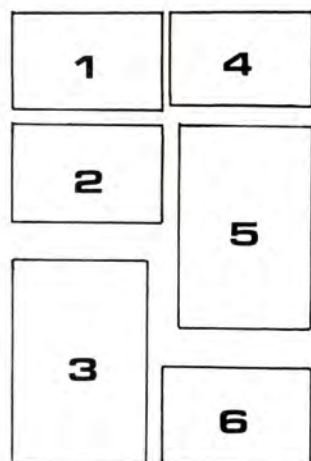


PLANCHE 2

Comportement du pétrole en mer
Oil behaviour at sea

- 1 - Le 18 mars, la plus grande partie du pétrole déversé souille la côte depuis Portsall vers l'est.
On March 18th, the major part of the oil spilled fouls the coast from Portsall eastwards.

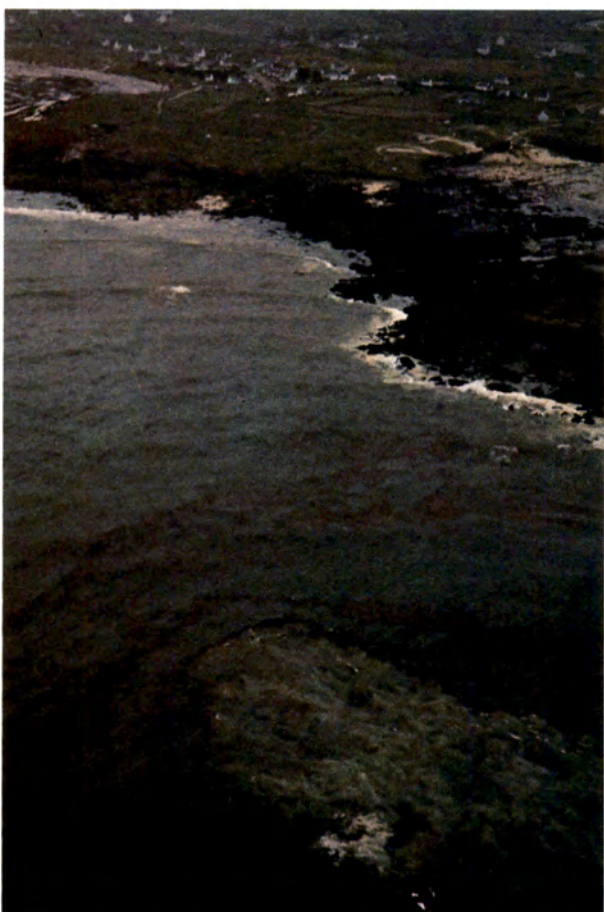
- 2 - Même date: des irisations atteignent Le Conquet et la Pointe St Mathieu.
Same date, irisations reaching to Le Conquet and Pte St Mathieu.

- 3 - Formation d'anneaux concentriques brun rougeâtre d'émulsion d'eau dans le pétrole (28 mars).
Formation of reddish brown concentric rings of water in oil emulsion (March 28th).

- 4 - Le 28 mars: les vents ont tourné à l'ouest-sud-ouest. Sur la plage de Tréompan, près de Portsall, le pétrole s'accumule dans la partie la plus exposée.
On March 28th: the wind is now WSW. On Tréompan beach, near Portsall, the oil is accumulated in the most exposed area.

- 5 - Même date et même phénomène sur la rive ouest de la presqu'île Ste Marguerite, entre l'Aber Benoît et l'Aber Wrac'h.
Same date and same phenomenon on the western shore of Ste Marguerite peninsula, between Aber Benoît and Aber Wrac'h.

- 6 - Même date et même localisation, détail.
Same date and same location, closer view.



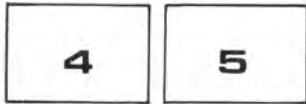
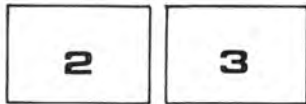
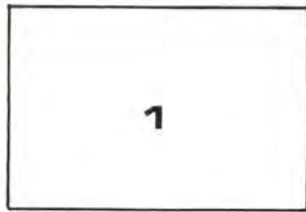
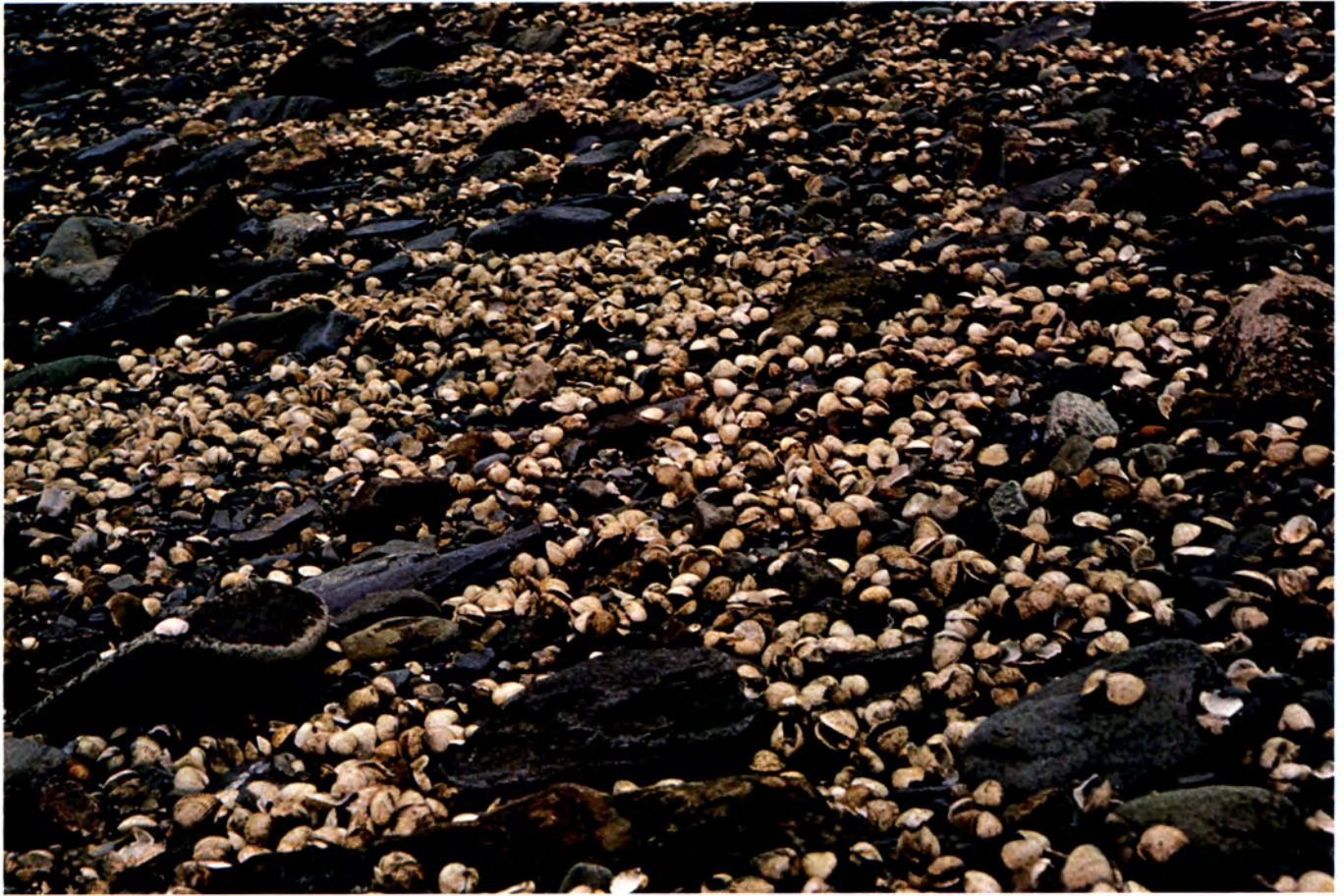


PLANCHE 3

Faune intertidale de substrat meuble
Soft bottom intertidal fauna

- 1 - St Efflam, 8 avril: des specimens morts de coques (*Cardium edule*) et d'oursins des sables (*Echinocardium cordatum*) jonchent la grève au niveau des hautes mers.
St Efflam, April 8th: dead specimens of cockles (Cardium edule) and heart urchins (Echinocardium cordatum) litter the high water mark.
- 2 - Détail du même sujet.
Closer view of same subject.
- 3 - Landrellec, près de Trégastel, 2 avril: specimens morts d'Annélides polychètes.
Landrellec near Trégastel, April 2nd: dead worms.
- 4 - St Efflam, 8 avril: comme le montrent leurs tortillons, les arénicoles (*Arenicola marina*) survivent.
St Efflam, April 8th: as shown by their casts, lugworms (Arenicola marina) survive.
- 5 - Même lieu, même date: autre animal survivant, le Gastéropode *Actaeon tornatilis*.
Same place and date: another surviving animal, the Gastropod Actaeon tornatilis.



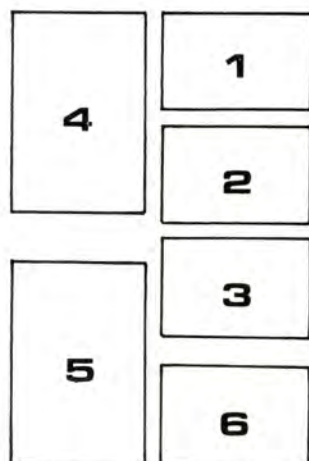


PLANCHE 4

Faune intertidale de substrat rocheux
Hard bottom intertidal fauna

- 1 - Trégastel, 2 avril, rochers couverts de pétrole.
Trégastel, April 2nd: oil coated rocks.
- 2 - Même lieu, même date: bigorneaux (*Littorina littorea*).
Same place and date: periwinkles (Littorina littorea).
- 3 - Même lieu, même date: bernique (*Patella vulgata*).
Same place and date: a limpet (Patella vulgata).
- 4 - St Eflam, 8 avril: pointement rocheux et mare avec accumulation de pétrole.
St Eflam, April 8th: rock outcrop and pool with oil accumulation.
- 5 - La Roche Rouge, St Eflam, 8 avril: détail de moulière.
La Roche Rouge, St Eflam, April 8th: mussel bed close up.
- 6 - Même lieu, même date: faune associée à la moulière.
Same place and date: mussel bed associated fauna.



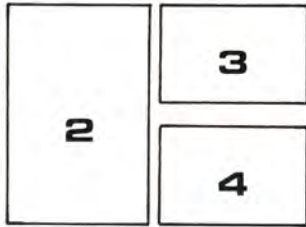


PLANCHE 5

Atteintes aux oiseaux

Damages to birds

1 - Ploumoguier, près du Conquet: Fou de Bassan (*Sula bassana*), 9 avril.

Ploumoguier, near Le Conquet: gannet (Sula bassana), April 9th.

2 - St Efflam, 8 avril: guillemot (*Uria aalge*).

St Efflam, April 8th: guillemot (Uria aalge).

3 - Ploumoguier, 9 avril: macareux (*Fratercula arctica*).

Ploumoguier, April 9th: puffin (Fratercula arctica).

4 - Sillon de Talbert, 2 avril: cormoran huppé (*Phalacrocorax aristotelis*).

Sillon de Talbert, April 2nd: shag (Phalacrocorax aristotelis).



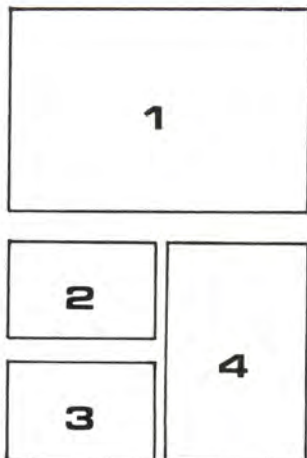
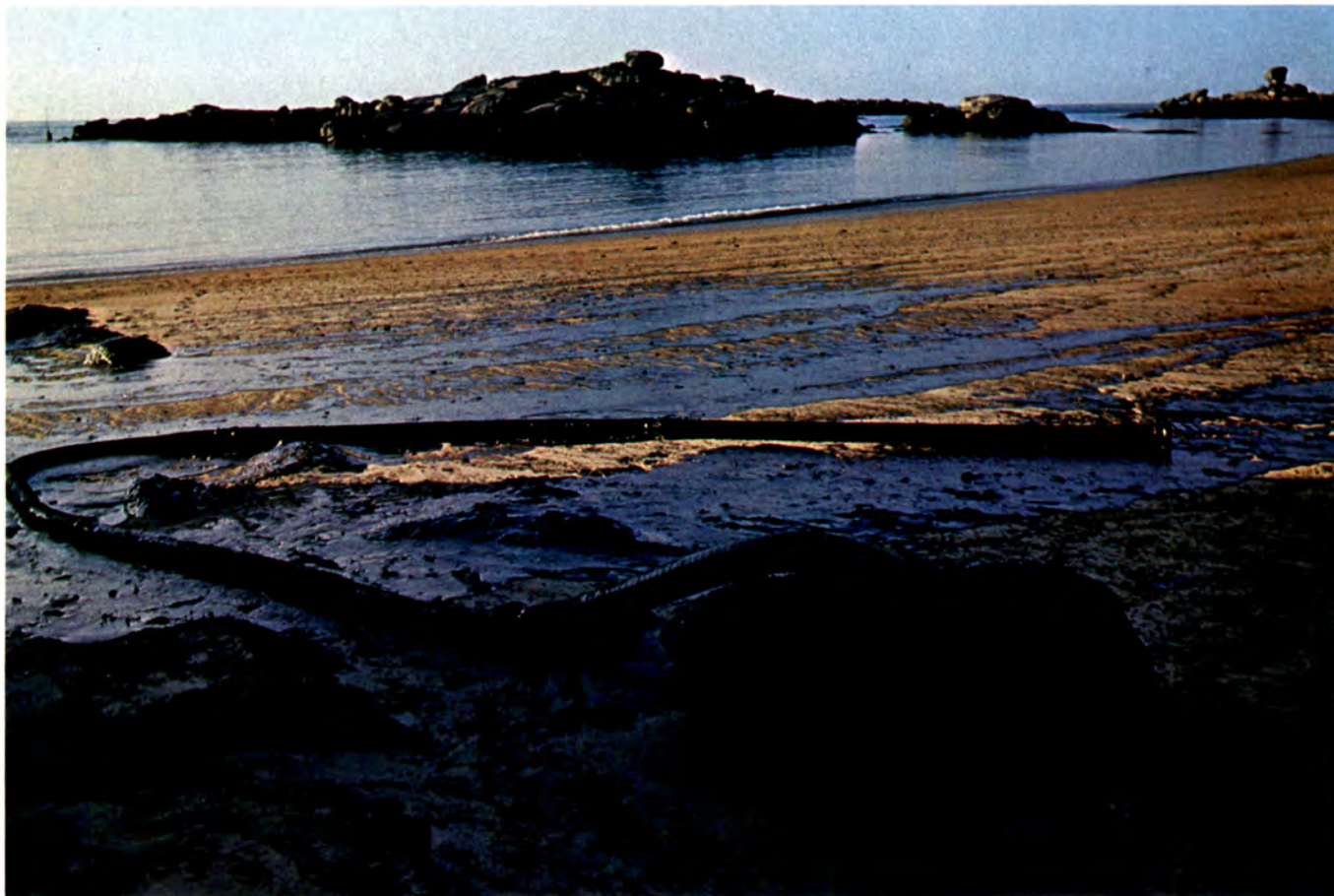


PLANCHE 6

Nettoyage
Cleaning up



- 1 - Trégastel, 2 avril: plage soumise au pompage du pétrole.
Trégastel, April 2nd: oil pumping takes place there.
- 2 - Même lieu, même date: poubelles.
Same place and date: rubbish bins.
- 3 - Port de Lézardrieux, 2 avril: camions citernes chargés de déchets liquides.
Lézardrieux harbour, April 2nd: road tankers loaded with liquid wastes.
- 4 - Même lieu, même date: barges pour l'évacuation du contenu des camions.
Same place and date: barges loading the contents of the road tankers.



L.S.T.P.M.
BIBLIOTHÈQUE
NANTES

Imprimé par
INSTAPRINT - Tours