

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 biomass 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 I, 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).

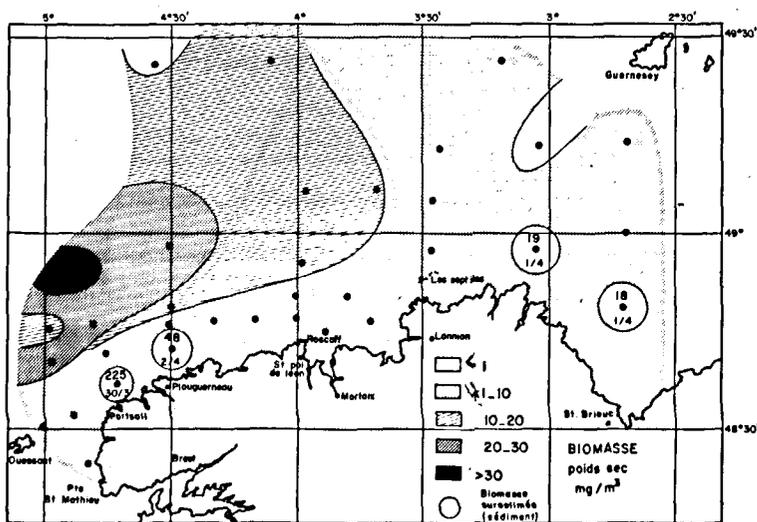


FIG. 1 : Distribution géographique des biomasses (mg poids sec/m³) le 30 mars : 15 j. après l'échouage.

PROTEINES mg/m ³	MARS	AVRIL	MAI
Large	1.84	2.08	6.48
		↕ significatif	↕ significatif
Côte		1.00	2.40
		↔ significatif	↔ significatif

TABLEAU II : Evolution des biomasses protéiques moyennes après l'échouage de l'ANOCO CADIZ (mars à mai 1978, Bretagne Nord) significativité au seuil de 5% (test).

DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DES BIOMASSES PROTEIQUES (mg/m³)

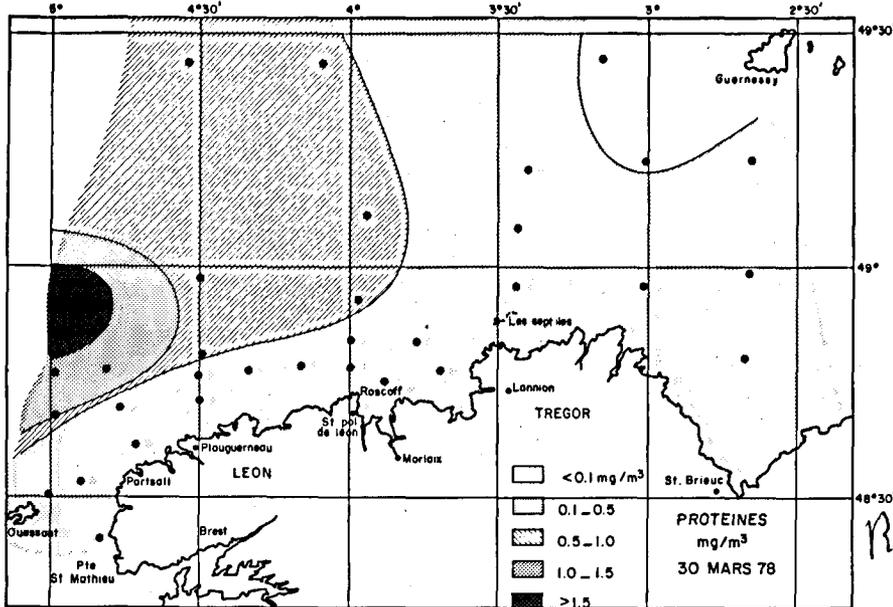


FIG. 2 : Le 30 Mars,
15 jours après l'échouage.

R. d'x4

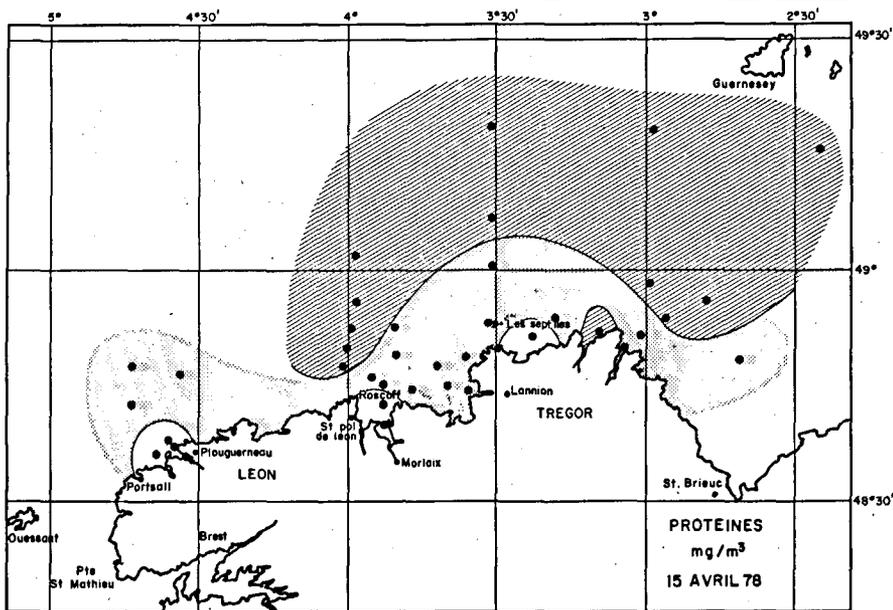


FIG. 3 : Le 15 Avril,
30 jours après l'échouage.

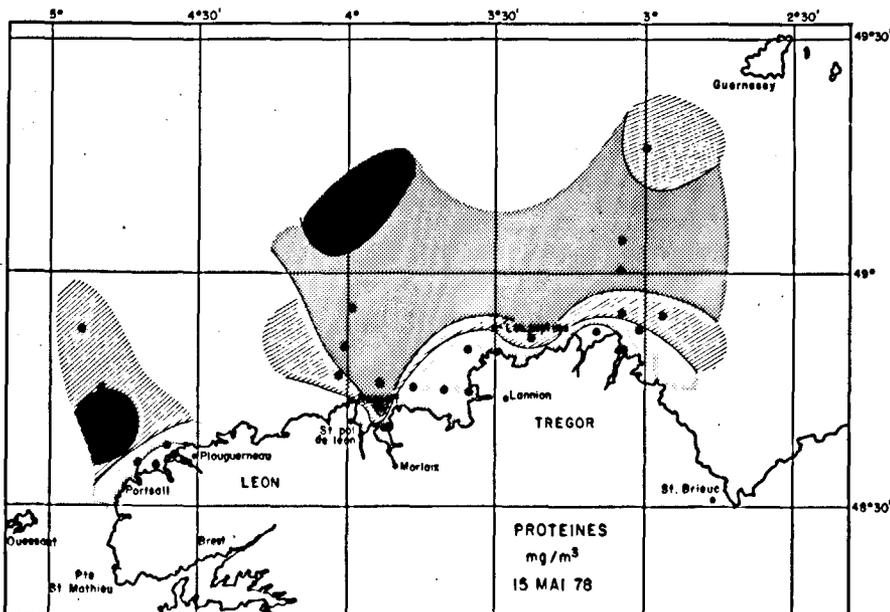


FIG. 4 : Le 15 Mai,
60 jours après l'échouage.

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.

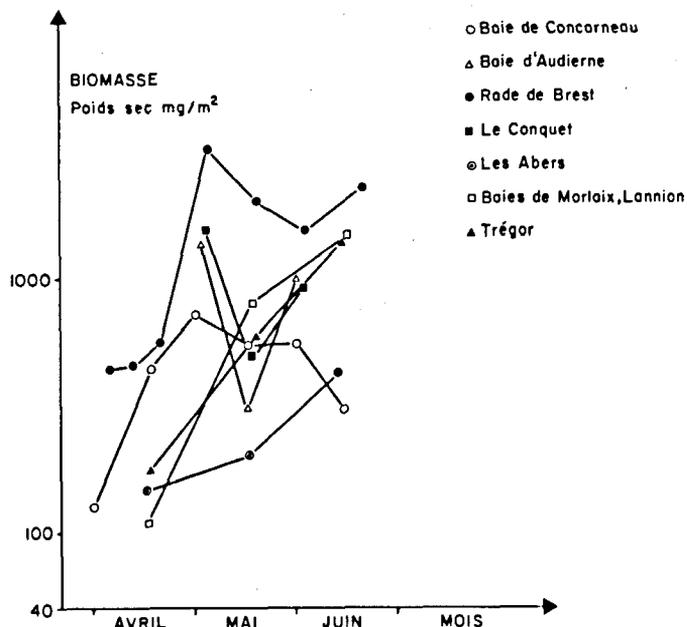


FIG. 5 : Evolution des biomasses (mg poids sec/m²) d'avril à juin sur les côtes de Bretagne.

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).

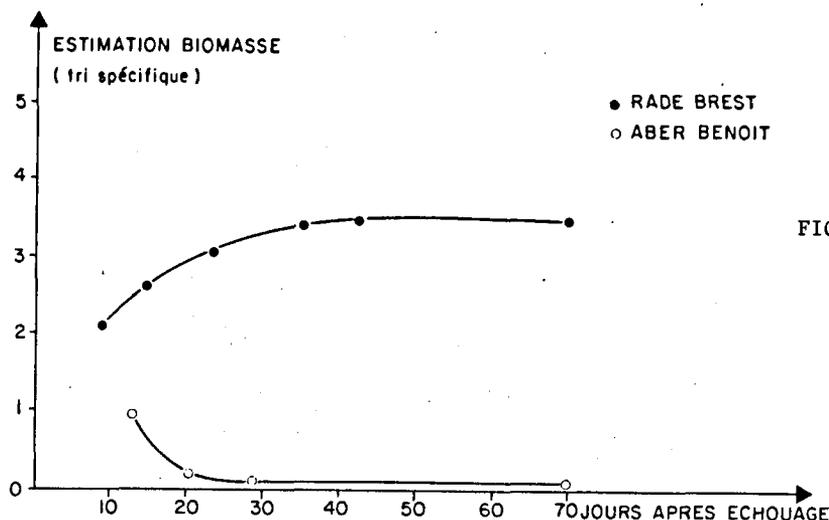


FIG. 6 : Evolution des biomasses dans l'Aber Benoît et la rade de Brest pendant les 2 premiers mois après l'échouage.

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

Annotations de significativité :

- Entre 8.3 (Large) et 11.9 (Large) : significatif (flèche double sens)
- Entre 11.9 (Large) et 13.0 (Large) : non significatif (flèche double sens)
- Entre 11.9 (Large) et 9.6 (Côte) : non significatif (flèche double sens)
- Entre 9.6 (Côte) et 11.0 (Côte) : non significatif (flèche double sens)
- Entre 11.9 (Large) et 11.0 (Côte) : non significatif (flèche double sens)

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 ZOOPLANKTON

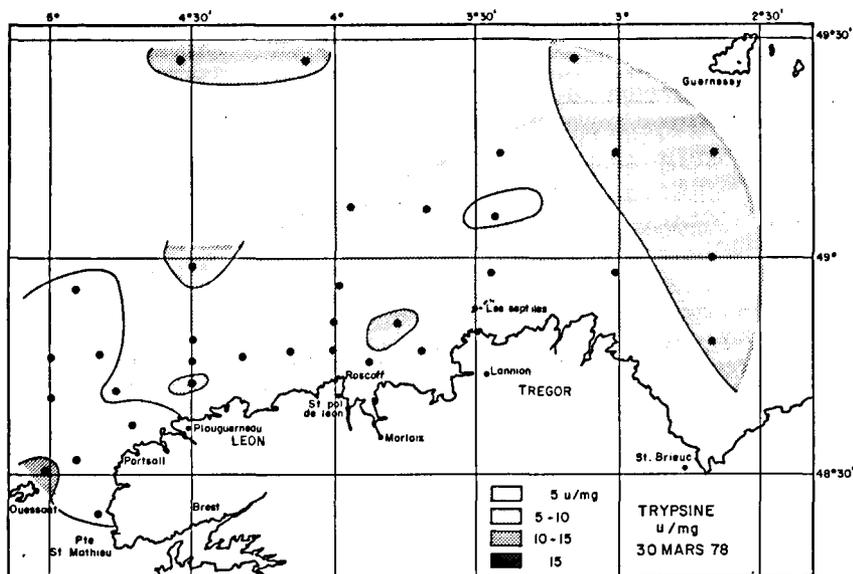


FIG. 7 : Le 30 Mars,
15 jours après l'échouage.

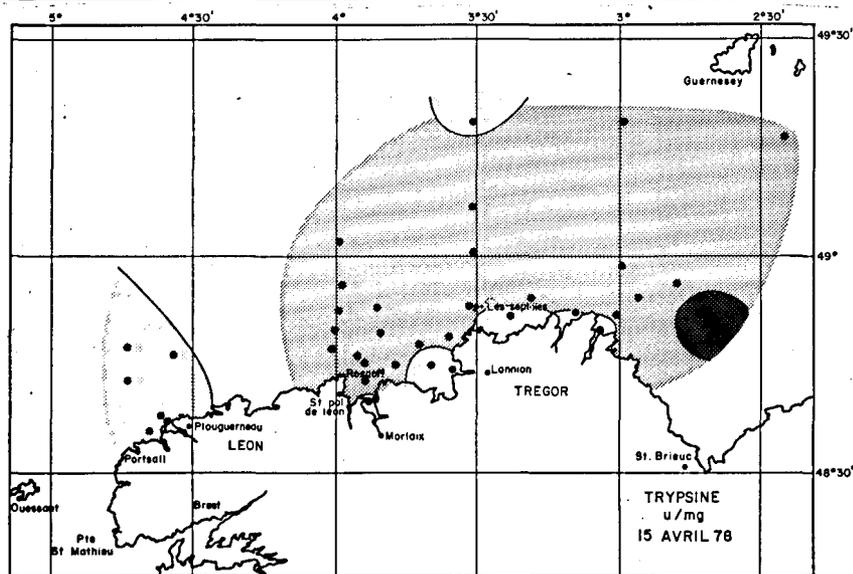


FIG. 8 : Le 15 Avril,
30 jours après l'échouage.

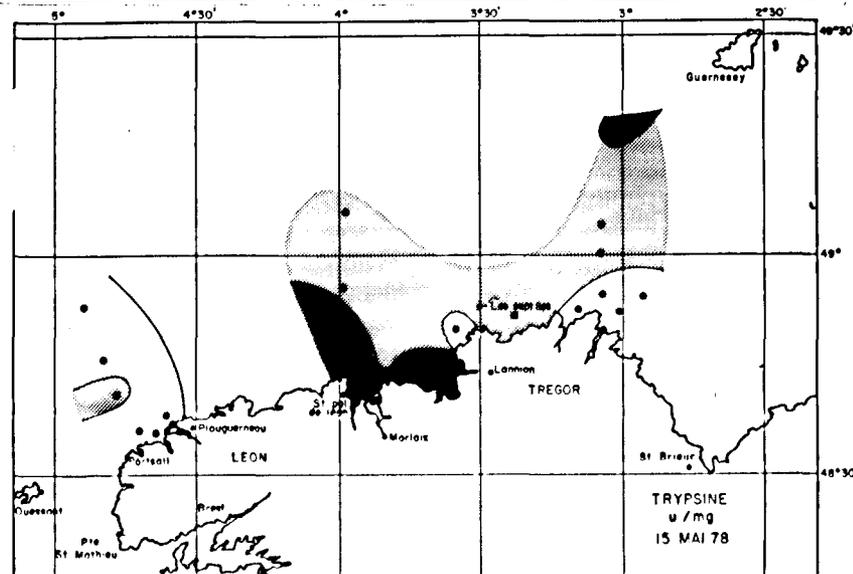


FIG. 9 : Le 15 Mai,
60 jours après l'échouage.

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).

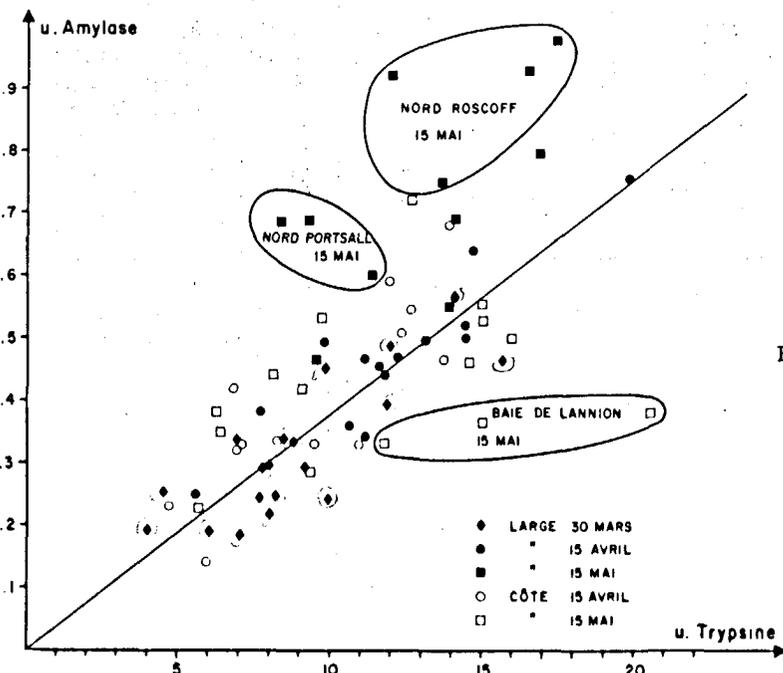


FIG. 10 : Corrélation entre l'activité spécifique de l'amylase et de la trypsine pendant les deux premiers mois après l'échouage 16 mars - 15 mai.

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'Ile 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								
<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	-	-
<i>Paracalanus</i> + <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 → FRACTIONNEMENT → TAXON ↓	Libenter		Pot de Fer		Beg Leguer		Nord Tomé		Trieux	
	50		50		12.5*		50		50	
	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 → FRACTIONNEMENT → TAXON ↓	Libenter		Pot de Fer		Beg Leguer		Nord Tomé		Trieux	
	50		50		12.5*		R0		50	
	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>Evadne 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	10 400	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 particulaire. La densité d'une partie de la fraction minérale de cette charge particulaire 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 mg/m³ au large, 2,4 mg/m³ 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 estuaire 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.