

Glucides
Matière organique
Dégradation
Sédiments marins
Carbohydrates
Organic matter
Degradation
Marine sediments

Les glucides et l'évolution de la matière organique dans les sédiments marins

D. Delmas

Station Marine d'Endoume et Centre d'Océanographie, rue de la Batterie-des-Lions, 13007 Marseille.

Reçu le 28/6/82, révisé le 9/12/82, accepté le 16/12/82.

RÉSUMÉ

L'étude des glucides des sédiments a permis de préciser l'état de la matière organique. Le rapport glucides insolubles/glucides solubles (I/S) apparaît dans les sédiments comme un bon indice du degré d'évolution de la matière organique.

Les échantillons étudiés ont été collectés dans diverses aires néritiques et océaniques, notamment au cours des campagnes « Orgon ».

La distribution des glucides entre les fractions solubles (S) et insolubles (I) dépend de l'état de dégradation et de diagenèse précoce de la matière organique, la fraction soluble étant préférentiellement dégradée. De plus, les rapports I/S et C/N présentent le plus souvent des profils identiques.

Les valeurs du rapport I/S comprises entre 6 et 8 indiquent que la matière organique est relativement peu dégradée, par contre, des valeurs de ce rapport supérieures à 10, et pouvant atteindre 30, traduisent la présence d'un matériel très évolué. Par ailleurs, des facteurs tels que les taux de sédimentation, le potentiel d'oxydo-réduction, l'origine de la matière organique, etc., ont une influence marquée sur les valeurs du rapport I/S. L'augmentation du rapport glucides insolubles/glucides solubles dans les sédiments est également liée à la « stabilisation » des glucides au cours de l'enfouissement selon divers processus.

Oceanol. Acta, 1983, 6, 2, 157-165.

ABSTRACT

Carbohydrates and organic matter evolution in marine sediments

Carbohydrates have been analysed in order to establish the state of organic matter in sediment. Samples were collected both in neritic and oceanic (Orgon cruises) areas.

Reported data demonstrate that the insoluble-carbohydrates/soluble-carbohydrates ratio (I/S) is a good indicator of organic matter evolution. In sediments, I/S values ranging from 6 to 8 are associated with slightly-degraded organic matter, whereas values higher than 10 and even up to 30 relate to highly-degraded material. Furthermore, I/S and C/N ratios generally show the same profile in sediments.

The balance between soluble (S) and insoluble (I) carbohydrates depends on the early stages of organic matter evolution, the soluble fraction being more easily degraded; such factors as sedimentation rates, redox potential, organic matter origin, etc., have an influence on I/S values. The increase of the I/S ratio in sediments is also related to "stabilization" processes during burial.

Oceanol. Acta, 1983, 6, 2, 157-165.

INTRODUCTION

Les glucides sont des constituants importants de la matière organique particulaire et notamment du phytoplancton où ils représentent en moyenne de 15 à 40% du poids sec (Parsons *et al.*, 1961; Werner, 1977; Smetacek, Hendrikson, 1979). Outre cet aspect pondéral, la ségrégation des glucides en différentes catégories apporte des informations qualitatives sur la matière organique. Chez les phytoplanctons la distribution des glucides dans différentes fractions (acido-soluble, insoluble, etc.) est liée soit à la prédominance de certains groupes taxonomiques (Myklestad, 1974; Smetacek, Hendrikson, 1979) soit à l'état physiologique des phytoplanctons (Myklestad, 1977). Dans le seston, la prédominance des « crude-fiber » indique que celui-ci est riche en composés structuraux et en débris (Parsons, Strickland, 1962; Hitchcock, 1977). En outre, les polysaccharides de structure insoluble sont très résistants aux dégradations microbiennes (Gupta, 1967; Handa, Yanagi, 1969; Handa *et al.*, 1972). Par contre, les glucides solubles du type β — glucan (laminarine — composé de réserve du phytoplancton) sont rapidement dégradés à la mort cellulaire (Handa, 1969; Handa, Yanagi, 1969).

Dans les sédiments, les glucides sont présents en quantités non négligeables, ils peuvent en effet constituer de 4 à 10% de la matière organique (Artem'yev, 1974; Degens, Mopper, 1976). Leur dégradation au cours de l'enfouissement ne sera pas uniquement déterminée par leur « dégradabilité », en effet de nombreux processus physicochimiques — adsorption, complexation, condensation, par exemple — sont susceptibles d'intervenir pour accélérer ou pour retarder leur évolution (Maillard, 1912; Gupta, 1967; Degens, Mopper, 1975; Love, 1978). Les évolutions différentielles des glucides solubles et insolubles pouvant être indice du degré d'évolution de la matière organique, nous avons systématiquement étudié leur distribution dans les sédiments marins.

La distribution des glucides dans les fractions solubles et insolubles de la matière organique des sédiments a d'abord été étudiée dans un milieu lagunaire (étang de Berre) où les modalités d'accumulation et de dégradation de la matière organique sont bien connues (Delmas, 1980; Delmas, Romano, 1980). Nous avons ensuite suivi l'évolution de ces deux fractions dans des sédiments marins présentant des conditions d'oxydo-réduction ainsi que des origines et des degrés d'évolution de la matière organique bien marquées pour mettre en évidence l'influence probable de ces facteurs sur la distribution des glucides.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Prélèvements

Les sédiments étudiés proviennent de l'étang de Berre, milieu lagunaire situé au N-W de Marseille (Delmas, 1980, fig. 1) et de diverses provinces des océans Atlantique et Indien (Daumas *et al.*, 1977; 1978; 1979;

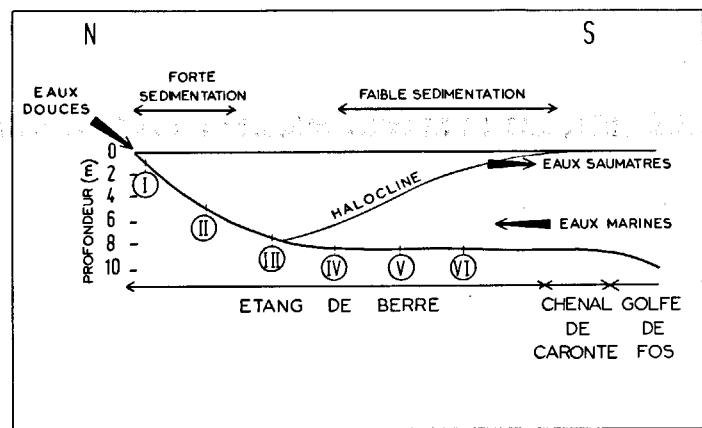


Figure 1

Coupe schématique de l'étang de Berre selon un axe Nord-Sud.
North-South cross section of the Étang de Berre.

Garlenc *et al.*, 1980, tab. 1). Ces sédiments ont été débarrassés de leur eau interstitielle par pressage sous azote, lyophilisés, tamisés à 300 μ m et conservés à 5°C.

Analyse du matériel glucidique

Dosages globaux

Les glucides solubles (S) sont extraits à l'eau bidistillée à 100°C pendant 20 mn. Les glucides insolubles (I) sont extraits consécutivement aux glucides solubles par hydrolyse acide ($H_2SO_4, 2N$) à 100°C pendant 4 h. Les déterminations de ces deux fractions sont effectuées par la réaction au phénol-sulfurique (Dubois *et al.*, 1956) selon le protocole de Gerchakov et Hatcher (1972).

Tableau 1

Localisation des sédiments océaniques étudiés.
Localization of the oceanic sediment cores.

Stations	Coordonnées	Profondeur
Station 8	Orgon I: mer de Norvège 65°43'7 N 09°15'5 E	440 m
	Orgon II: Atlantique intertropical Ouest 10°32'2 N 64°40'0 W 04°58'2 N 52°02'2 W	1 350 m 20 m
Station 1 (fosse de Cariaco)		
Station 9	Orgon III: Atlantique intertropical Est 13°11'7 N 19°54'7 W 18°02'1 W 20°58'4 N 18°27'9 W	4 529 m 3 034 m
Station 5		
Station 16		
(radiale du Cap-Blanc)		
Station 13	20°52'5 N 17°45'4 W	897 m
Station 14	20°55'6 N 18°02'1 W	1 876 m
Station 15	20°58'4 N 18°27'9 W	2 500 m
Station 11	20°58'7 N 19°09'7 W	3 287 m
Station 10	20°58'7 N 19°55'0 W	3 770 m
Station 9	Orgon IV: Nord-Est de l'Océan Indien 17°52'7 N 57°31'6 E	830 m

Cinétiques d'hydrolyses

L'échantillon est soumis à des hydrolyses successives de durées croissantes à 100°C par de l'acide sulfurique 0,5 N. Les glucides libérés sont déterminés comme précédemment. Le temps nécessaire pour libérer 75% des glucides (T₇₅) est pris comme paramètre de chaque cinétique (Delmas, 1981).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Évolution des glucides et du rapport I/S dans les sédiments lagunaires de l'étang de Berre

L'originalité de l'étang de Berre, initialement marin, résulte du déversement des eaux douces de la Durance vers sa partie Nord depuis 1966. Ce rejet a entraîné un bouleversement des structures hydrobiologiques :

- forte dessalure, coin salé anoxique, eutrophie (Minas, 1970; 1974; 1976);
- disparition de la macrofaune benthique dans sa partie centrale (Stora, 1976).

Cette nouvelle situation se répercute sur la répartition des micro-organismes à l'interface eau-sédiment (Delmas, Romano, 1980), mais aussi sur les processus de dégradation de la matière organique dans les sédiments superficiels (Delmas, 1980).

Nous retiendrons de ces travaux les faits susceptibles d'éclairer les variations du rapport I/S dans les sédiments, à savoir :

- au nord de l'étang, la présence d'une matière organique peu abondante, d'origine essentiellement terrestre, réfractaire aux dégradations et associée à de très importants apports sédimentaires par les eaux de la Durance;
- au centre et au sud de l'étang, la présence de quantités importantes de matière organique d'origine essentiellement planctonique qui subit une dégradation intense notamment au niveau de l'interface eau-sédiment.

La distribution quantitative des glucides solubles et insolubles dans les sédiments est identique à celle des autres composants de la matière organique tels que le carbone organique et l'azote. Du nord vers le sud de l'étang on peut observer, à l'interface, un enrichissement en glucides, notamment dans la fraction soluble (fig. 2).

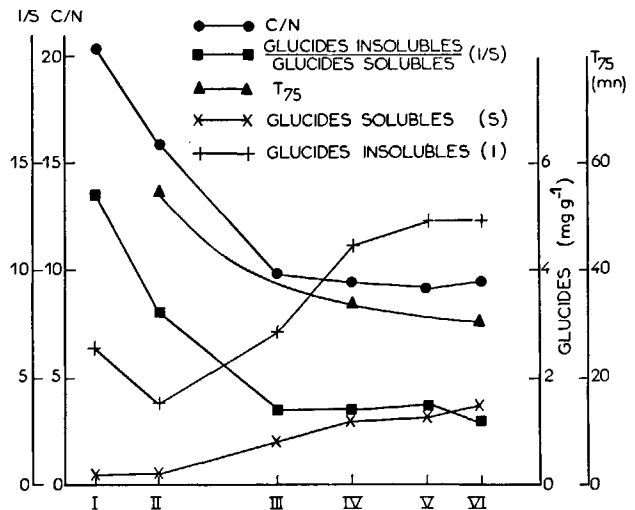


Figure 2
Évolution des glucides, de T₇₅ et des rapports C/N et I/S à l'interface eau-sédiment du Nord au Sud de l'étang de Berre.
Evolution of sugars, T₇₅, C/N and I/S ratios at the north-south interface of the Etang de Berre.

Ainsi, le rapport glucides insolubles/glucides solubles diminue du nord vers le sud de 13,5 à 3,2, tout comme le rapport C/N qui passe de 20,7 à 9,6 alors que la contribution planctonique autochtone à la matière organique des sédiments augmente.

Au cours de l'enfouissement la disparition des fractions solubles et insolubles peu importante au nord (stations I et II) s'accroît vers le sud de l'étang (tab. 2). On peut observer des évolutions inverses du rapport I/S entre les stations soumises aux apports détritiques duranciens et les stations les plus éloignées du rejet (fig. 3). Ainsi, au nord, les valeurs de I/S décroissent au cours de l'enfouissement de 13,5 à 6,3 (station I) et de 8,1 à 4 (station II). Sur la base de l'étude générale de la matière organique des sédiments de l'étang on peut attribuer en première analyse cette diminution à un changement d'apports sédimentaires et organiques consécutifs à la dérivation des eaux de la Durance et à leur déversement dans cette région. Inversement, au sud, les valeurs du rapport I/S augmentent régulièrement avec l'enfouissement de 3,2 à 8 (station VI). Or, il a été montré que, dans l'étang de Berre, la matière organique la plus dégradée se trouve à l'interface aux stations I et II

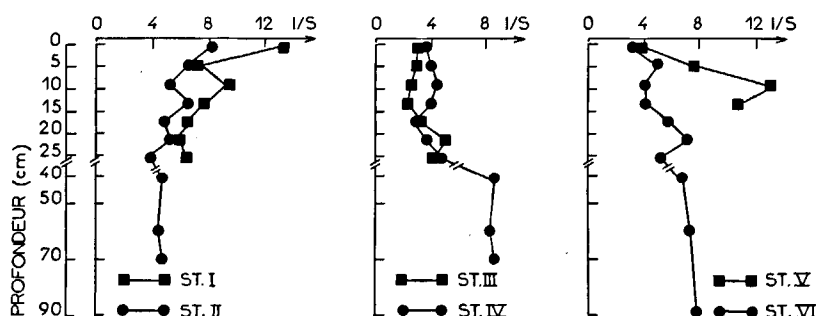


Figure 3
Évolution du rapport glucides insolubles/glucides solubles dans les sédiments de l'étang de Berre.
Evolution of the insoluble carbohydrate/soluble carbohydrate ratio in sediment cores from the Etang de Berre.

Tableau 2

Distribution des glucides dosés au phénol sulfurique dans les sédiments de l'étang de Berre ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).*Distribution of carbohydrates analysed by the phenol-sulphuric method in the sediments from the Etang de Berre ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).*

Profondeur (cm)	Station I			Station II			Station III		
	S	I	S + I	S	I	S + I	S	I	S + I
0-2	191	2586	2777	186	1507	1693	837	2869	3706
4-6	232	1621	1853	178	1208	1386	1184	3916	5100
8-10	102	979	1081	226	1232	1458	986	2623	3609
12-14	141	1073	1214	149	984	1133	1023	2299	3322
16-18	202	1342	1544	197	972	1169	837	3135	3972
20-22	139	809	948	192	1016	1208	824	4191	5015
24-26	216	1368	1584	327	1306	1633	878	3668	4546
40				308	1649	1957			
60				273	1277	1550			
70				585	3105	3690			

Profondeur (cm)	Station IV			Station V			Station VI		
	S	I	S + I	S	I	S + I	S	I	S + I
0-2	1217	4515	5732	1275	4978	6253	1528	4877	6405
4-6	1000	4055	5055	161	1249	1410	591	2914	3505
8-10	918	4087	5005	72	932	1004	586	2397	2983
12-14	675	2816	3491	117	1223	1340	555	2306	2862
16-18	829	2816	3645				343	2015	2538
20-22	845	3332	4177				221	1613	1834
24-26	583	2723	3306				324	1708	2032
40	236	2002	2238				268	1811	2079
60	272	2253	2525				307	2245	2552
70	206	1737	1943				—	—	—
90							276	2173	2449

(apports détritiques duranciens) et en profondeur aux stations V et VI du fait de la forte minéralisation et de la diagenèse précoce. Il apparaît donc bien que les valeurs du rapport glucides insolubles/glucides solubles sont liées au degré d'altération et d'évolution de la matière organique dans les sédiments. A ce titre, l'exemple de la station V est particulièrement illustratif. La présence dans ces sédiments de très nombreuses coquilles de bivalves facilite les échanges ioniques de part et d'autre de l'interface (Delmas, 1980). Par ailleurs, à cette station et uniquement à celle-ci, la micro-biomasse estimée par l'ATP ne diminue pas entre les niveaux 0-2 et 4-6 cm (Delmas, Romano, 1980). En d'autres termes, la structure « perméable » de ces sédiments permet le maintien de conditions favorables à l'activité d'une biomasse. Or, à cette même occasion, le rapport I/S présente une très forte augmentation au cours de l'enfouissement (3,9 à l'interface; 7,5 à 5 cm; 12 à 9 cm), aussi est-il tentant d'associer cette rapide disparition de la fraction soluble à la présence d'une micro-biomasse qui l'utiliserait préférentiellement.

Il semble donc que l'évolution différentielle des glucides dans les fractions solubles et insolubles soit liée au degré d'altération de la matière organique dans les sédiments. Pour vérifier ce fait nous allons suivre la distribution de ces deux fractions glucidiques dans des échantillons de sédiments provenant du milieu océanique.

Évolution du rapport I/S dans les sédiments océaniques

La description quantitative des constituants biochimiques de la matière organique et notamment des glucides

présents dans ces échantillons a été faite par Daumas *et al.* (1977; 1978; 1979) et Sautriot (1981); nous nous bornerons donc à suivre les variations du rapport I/S en fonction de l'enfouissement et de les relier aux événements susceptibles de les déterminer.

Tableau 3

Évolution des différentes fractions glucidiques, des rapports I/S et C/N et de T_{75} dans les sédiments de la fosse de Cariaco (station 1, Orgon II) et du plateau continental des côtes guyanaises (station 9, Orgon II). Les glucides sont exprimés en microgrammes d'équivalent glucose par gramme de sédiment; T_{75} est donné en minutes.

Carbohydrate ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in glucose equivalents), I/S and C/N ratio and T_{75} (minutes) evolution in sediments from the Cariaco trench (station 1, Orgon II) and Guyana continental shelf (station 9, Orgon II).

Profondeur (cm)	I	S	I + S	I/S	C/N(*)	T_{75}
Station I						
0-2	3209	512	3721	6,3	7,3	46
2-4	3844	491	4335	7,8	8,2	42
4-6	3989	576	4565	6,9	8,0	51
15-17	3431	484	3915	7,1	8,6	51
25-27	4352	640	4992	6,8	8,2	53
Station 9						
0-2	1506	196	1702	7,7	7,6	—
2-4	1526	178	1704	8,5	7,6	—
4-6	1522	189	1711	8,0	6,6	—
15-17	1785	310	2095	5,7	7,3	—
25-27	1366	204	1570	6,7	7,4	—
100	1096	169	1265	6,5	8,2	—
200	1057	145	1202	7,3	—	—
300	998	129	1127	7,7	8,3	—
400	986	153	1139	6,4	6,6	—
500	977	156	1133	6,2	7,3	—

(*) d'après Daumas *et al.* (1978).

Quatre groupes de sédiments ont pu être distingués, tant en fonction de l'évolution de I/S que des modalités de dépôt et de dégradation de la matière organique

Sédiments de la fosse de Cariaco (station 1 - Orgon II) et du plateau continental des côtes guyanaises (station 9 - Orgon II)

Dans ces sédiments, les valeurs du rapport I/S (tab. 3) tout comme celles du rapport C/N, déterminées par Daumas *et al.* (1978), ne présentent pas l'évolution au cours de l'enfouissement mais plutôt des fluctuations entre 6 et 8. Ces valeurs modérées du rapport I/S peuvent s'expliquer par la forte réduction des sédiments (présence de lits de monosulfures) ainsi que par les taux de sédimentation élevés, supérieurs à 50 cm par 1 000 ans (Moyes *et al.*, 1978) qui permettent une bonne conservation de la matière organique sans altérations notables (Daumas *et al.*, 1978).

Sédiments de la « dorsale » du Cap Vert (station 16 - Orgon III)

Les valeurs de I/S observées à cette station augmentent très rapidement au cours de l'enfouissement, elles doublent en effet entre l'interface et le niveau 20-22 cm (tab. 4). La disparition préférentielle de la fraction glucidique soluble est à rapprocher de l'accroissement rapide des valeurs du rapport C/N. Dans ces sédiments les mécanismes de dégradation et de diagenèse précoce de la matière organique seraient facilités par les taux de sédimentations faibles (Moyes *et al.*, 1979) ainsi que par la présence d'une matière d'origine essentiellement planctonique (Corbet *et al.*, 1979).

Tableau 4

Évolution des différentes fractions glucidiques, des rapports I/S et C/N et de T₇₅ dans les sédiments de la dorsale du Cap Vert (station 16, Orgon III). Les glucides sont exprimés en microgrammes d'équivalent glucose par gramme de sédiment ; T₇₅ est donné en minutes.

Carbohydrate (µg.g⁻¹ in glucose equivalents), I/S and C/N ratio and T₇₅ (minutes) evolution in sediments from the Cape Verde plateau (station 16, Orgon III).

Profondeur (cm)	I	S	I + S	I/S	C/N(*)	T ₇₅
0- 2	1781	121	1902	14,7	9,2	73
10-12	1373	67	1440	20,5	10,0	84
20-22	971	30	1001	32,5	13,1	75

(*) D'après Jocteur-Monrozier et Jeanson (1979).

Sédiments du plateau continental norvégien (station 8 - Orgon I)

Dans les sédiments subsuperficiels les valeurs de I/S sont élevées, supérieures à 20 (tab. 5), et elles ne semblent pas être liées aux transformations de la matière organique *in situ*. En effet, Moyes *et al.* (1977) ont pu montrer que dans cette région, les dépôts résultent essentiellement de l'abandon sur le plateau continental par les glaces de banquise de matériaux érodés sur le continent voisin. La matière organique de ces sédiments

Tableau 5

Évolution des différentes fractions glucidiques et des rapports I/S et C/N dans les sédiments du plateau continental norvégien (station 8, Orgon I). Les glucides sont exprimés en microgrammes d'équivalent glucose par gramme de sédiments.

Carbohydrate (µg.g⁻¹ in glucose equivalents), I/S and C/N ratio evolution in sediments from the Norwegian continental shelf (station 8, Orgon I).

Profondeur (cm)	I	S	I + S	I/S	C/N(*)
0	1489	228	1717	6,5	6,9
25	682	41	723	28,3	7,5
50	481	27	507	22,2	9,4
100	459	21	480	22,2	14,6
150	535	19	554	27,9	18,2
200	500	21	521	23,8	13,7
250	552	25	577	22,1	14,2

(*) d'après Daumas *et al.* (1977).

aurait donc une origine essentiellement terrestre; ce fait a, par ailleurs, été confirmé par la distribution des acides gras et des hydrocarbures (Saliot, Tissier, 1977) ainsi que par les caractéristiques des acides humiques (Debyser, Gadel, 1977). Les valeurs élevées de I/S observées dans ces échantillons semblent liées à la présence de matière organique terrigène détritique; cette situation n'est pas sans rappeler celle observée au nord de l'étang de Berre soumis aux apports de matériel détritique par les eaux de la Durance.

Tableau 6

Évolution des différentes fractions glucidiques et des rapports I/S et C/N dans les sédiments de la radiale du Cap Blanc (Orgon III). Les glucides sont exprimés en microgrammes d'équivalent glucose par gramme de sédiments.

Carbohydrate (µg.g⁻¹ in glucose equivalents), I/S and C/N ratio evolution in sediments from the Cap Blanc transect (Orgon III).

Profondeur (cm)	I	S	I + S	I/S	C/N(*)
Station 13					
0- 2	3397	429	3826	7,9	—
10-12	2761	311	3072	8,9	—
20-22	3060	194	3254	15,8	—
Station 14					
0- 2	7013	1078	8091	6,5	5,8
10-12	5884	657	6543	8,3	6,9
Station 15					
0- 2	7360	1178	8538	6,0	9,4
10-12	6631	837	7468	7,9	10,0
20-22	7024	787	7811	8,9	10,5
Station 11					
0- 2	4563	334	4897	13,0	7,5
10-12	3993	461	4454	8,0	7,8
20-22	4056	412	4468	9,0	8,6
Station 10					
0- 2	3355	108	3463	31,0	10,6
10-12	3596	83	3679	43,0	7,4
20-22	2334	89	2423	26,0	17

(*) d'après Jocteur-Monrozier et Jeanson (1979).

Sédiments de la radiale du Cap Blanc (stations 10, 11, 13, 14, 15 - Orgon III; tableau 6)

La radiale du Cap Blanc coupe une aire à forte production primaire liée à l'existence d'un upwelling le long des côtes mauritaniennes. Celles-ci, bordées de régions arides, ne contribuent pas à des apports organiques terrigènes au milieu marin (Arnould, Pelet, 1979). A l'interface, les plus basses valeurs du rapport I/S correspondent aux stations 14 et 15, caractérisées par une forte accumulation organique liée à la production de ce système d'upwelling (Daumas *et al.*, 1979). Les valeurs de I/S augmentent vers le large, simultanément à l'éloignement de l'aire de production maximale et à l'accroissement de la bathymétrie (fig. 4). Aux stations les plus soumises à l'influence de l'aire à forte production (stations 13, 14 et 15) le rapport I/S augmente lentement au cours de l'enfouissement. Par contre, à l'interface des stations 10 et 11, on peut observer des valeurs élevées du rapport I/S (respectivement 31 et 13), lesquelles dans les sédiments de la station 10 présentent des fluctuations importantes au cours de l'enfouissement où elles peuvent atteindre des valeurs supérieures à 40. Moyes *et al.* (1979) ont établi, pour cette station notamment, que les dépôts se font essentiellement sous formes de turbidites chariant des sédiments remaniés du plateau continental. Or ce mode de transfert de la matière organique vers le large semble favoriser les processus de dégradation et de diagenèse précoce (Daumas *et al.*, 1979) et donc la dégradation préférentielle des glucides solubles.

L'étude des glucides solubles et insolubles des sédiments océaniques montre que les valeurs du rapport glucides insolubles/glucides solubles sont étroitement liées aux modalités des transformations de la matière organique. Par ailleurs, à partir des données d'Artem'yev (1974), nous avons calculé les valeurs de I/S dans des sédiments oxydés du bassin NW du Pacifique ainsi que dans les sédiments réduits de la fosse du Japon. Dans les premiers, les valeurs de I/S augmentent au cours de l'enfouissement : 5,3 à l'interface ; 10,9 à 2,8 m et 18,2 à 6,5 m ; inversement dans les sédiments réduits, les valeurs de ce rapport sont faibles et n'évoluent pas au

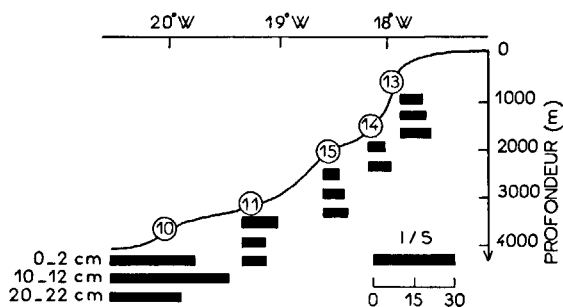


Figure 4
Évolution du rapport I/S dans les sédiments de la radiale du Cap-Blanc.
Evolution of I/S ratio in sediment cores from the Cap-Blanc transect.

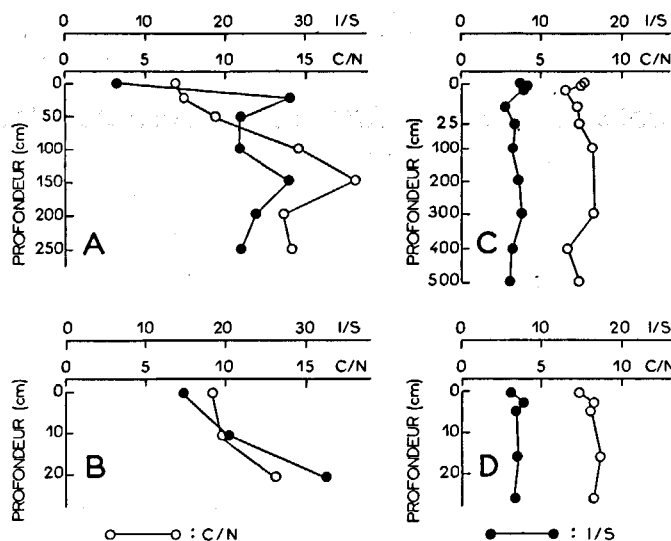


Figure 5
Évolution des rapports I/S et C/N dans des sédiments océaniques. A, plateau continental norvégien; B, plateau du Cap Vert : sédiments oxydés; C, plateau continental guyanais; D, fosse de Cariaco : sédiments réduits.
Evolution of I/S and C/N ratios in oceanic sediments. A, Norwegian continental shelf; B, Cape Verde plateau: oxic sediments; C, Guyana continental shelf; D, Cariaco Trench: reduced sediments.

cours de l'enfouissement. Ces observations, tout comme celles précédemment exposées, montrent l'influence des conditions d'oxydo-réduction sur la disparition préférentielle de la fraction soluble (fig. 5). Notons que celle-ci dépend également, comme nous avons pu le montrer pour les autres sédiments océaniques : 1) des taux de sédimentation ; 2) du mode de transfert et de dépôt de la matière organique ; 3) de l'origine terrestre ou planctonique de ce matériel ; 4) mais aussi de son utilisation par la microbiovie des sédiments.

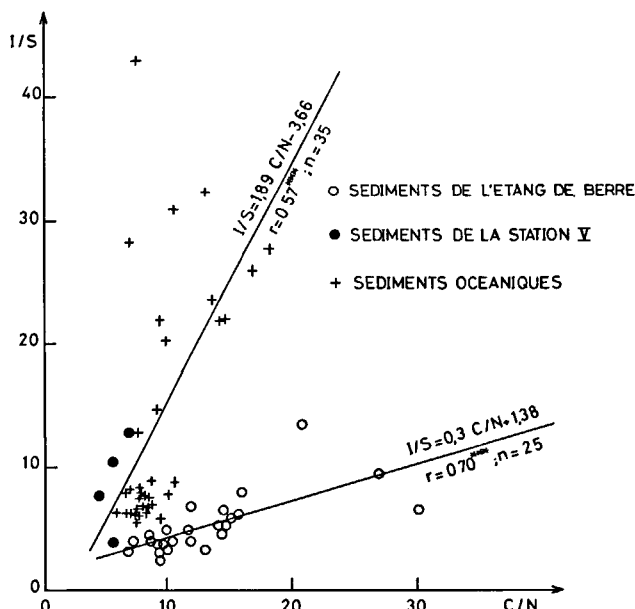


Figure 6
Relations entre les rapports I/S et C/N.
Relationship between I/S and C/N ratios.

Les relations entre les valeurs de I/S et l'évolution de la matière organique sont également étayées par les corrélations hautement significatives existant entre I/S et C/N (fig. 6). Remarquons toutefois que ces relations sont différentes selon que l'on s'adresse à des sédiments lagunaires très récents ($I/S = 0,3 C/N + 1,38$; $n = 25$; $r = 0,706$; significatif à 0,1% de risque) ou à des sédiments océaniques plus anciens ($I/S = 1,89 C/N - 3,64$; $n = 35$; $r = 0,571$; significatif à 0,1% de risque). En première analyse, ces différences peuvent être attribuées à l'âge, à l'origine et aux modalités ou aux stades différents d'évolution dans ces deux groupes de sédiments.

Modalités d'évolution des composés glucidiques

La distribution des glucides dans les fractions solubles et insolubles est liée au degré d'évolution de la matière organique dans les sédiments. Pour apprécier les modalités de ces évolutions différentielles, j'ai déterminé le T_{75} du matériel glucidique par cinétique d'hydrolyse (fig. 7).

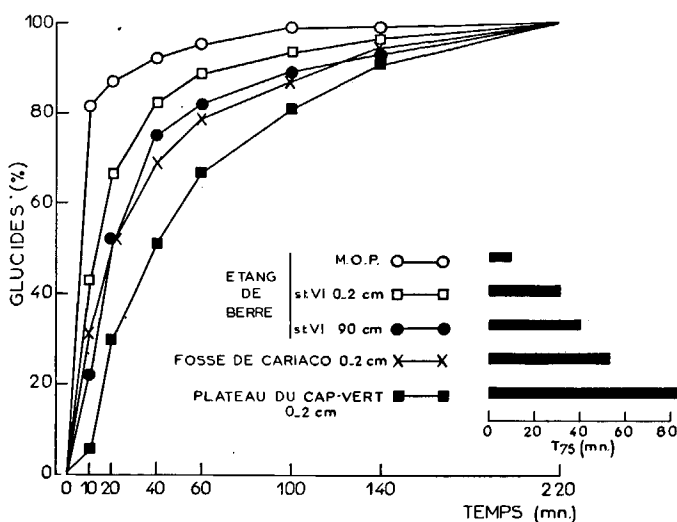


Figure 7
Cinétiques d'hydrolyse des glucides et valeurs de T_{75} de quelques échantillons de seston et de sédiments.
Kinetic of carbohydrate hydrolysis and T_{75} values for seston and sediment samples.

On peut remarquer (tab. 3, 4 et 7) que les valeurs de T_{75} (temps nécessaire pour libérer 75% des glucides par hydrolyse ménagée) présentent des variations voisines de celles du rapport I/S. En outre, les valeurs de I/S et de T_{75} sont parfaitement corrélées ($r = 0,933$; $n = 27$; significatif à 0,1% de risque; fig. 8) et ceci quelle que soit la provenance de la matière organique considérée (lagunaire ou océanique). D'une façon générale, les valeurs de T_{75} augmentent au cours de l'enfouissement de la matière organique dans les sédiments. La résistance des composés organiques aux traitements physico-chimiques peut être associée à leur plus ou moins grande susceptibilité à la dégradation. Ainsi, Jocteur-Monrozier et Jeanson (1979) pour l'azote organique, et Delmas

Tableau 7
Résistance des glucides de l'étang de Berre à l'hydrolyse acide (les valeurs de T_{75} sont données en minutes).
 T_{75} (minutes) values for organic matter from the Étang de Berre.

Seston		Sédiments					
Nord	Sud	Station II		Station IV		Station VI	
		Niveau (cm)	T_{75}	Niveau (cm)	T_{75}	Niveau (cm)	T_{75}
11,3	9	0- 2	55	0- 2	34	0- 2	31
		4- 6	50	4- 6	35	4- 6	34
		24-26	38	24-26	40	24-26	39
		70	45	70	38	90	40

(1981) pour les glucides, ont montré que les cinétiques d'hydrolyse permettent d'apprécier le degré de stabilité de la matière organique. Ainsi, la disparition préférentielle de la fraction glucidique soluble va de pair avec la stabilisation des glucides et plus généralement avec celle de la matière organique dans les sédiments. Cette évolution des glucides doit être associée à la permanence des structures les plus stables et à l'ensemble des réactions physico-chimiques qui vont tendre à stabiliser les composés les plus labiles dans les sédiments.

En fait, il ne faut pas considérer que la fraction soluble ou facilement hydrolysable soit uniquement composée de glucides « labiles » d'origine sestonique qui disparaîtraient préférentiellement. En effet, les travaux de Handa et Mizuno (1973) montrent que l'évolution des glucides dans les sédiments se traduit notamment par la disparition des polysaccharides à poids moléculaire élevé et par l'apparition des glucides à faible poids moléculaire. La fraction soluble serait donc composée d'une part de glucides « labiles » mais aussi de glucides

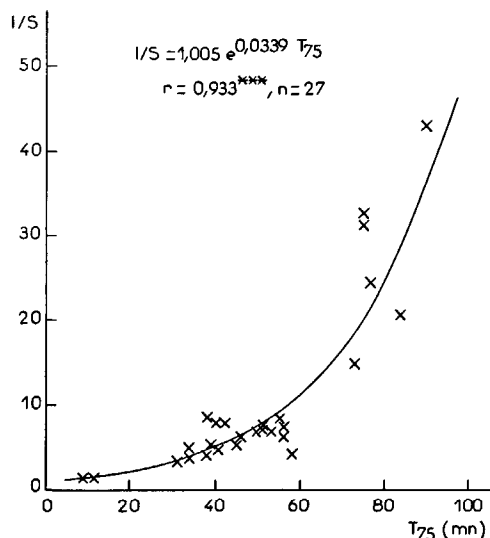


Figure 8
Relation entre I/S et T_{75} .
Relationship between I/S and T_{75} .

provenant de la dégradation biologique et abiotique de structures glucidiques plus complexes, incluses dans la fraction insoluble. Par ailleurs, Nissenbaum et Kaplan (1972), Hedges (1978), Gagosian (1980) considèrent que l'humification de la matière organique a probablement pour point de départ la formation de base de schiff par condensation de sucres simples et d'acides aminés. On peut donc penser que les glucides de la fraction soluble sont plus « disponibles » pour participer à des réactions biogéochimiques faisant intervenir des processus : 1) d'adsorption sur des argiles (Lynch *et al.*, 1957 *a*; Clapp, Emerson, 1972); 2) d'incorporation dans des complexes organo-métalliques (Degens, Mopper, 1975; 1976); 3) de condensation avec des acides aminés (Hedges, 1978); 4) d'incorporation aux acides humiques (Lynch *et al.*, 1957 *b*; Nissenbaum, Kaplan, 1972; Love, 1978). La fraction soluble pourrait être un carrefour entre les processus de dégradation de la matière organique et les toutes premières étapes de la diagenèse.

CONCLUSION

L'étude des glucides solubles et insolubles permet de préciser la nature et la qualité de la matière organique des sédiments marins. La fraction soluble, plus labile, disparaît préférentiellement au cours de l'enfouissement. Les valeurs du rapport glucides insolubles/glucides solubles sont liées au degré de dégradation et de transformation de la matière organique. Ainsi, les profils des rapports C/N et I/S sont similaires et, sur l'ensemble des observations réalisées, ces deux rapports sont significativement liés.

Dans les sédiments, les valeurs de I/S inférieures à 7 ou 8 indiquent que la matière organique est relativement peu altérée; par contre, les valeurs de ce rapport supérieures à 10 et pouvant atteindre 30 traduisent la présence d'un matériel très dégradé.

L'analyse des glucides solubles et insolubles dans les milieux sédimentaires types tels que la fosse de Cariaco a permis de mettre en évidence l'action de certains facteurs sur les variations du rapport I/S. Un taux de sédimentation élevé et un milieu réducteur s'opposent à la disparition préférentielle de la fraction soluble; de tels sédiments sont caractérisés par des valeurs de I/S comprises entre 6 et 8. Inversement, un milieu oxydant et la présence d'une activité biologique importante favorisent une forte augmentation du rapport I/S au cours de l'enfouissement. L'évolution de ce rapport dans les sédiments est également conditionnée par l'origine (terrestre ou marine) et le degré d'altération de la matière organique particulaire qui sédimente.

Dans les sédiments, la disparition préférentielle de la fraction glucidique soluble va de pair avec la « stabilisation » des glucides par divers processus physico-chimiques (adsorption, complexation, condensation, etc.). En fait, la fraction soluble occupe une place intermédiaire entre le matériel insoluble fixé au sédiment et les composés dissous dans les eaux interstitielles; d'autre part, on peut considérer qu'elle est un carrefour entre les processus de dégradation des biopolymères et de diagenèse précoce de la matière organique. En ce sens, le suivi au cours de l'enfouissement des glucides de cette fraction effectué parallèlement à celui de la fraction insoluble (et même par rapport à ceux dissous dans les eaux interstitielles) est à même de nous informer sur l'intensité des processus de dégradation et d'évolution de la matière organique mais aussi de nous dévoiler certains mécanismes de ces évolutions. Vis-à-vis du rapport C/N le rapport I/S paraît plus performant pour apprécier l'évolution de certains composés de la matière organique, notamment quand on tente d'en déceler les modalités. Toutefois, il faudra, dans l'avenir, poursuivre cette étude dans divers milieux sédimentaires océaniques afin de mieux définir la qualité, le niveau d'information et les limites d'une telle approche.

RÉFÉRENCES

- Arnould M., Pelet R., 1979. *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon III, Mauritanie, Sénégal, Iles du Cap Vert*, éd. CNRS, Paris, 441 p.
- Artem'yev V.Ye., 1974. Comparison of the composition of carbohydrates in phytoplankton, suspended matter, and bottom sediments of the ocean, *Oceanology*, **14**, 832-835.
- Clapp C.E., Emerson W.W., 1972. Reactions between Ca-Montmorillonite and polysaccharides, *Soil Sci.*, **114**, 210-216.
- Corbet B., Albrecht P., Tissier M.J., 1979. Hydrocarbures et acides des sédiments, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon III, Mauritanie, Sénégal, Iles du Cap Vert*, édité par M. Arnould et R. Pelet, éd. CNRS, Paris, 353-361.
- Daumas R., Laborde P., Romano J.-C., Sautriot D., 1977. Minéralisation de la matière organique dans les sédiments marins récents, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon I, Mer de Norvège*, édité par A. Combaz, éd. CNRS, Paris, 33-56.
- Daumas R., Laborde P., Paul R., Romano J.-C., Sautriot D., 1978. Les mécanismes de transformation de la matière organique en Atlantique intertropical. Étude de la minéralisation et de la diagenèse dans les sédiments superficiels, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon II, Atlantique Nord-Est, Brésil*, édité par A. Combaz et R. Pelet, éd. CNRS, Paris, 43-86.
- Daumas R., Laborde P., Romano J.-C., Sautriot D., 1979. Distribution et évolution des constituants biochimiques de la matière organique dans les sédiments. Relations avec la composition des eaux interstitielles, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon III, Mauritanie, Sénégal, Iles du Cap Vert*, édité par M. Arnould et R. Pelet, éd. CNRS, Paris, 67-92.
- Debysier Y., Gadel F., 1977. Étude géochimique des composés humiques et des kérogènes, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon I, Mer de Norvège*, édité par A. Combaz, éd. CNRS, Paris, 247-268.
- Degens E.T., Mopper K., 1975. Early diagnosis of organic matter in marine soils, *Soil Sci.*, **119**, 65-72.
- Degens E.T., Mopper K., 1976. Factors controlling the distribution and early diagnosis of organic material in marine sediments, in: *Chemical oceanography, Vol. VI, 2nd ed.*, edited by R. Chester and J.P. Riley, Academic Press, New York, 478-514.
- Delmas D., 1980. Minéralisation de la matière organique et échanges ioniques à l'interface eau-sédiment de l'étang de Berre, Méditerranée, *Oceanol. Acta*, **3**, 3, 347-356.
- Delmas D., 1981. Matière organique de sédiments lagunaires (étang de Berre). Étude des glucides en tant qu'indicateurs de l'origine et de l'évolution de la matière organique, *Thèse Spéc., Univ. Aix-Marseille II*, 101 p.
- Delmas D., Romano J.-C., 1980. Évaluation indirecte de la biomasse et de l'activité des microorganismes dans les sédiments de l'étang de Berre. Relations avec les teneurs et la diagenèse de la matière organique, *Téthys*, **9**, 285-297.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Anal. Chem.*, **28**, 350-356.
- Gagosian R.B., 1980. Transformation reactions of biogenic organic compounds at the sediment-water interface, in: *Biogéochimie de la matière organique à l'interface eau-sédiment marin*, edited by R. Daumas, éd. CNRS, Paris, 211-219.
- Garlenc S., Laborde P., Romano J.-C., Sautriot D., De Sousa-Lima Y., 1980. Distribution et évolution des composés biochimiques de la matière organique dans les sédiments et les eaux sus-jacentes du nord-ouest de l'Océan Indien, *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, **35**, 788-803.
- Gerchakov S.M., Hatcher P.G., 1972. Improved technique for analysis of carbohydrates in sediments, *Limnol. Oceanogr.*, **17**, 938-943.
- Gupta U.C., 1967. Carbohydrates, in: *Soil biochemistry*, edited by A.D. Mc Laren and G.H. Peterson, Marcel Dekker, New York, 91-118.
- Handa N., 1969. Carbohydrate metabolism in the marine diatom *Skeletonema costatum*, *Mar. Biol.*, **4**, 208-214.
- Handa N., Yanagi K., 1969. Studies on water-extractable carbohydrates of the particulate matter from the Northwest Pacific Ocean, *Mar. Biol.*, **4**, 197-207.
- Handa N., Mizuno K., 1973. Carbohydrates from lake sediments, *Geochem. J.*, **7**, 215-230.
- Handa N., Yanagi K., Matsumaga K., 1972. Distribution of detrital materials in the Western Pacific Ocean and their biochemical nature, *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **29** suppl., 53-71.
- Hedges J.I., 1978. The formation and clay mineral reactions of melanoidins, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**, 69-76.
- Hitchcock G.L., 1977. The concentration of particulate carbohydrates in region of the West Africa upwelling zone during March, 1974, *Deep-Sea Res.*, **24**, 83-93.
- Jocteur-Montrozier L., Jeanson P., 1979. L'azote organique et ammoniacal. Combinaison et stabilité chimique, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon III, Mauritanie, Sénégal, Iles du Cap-Vert*, édité par M. Arnould et R. Pelet, éd. CNRS, Paris, 405-422.
- Love L.E., 1978. Carbohydrates in soil, in: *Soil organic matter*, edited by M. Schnitzer and S.U. Khan, Elsevier, Amsterdam, 65-93.
- Lynch D.L., Wright L.M., Hearn E.E., Cotnoir L.J. Jr., 1957 a. Some factors affecting the adsorption of cellulose compounds, pectins, and hemicellulose compounds on clay minerals, *Soil Sci.*, **84**, 113-126.
- Lynch D.L., Wright L.M., Olney H.O., 1957 b. Qualitative and quantitative chromatographic analysis of carbohydrates constituents of the acid-insoluble fraction of soil organic matter, *Soil Sci.*, **84**, 405-411.
- Maillard L.C., 1912. Action des acides aminés sur les sucres : formation des mélanoidines par voie méthodique, *C.R. Acad. Sci., Paris*, **154**, 66-68.
- Minas M., 1970. Résultats d'observations hydrologiques sur l'étang de Berre, années 1965, 1966, 1967. Modifications du régime hydrologique par suite du déversement des eaux apportées par le canal de dérivation de la Durance, *Cah. Océanogr.*, **22**, 73-78.
- Minas M., 1974. Distribution, circulation et évolution des éléments nutritifs, en particulier du phosphore minéral, dans l'étang de Berre. Influence des eaux duranciennes, *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, **59**, 509-542.
- Minas M., 1976. Production organique primaire dans un milieu saumâtre eutrophe (étang de Berre). Effet d'une forte dilution (dérivation des eaux de la Durance), *Mar. Biol.*, **35**, 13-29.
- Moyes J., Gayet J., Pujol C., Pujos-Lamy A., 1977. Étude stratigraphique et sédimentologique, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon I, Mer de Norvège*, édité par A. Combaz, éd. CNRS, Paris, 81-137.
- Moyes J., Gayet J., Poutiers J., Pujol C., Pujos-Lamy A., 1978. Étude stratigraphique et sédimentologique, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon II, Atlantique Nord-Est, Brésil*, édité par A. Combaz et R. Pelet, éd. CNRS, Paris, 105-156.
- Moyes J., Duplantier F., Duprat J., Faugères J.-C., Pujol C., Pujos-Lamy A., Tastet J.-P., 1979. Étude stratigraphique et sédimentologique, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon III, Mauritanie, Sénégal, Iles du Cap-Vert*, édité par M. Arnould et R. Pelet, éd. CNRS, Paris, 121-212.
- Myklestad S., 1974. Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms. I. Comparison of nine different species in culture, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **15**, 261-274.
- Myklestad S., 1977. Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms. II. Influence of the N/P ratio in the growth medium on the assimilation ratio, growth rate, and production of cellular and extracellular carbohydrates by *Chaetoceros affinis* var. *Willei* (Gran) Hustedt and *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **29**, 161-179.
- Nissenbaum A., Kaplan I.R., 1972. Chemical and isotopic evidence for the *in situ* origin of marine humic substances, *Limnol. Oceanogr.*, **17**, 570-581.
- Parsons T.R., Strickland J.H.D., 1962. Oceanic detritus, *Science*, **136**, 313-314.
- Parsons T.R., Stephens K., Strickland J.H.D., 1961. On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters, *J. Fish. Res. Board Canada*, **18**, 1001-1016.
- Saliot A., Tissier M.J., 1977. Interface eau sédiment : acides gras et hydrocarbures dissous et particuliers dans l'eau de mer, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon I, Mer de Norvège*, édité par A. Combaz, éd. CNRS, Paris, 197-208.
- Sautriot D., 1981. Composés biogéniques fixés aux sédiments, in: *Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon IV, Golfe d'Aden, Mer d'Oman*, éd. CNRS, Paris, 133-157.
- Smetacek V., Hendrikson P., 1979. Composition of particulate organic matter in Kiel Bight in relation to phytoplankton succession, *Oceanol. Acta*, **2**, 3, 287-298.
- Stora G., 1976. Évolution des peuplements benthiques d'un étang marin soumis à un effluent d'eau douce, *Bull. Ecol.*, **7**, 275-281.
- Werner D., 1977. *The biology of diatoms*, Bot. Monographs, vol. 13, Blackwell, Oxford, 498 p.