École Doctorale des Sciences de la Mer

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

Bernard Dennielou

Dynamique sédimentaire sur le plateau des Açores pour les derniers 400 ka:

Distribution, lithologie, flux et processus. Implications paléocéanographiques.

En vue de l'obtention du diplôme de docteur de l'Université de Bretagne Occidentale

Composition du jury:

Jean-Claude FAUGERES	Rapporteur	Université de Bordeaux I
Dorrik A.V. STOW	Rapporteur	University of Southampton
Thierry JUTEAU	Examinateur	Université de Bretagne Occidentale
Jean-Pierre REHAULT	Examinateur	Université de Bretagne Occidentale
Franck BASSINOT	Examinateur	CFR, Gif-Sur-Yvette
Fatima ABRANTES	Examinateur	Instituto Geologico e Mineiro, Lisbonne
Thierry GARLAN	Examinateur	EPSHOM, Brest
Gérard AUFFRET	Examinateur	IFREMER, Brest

École Doctorale des Sciences de la Mer

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

Bernard Dennielou

Dynamique sédimentaire sur le plateau des Açores pour les derniers 400 ka:

Distribution, lithologie, flux et processus. Implications paléocéanographiques.

En vue de l'obtention du diplôme de docteur de l'Université de Bretagne Occidentale

Composition du jury:

Jean-Claude FAUGERES	Rapporteur	Université de Bordeaux I
Dorrik A.V. STOW	Rapporteur	University of Southampton
Thierry JUTEAU	Examinateur	Université de Bretagne Occidentale
Jean-Pierre REHAULT	Examinateur	Université de Bretagne Occidentale
Franck BASSINOT	Examinateur	CFR, Gif-Sur-Yvette
Fatima ABRANTES	Examinateur	Instituto Geologico e Mineiro, Lisbonne
Thierry GARLAN	Examinateur	EPSHOM, Brest
Gérard AUFFRET	Examinateur	IFREMER, Brest

Avant-propos

Cette thèse a bénéficié du soutien financier de l'EPSHOM et m'a été proposée à l'issue de mon service national par Thierry Garlan. Je le remercie de m'avoir fait une totale confiance pour mener ce travail.

Je suis également reconnaissant à Gérard Auffret de m'avoir accueilli à l'IFREMER et de m'avoir fait partager ses connaissances en sédimentologie. Je le remercie ne pas m'avoir "dirigé" mais guidé et soutenu, j'ai beaucoup apprécié cet espace de liberté. Je le remercie également de m'avoir acheté un "bon Mac".

Thierry Juteau a accepté d'être mon directeur de thèse à l'UBO et a été mon lien avec l'université durant cette thèse. Ma pensée va également à Gisèle Quentel qui s'est occupé des tâches administratives et m'a permis de ne pas me noyer dans ce dédale. Je lui souhaite une retraite heureuse.

Je souhaite remercier les membres du jury qui ont bien voulu juger ce travail: Jean-Claude Faugères, Dorrik Stow, Thierry Juteau, Jean-Pierre Réhault, Franck Bassinot, Fatima Abrantes, Gérard Auffret et Thierry Garlan.

Merci à David Needham d'avoir mis a ma disposition les données bathymétriques et acoustiques de la mission SIGMA. Merci également à Gérard Auffret d'avoir mis à ma disposition les carottes GEOFAR.

Les "appelés" du SHOM m'ont particulièrement aidé pour l'acquisition des données, merci à Philippe Pervès, Philippe Quémart, Cyril Mallet, Pierre-Hugues Le Jeune, Benoît Perussel et Axel Erhold.

J'ai beaucoup apprécié la bonne ambiance au sein du département des Géosciences Marines (DRO/GM) de l'IFREMER, dirigé par Jean-Pierre Henriet puis Henri Bougaut, et dans le laboratoire "Environnement Sédimentaires" dirigé par Serge Berné puis Pierre Cochonat.

Un grand merci à Pascal, Eliane et Cathy et Michel de m'avoir épaulé dans la manipulation des outils informatico-cartographico-geographico-acoustico-bathymétriques.

Hervé Nouzé m'a particulièrement aidé pour établir des sismogrammes synthétiques que je n'ai malheureusement pas exploités dans cette thèse (merci et désolé..). Vincent Allard a réalisé les décarbonatations et les mesures de granulométrie résiduelles de la carottes GEOFAR-KF21.

Toute ma reconnaissance va René Kerbrat, Gilber Floch et Ronan Aprioual qui m'ont rendu agréables les opérations gamma-ouverture-description-calcimétrie-granulométrie.

J'ai une pensé particulière pour tous les thésards que j'ai côtoyés et côtoie encore à DRO/GM et à l'UBO. Ils s'appellent, entre autres, Pep, Momo, Giovanni, Florence, Agnès, Marc, Fred, Savé, Ralph, Tine (geen student meer), Luis, Isabelle, Katell, Pam, Ivan, Eric et Martine.

Merci beaucoup An pour m'avoir supporté ces derniers mois, je vais avoir l'occasion de te rendre la pareille.

1.3. Epaisseur des sédiments 47
2. Lithologie, composition des sédiments sur le plateau des Açores 50
2.1. Composante d'origine biogènes 50
2.1.1. Teneurs en carbonates 50
2.1.2. Teneurs en silice biogène 57
2.1.2.1. Teneurs plancton siliceux 60
2.1.2.2. Teneurs en spicules 60
2.2. Composante volcanique 62
2.2.1. Teneurs en feldspath 63
2.2.2. Teneurs en verre volcanique 66
2.3. Composition de la fraction argileuse des sédiments de surface 66
2.4. Teneurs en sables 69
2.5. Lithologies particulières 70
3. Densité humide 75
4. Stratigraphie: les taux de sédimentation 80
5. Synthèse litho-stratigraphique 90
6. Situation dans l'océan Atlantique 95
7. Relation entre la texture et la composition du sédiment 96
8. Conclusions 105

CHAPITRE III: Les flux sédimentaires

Introduction 107

1. Résultats 108
1.1. Flux total 108
1.2. Flux des carbonates 113
1.3. Flux résiduel 113
1.4. Flux de plancton siliceux 118
1.5. Flux de spicules 123
1.6. Flux de feldspath 123
1.7. Flux de verre volcanique 128
2. Variabilité spatiale des flux 128
2.1. Variabilité à la source 133
2.2. Les apports latéraux 138
2.3. Variabilité du flux volcanogènes 141
2.4. Variabilité du flux biogène siliceux 142
3. Variabilité temporelle des flux 143
3.1. Flux total 143
3.2. Flux de carbonates 146

3.3. Flux résiduels.....147
3.4. Flux de feldspaths.....147
3.5. Flux de verre volcanique.....147
3.6. Flux de spicules.....147
3.7. Flux de plancton siliceux.....148
4. Conclusions.....148

CHAPITRE IV: Les processus sédimentaires

1. Les processus gravitaires.....151
1.1. Turbidites pélagiques.....151
1.2. Dépôts gravitaires en provenance des îles.....154
2. Le volcanisme sous-marin.....155
2.1. Le mont 38°20N.....155
2.2. Menez Gwen.....161
2.3. Lucky Strike.....161
2.4. Conclusion.....165
3. Rôle des courants et paléocirculation de surface sur le plateau des Açores.....166
3.1. Introduction.....166
3.2. Principe de l'enregistrement de l'hydrodynamisme par le sédiment.....167
3.3. Comportement des particules dans un courant: peut-on considérer toutes les classes de taille?.....171
3.4. Indice représentatif de la variabilité de la texture.....173
3.5. Phase biogène et terrigène: le problème de la texture à la source.....176
3.6. Méthode d'extraction du signal hydrodynamique (SH).....177
3.7. Mise en évidence du signal hydrodynamique (SH).....180
3.8. Caractéristiques texturales des sédiments présentant un SH élevé.....186
3.9. Signification des variations de l'indice hydrodynamique.....188
3.10. Estimation des vitesses de courant associées aux fortes énergies.....190
3.11. Variabilité de l'hydrodynamisme sur le plateau des Açores.....194
3.12. Implications paléocéanographiques sur les traces du Gulfstream.....197
3.13. Conclusions.....209

Conclusion.....211

ANNEXE 1: Techniques de sédimentologie.....215

1. Gamma-densité....215
1.1. Principe....215
1.2. Mesure de la densité humide....217
2. Calcimétrie....218
3. Granulométrie à diffraction laser....219
3.1. Principe du COULTER LS130....219
3.2. Fonctionnement....224
3.2.1. Protocole....224
3.2.2. Reproductibilité et précision....225
3.2.3. Paramètres influençant la mesure....226
3.3. Traitement des données....227
4. Mesure de la réflectance....227
5. Décarbonatation du sédiment....229
6. Frottis....229

ANNEXE 2: Macro-commandes Excel....231

1. Macro-commande "ConversionFichierCoulter"....231
2. Macro-commande "CalcMoyTotArSiSa"....232
3. Macro-commande "CalcCourbCarb"....232
4. Macro-commande "1 Carotte-1 Fichier"....234

ANNEXE 3: Logs lithologiques et données....251

Bibliographie....319

Liste des figures....327

Introduction

L'objet de cette thèse est la couverture sédimentaire du Plateau des Açores, dans l'océan Atlantique, entre 40°30N-35°N et 35°W-25°W, (Fig. 1). Notre but est de déterminer la distribution et la nature des sédiments, et de comprendre les processus sédimentaires actifs et anciens.

Le plateau constitue une région particulière de l'océan Atlantique, caractérisée par une faible profondeur d'eau moyenne (entre 1000 et 2000 mètres), par la présence de volcanisme aérien (9 îles) et sous-marin, la présence d'une dizaine de petits segments de la dorsale médio-Atlantique, et par la présence de sources hydrothermales (Fig. 2). En raison de son éloignement des continents le plateau des Açores est une région à faibles apports sédimentaires terrigènes et biogènes.

Dans l'Atlantique nord au Quaternaire terminal les variations climatiques conditionnent les apports et les processus sédimentaires. Ces variations sont essentiellement contrôlées par les cycles de Milankovitch et les réactions induites. Elles se manifestent par une oscillation nord-sud du front polaire entre 65°N et 42°N, des variations dans la circulation de surface et profonde, et occasionnellement par des instabilités des calottes de glace. Ces caractéristiques produisent une forte variabilité de la source des sédiments biogènes et terrigènes et de leurs vecteurs (vents et courants), et aboutit à une forte variabilité litho-stratigraphique des sédiments marins. Le Plateau des Açores, localisé en permanence au sud du front polaire, se trouve relativement peu affecté par les variations climatiques. Il se situe dans une région climatique de transition entre la forte variabilité climatique de l'Atlantique nord et la stabilité de l'Atlantique subtropical. De nombreuses études sédimentologiques et paléocéanographiques ont été menées dans l'océan Atlantique nord, presque toutes au-dessus de 42°N. A ce jour le plateau des Açores n'avait été abordé que ponctuellement et toujours dans le cadre d'études à l'échelle de l'océan. Pour cette raison peu de choses y étaient connues sur la variabilité spatio-temporelle de la lithologie et des processus sédimentaires.

Nous nous proposons d'aborder la variabilité spatio-temporelle de la lithologie et des processus sédimentaires pour les derniers 400 ka et de répondre aux questions suivantes:

- Quelle est la distribution des sédiments?
- Quel est le contrôle exercé par le contexte morphologique?
- Quelle est la lithologie des sédiments?
- Quelles sont les sources sédimentaires et quelle est l'importance et la variabilité des flux sédimentaires?
- Quels processus contrôlent le dépôt des sédiments?

et plus généralement:

- Quel est le rôle des particulariés morphologiques du plateau (faible profondeur, îles, dorsale et activité hydrothermale) sur la distribution et la nature des sédiments.
- Quel rôle joue le climat sur la variabilité spatio-temporelle des sédiments et des processus sédimentaires.

L'étude s'appuie sur de la bathymétrie et l'image acoustique du fond [Needham *et al.*, 1992] et un total de 59 carottes (Fig. 3 et Tab. 1) pour lesquelles nous avons établi une stratigraphie, basée sur la variation du $\partial^{18}O$ [Shackleton, 1977], et déterminé la composition, la densité et la texture du sédiment.

Ce mémoire comporte quatre chapitres:

Dans le premier chapitre nous présenterons une méthode particulière pour calculer la granulométrie des carbonates à partir de la teneur en carbonates et la granulométrie du sédiment total et décarbonaté. Une méthode de calcul de la densité des sédiments à partir de l'absorption gamma. Une méthode de corrélation stratigraphique des carottes à partir de la réflectance des sédiments.

Le deuxième chapitre abordera la distribution des sédiments sur la dorsale et leurs caractéristiques lithostratigraphiques à l'échelle régionale pour aboutir à une carte synthétique des faciès litho-stratigraphiques. L'étude sera illustrée par des cartes de teneurs pour les stades isotopiques 1 à 6, l'époque récente et le LGM (Last Glacial Maximum). Nous examinerons également la relation existant entre la texture et la composition des sédiments.

Le troisième chapitre abordera les flux sédimentaires. Nous discuterons particulièrement la variabilité des sources et l'importance des apports latéraux dans les bassins de la dorsale.

Dans le quatrième et dernier chapitre nous aborderons les processus sédimentaires: essentiellement l'action des courants de fond mais également les mouvements gravitaires et les dépôts résultants d'explosions volcaniques sous-marines. Nous discuterons ensuite l'origine des courants de fond et les implications paléocéanographiques dans le contexte de la circulation dans l'Atlantique nord.

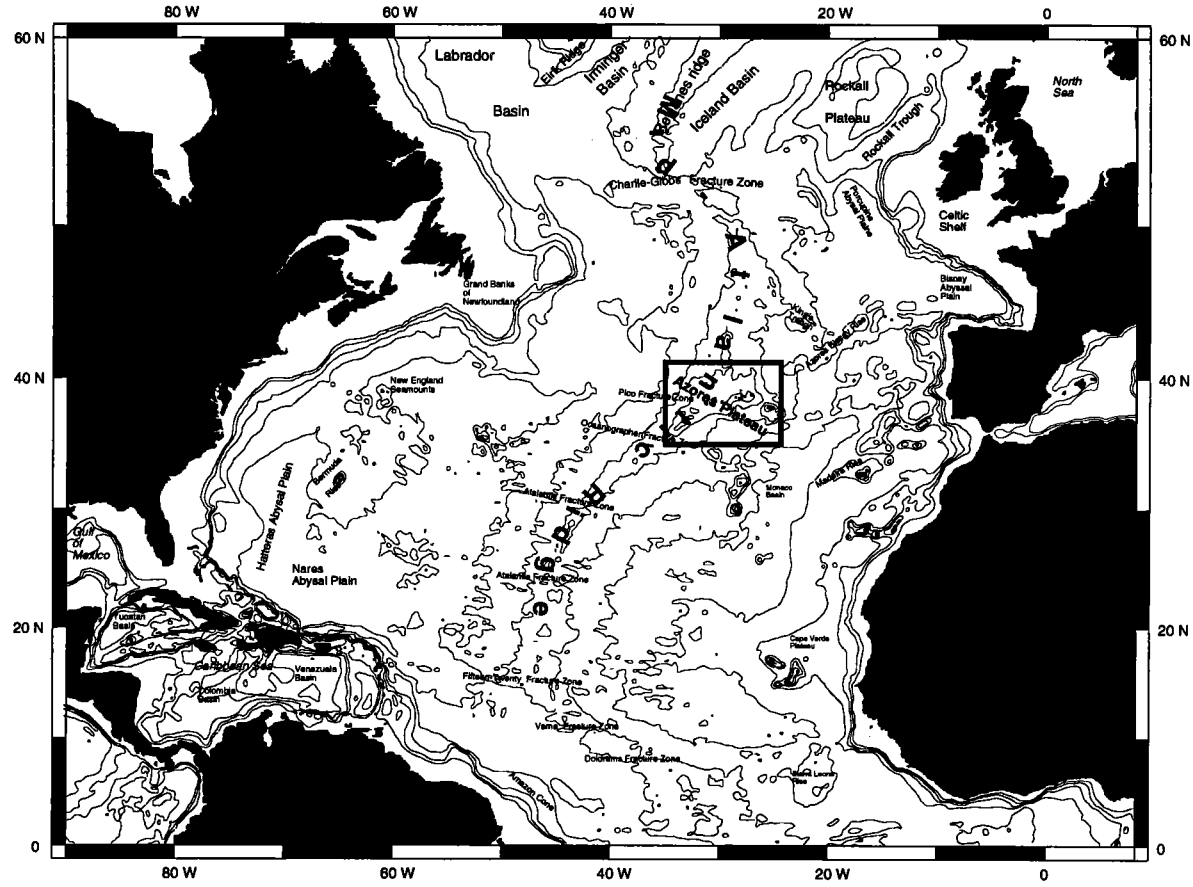


Fig. 1: Carte bathymétrique de l'océan Atlantique nord avec les principaux repères physiographiques. Les contours sont tous les 1000 mètres et proviennent de la base de données ETOPO5. Les repères physiographiques proviennent de la GEBCO.

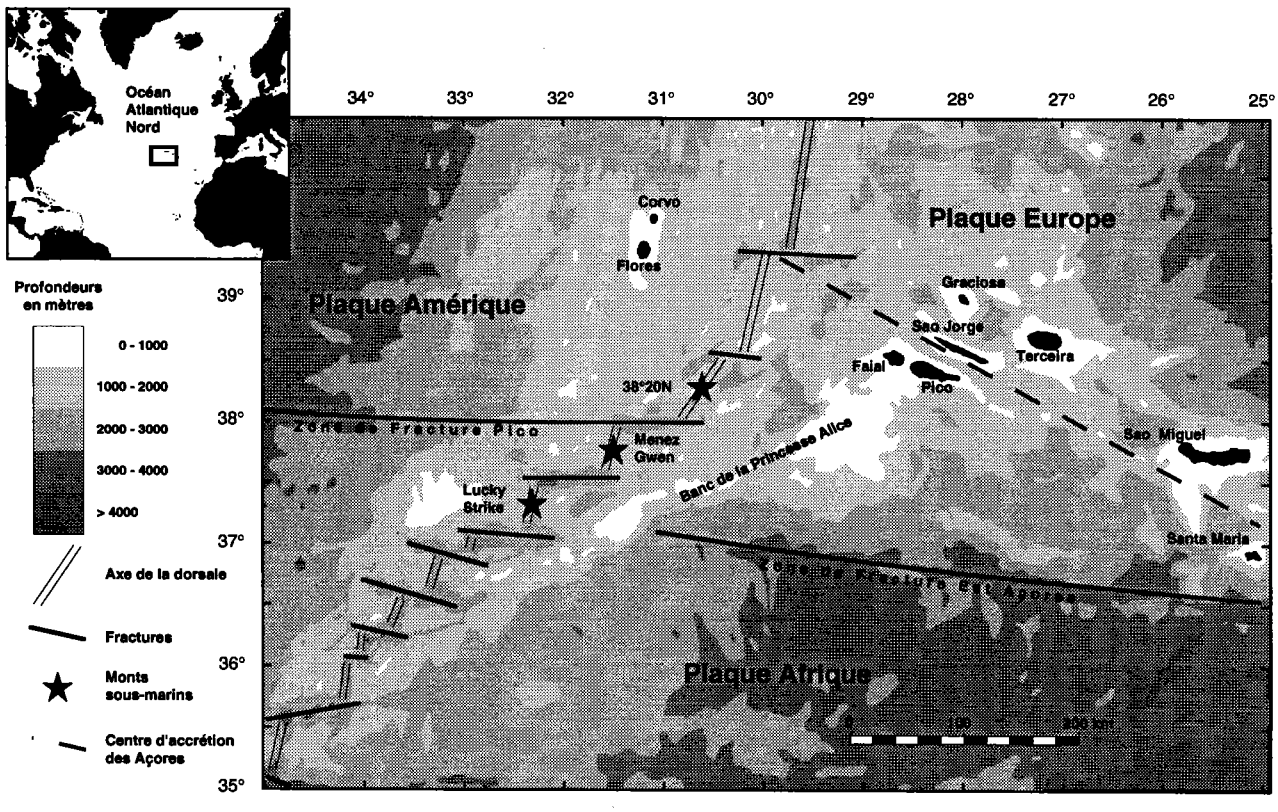


*Fig. 2: Localisation de la zone d'étude: **le Plateau des Açores** et les principales caractéristiques morpho-géologiques. Le continent le plus proche (la péninsule ibérique) est située à plus 1700 km, une grande partie du plateau est située à moins de 2000 mètres de profondeurs, on y trouve 9 îles volcaniques (Sao Miguel, Santa Maria, Graciosa, Terceira, Sao Jorge, Faial, Pico, Corvo et Flores) et la dorsale le traverse selon une direction environ SW-NE. Le fond bathymétrique à été établie par Serge Monti (IFREMER, DRO/GM).*

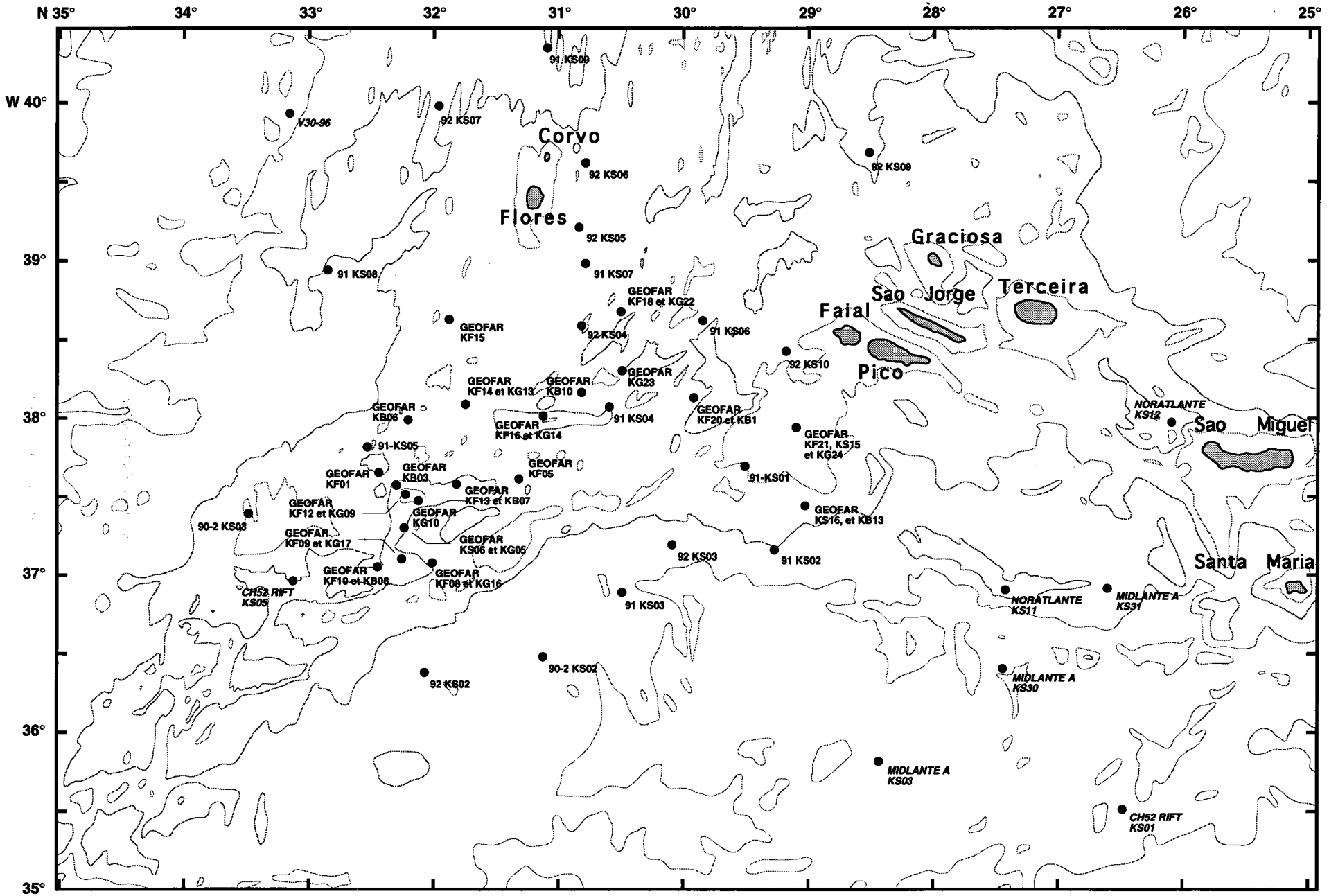


Fig. 3: Position des carottes utilisées dans cette étude. Les noms en italique indiquent les carottes issues de la littérature.

Carottes	latitude	Longitude	Profondeur (m)	Longueur (m)	*Equivalent en surface*
90-1-KS01	43°33.82'N	31°20.76'W	3280	5.83	
90-1-KS02	42°58.40'N	27°48.35'W	3072	6.24	
90-2-KS02	36°17.44'N	31°11.66'W	2953	5.31	
90-2-KS03	37°20.94'N	33°31.40'W	1108	4.03	
91-S01	37°42.33'N	29°38.23'W	1285	4.18	
91-S02	37°06.38'N	29°12.96'W	2259	4.67	
91-S03	36°46.01'N	30°29.77'W	2890	4.29	
91-S04	38°05.45'N	30°35.84'W	2183	3.87	
91-S05	37°49.27'N	32°32.58'W	2181	3.79	
91-S06	38°31.32'N	29°53.40'W	2250	5.84	
91-S07	38°55.80'N	30°50.30'W	1790	3.90	
91-S08	38°57.66'N	32°46.53'W	2110	3.68	
91-S09	40°22.03'N	31°10.01'W	2059	5.05	
92-S02	36°23.87'N	32°12.06'W	2775	1.51	
92-S03	37°16.28'N	30°03.12'W	2260	3.96	
92-S04	38°31.53'N	30°53.87'W	1820	3.21	
92-S05	39°12.21'N	30°51.94'W	1892	3.13	
92-S06	39°33.30'N	30°44.68'W	1949	2.17	
92-S07	39°56.44'N	31°59.96'W	2115	3.47	
92-S08	41°02.60'N	31°18.54'W	2600	2.35	
92-S09	39°41.92'N	28°32.89'W	2211	3.66	
92-S10	38°34.60'N	29°15.66'W	1900	5.27	
GEOFAR-KS06	37°15.24'N	32°14.68'W	2150	1.86	*KG05*
GEOFAR-KS15	38°00.36'N	29°04.87'W	1195	4.42	*KG24*
GEOFAR-KS16	37°28.91'N	29°03.18'W	1780	7.78	*KB13*
GEOFAR-KF01	37°41.94'N	32°27.92'W	2400	5.00	
GEOFAR-KF08	37°05.22'N	31°59.66'W	2120	4.50	*KG16*
GEOFAR-KF09	37°06.68'N	32°17.21'W	2655	4.73	*KG17*
GEOFAR-KF10	37°03.75'N	32°26.69'W	2830	4.05	*KB08*
GEOFAR-KF12	37°33.22'N	32°13.17'W	3290	4.79	*KG09*
GEOFAR-KF13	37°34.70'N	31°50.53'W	2690	5.86	*KB07*
GEOFAR-KF14	38°02.03'N	31°40.12'W	2160	4.69	*KG13*
GEOFAR-KF15	38°39.38'N	31°51.91'W	1165	2.71	
GEOFAR-KF16	37°59.94'N	31°07.70'W	3050	8.00	*KG14*
GEOFAR-KF18	38°34.99'N	30°37.01'W	2225	4.42	*KG22*
GEOFAR-KF20	38°07.02'N	29°52.07'W	1825	4.21	*KB11*
GEOFAR-KF21	38°00.19'N	29°05.60'W	1180	7.40	*KG24*
GEOFAR-KG09	37°33.10'N	32°13.13'W	3285	0.14	
GEOFAR-KG10	37°28.04'N	32°08.08'W	3205	0.19	
GEOFAR-KG13	38°02.01'N	31°40.02'W	2145	0.30	
GEOFAR-KG14	38°00.03'N	31°07.76'W	3050	0.30	
GEOFAR-KG16	37°05.33'N	31°59.67'W	2115	0.20	
GEOFAR-KG17	37°06.60'N	32°17.40'W	2670	0.30	
GEOFAR-KG18	37°16.81N	32°16.34'W	1690	0.30	
GEOFAR-KG19	37°19.99'N	32°20.25'W	2150	0.30	
GEOFAR-KG21	38°59.50'N	31°52.06'W	1160	0.10	
GEOFAR-KG22	38°35.00'N	30°37.00'W	2225	0.25	
GEOFAR-KG23	38°19.97'N	30°25.94'W	2188	0.15	
GEOFAR-KG24	38°00.15'N	29°05.67'W	1180	0.30	
GEOFAR-KB03	37°36.98'N	32°18.04'W	2810	0.34	
GEOFAR-KB04	37°49.28'N	32°32.58'W	2180	0.28	
GEOFAR-KB06	37°56.00'N	32°12.05'W	1975	0.23	
GEOFAR-KB07	37°34.64'N	31°50.55'W	2735	0.39	
GEOFAR-KB08	37°03.80'N	32°26.72'W	2825	0.25	
GEOFAR-KB09	37°56.06'N	31°59.99'W	1970	0.39	
GEOFAR-KB10	38°10.76'N	30°48.79'W	1660	0.22	
GEOFAR-KB11	38°07.01'N	29°51.97'W	1830	0.27	
GEOFAR-KB13	37°28.89'N	29°03.33'W	1780	0.17	
MD95-2037	37°05.23'N	32°01.87'W	2159	31.81	

***Tab. 1**: Coordonnées géographiques, profondeurs et longueurs des carottes étudiées.*

CHAPITRE I:

Les méthodes

1. Calcul de la distribution granulométrique des carbonates

La méthode présentée ci-dessous a pour objet de reconstituer les distributions granulométriques des carbonates à partir de la courbe granulométrique du sédiment total, de la courbe granulométrique du sédiment décarbonaté et de la teneur en carbonates. Ce calcul, en théorie très simple, se révèle complexe lorsque les courbes granulométriques sont exprimées en pourcentages volumiques et les teneurs en carbonates en pourcentages massiques. La difficulté provient de la différence de densité entre les carbonates et la phase non-carbonatée d'une part, et des différences de densité entre les classes granulométriques des carbonates d'autre part. Ces différences peuvent être réelles (forme sphérique creuse des tests de foraminifères) ou virtuelles (principe de la mesure de la texture qui assimile une forme allongée à une sphère par exemple, cf. Annexe Techniques de sédimentologie). En estimant ces différences de densité et il est possible de calculer la distribution granulométrique des carbonates corrigée des effets liés aux différences de densités.

1.1. Principe

La distribution granulométrique des carbonates présente un intérêt pour estimer l'action de paléocourants [Auffret *et al.*, 1981]. Pour l'établir il faut disposer de la courbe granulométrique du sédiment total et de la phase résiduelle (après attaque acide), et de la teneur en carbonate de l'échantillon. Le calcul consiste à soustraire classe a classe la courbe des résiduels de la courbe du sédiment total pondéré de la teneur en carbonates du sédiment. Ce calcul, très simple, s'écrit sous la forme [McCave *et al.*, 1995]:

$$f_C(s) = f_B(s) - \left[(1-C) * f_R(s)\right] \quad (1)$$

avec:

$f_C(s)$: fonction de distribution granulométrique des carbonates (C)
$f_B(s)$: fonction de distribution granulométrique du sédiment total (B)
$f_R(s)$: fonction de distribution granulométrique du résiduel (R)
C: teneur en carbonates
s: classes de taille

et:

$$B = C + R = 1 \quad (2)$$

Cette équation (1) est valable si les unités sont cohérentes (tout en masse ou tout en volume) ou si les densités sont les mêmes pour toutes les phases et toutes les classes. Deux types de corrections sont nécessaires à cela:

- Convertir en pourcentage volumique la teneur en carbonates (C)
- Corriger les différences de densité entre les classes granulométriques dans les carbonates.

1.2. Correction de la teneur en carbonates, du pondéral au volumique

Cette correction est nécessaire du fait de la différence de densité existant entre la phase résiduelle (d_g=2,65) et la phase des carbonates (d_c=2,71)[1]. Le calcul par la formule (1) nécessite l'utilisation soit d'une teneur en carbonate volumique, soit d'une teneur en carbonate pondérale associée à un facteur de correction. Nous avons choisi de conserver la teneur massique et d'introduire un facteur de correction afin de permettre une utilisation directe de la teneur en carbonates. La relation entre les pourcentages volumiques et les pourcentages pondéraux des phases carbonatée (C) et résiduelle (R) s'écrit:

$$\frac{C_v}{R_v} = \left(\frac{d_g}{d_c}\right) * \frac{C_w}{R_w} \quad (3)$$

avec:

C_w: pourcentage des carbonates en masses
C_v: pourcentage des carbonates en volume
R_w: pourcentage des résiduels en masse
R_v: pourcentage des résiduels en masses
d_g: densité de la fraction résiduelle, encore appelée "densité de grain" (2,65)
d_c: densité des carbonates (2,71)

L'équation (2) permet d'écrire $C_v + R_v = 1$ et $C_w + R_w = 1$ et l'équation (3) peut donc s'écrire:

$$C_v = \left(\left(\frac{d_c}{d_g} * \frac{(1-C_w)}{C_w}\right) + 1\right)^{-1} \quad (4)$$

[1] Si les grains carbonatés avaient la même densité que les grains résiduels cette conversion ne serait pas nécessaire car la teneur en carbonates serait alors la même en masse et en volume.

L'équation générale (1) s'écrit donc de la façon suivante:

$$f_C(s) = f_B(s) - \left[\left(1 - \left(\left(\frac{d_c}{d_g} * \frac{(1-C_w)}{C_w}\right) + 1\right)^{-1}\right) * f_R(s)\right] \quad (5)$$

1.3. Correction des différences de densité dans les carbonates

Le principe de mesure du Coulter LS130 et la morphologie des particules carbonatées aboutit à des différences de densité "virtuelles" entre les classes granulométriques, malgré leur composition identique (calcite, d_c=2,71). Ces densités seront appelées "densités virtuelles" d_v, dans l'équation (5) nous utiliserons d_v au lieu de d_c. Comme d_v est fonction de la classe granulométrique (s), le nouveau rapport $\frac{d_v}{d_g}$ de l'équation (5) est également fonction de la classe granulométrique et peut s'écrire de la forme:

$$\frac{d_v}{d_g} = f_{d_v/d_g}(s) \quad (6)$$

L'équation (5) peut alors s'écrire:

$$f_C(s) = f_B(s) - \left[\left(1 - \left(\left(f_{d_v/d_g}(s) * \frac{(1-C_w)}{C_w}\right) + 1\right)^{-1}\right) * f_R(s)\right] \quad (7)$$

L'inconnue reste d_v car la densité de grain d_g est fixée à 2,65. Il nous faut déterminer d_v pour chacune des classes granulométriques.

Dans la région des Açores les carbonates sont constitués de nannofossiles et de foraminifères. D'après les travaux de Bréheret [1977] nous avons fixé les classes des nannofossiles entre 0,1 µm à 21,53 µm, et D'après Oehmig [1993] nous avons fixé les classes des foraminifères entre 48,85 µm et 900 µm. Nous considérons les classes entre 21,53 µm et 48,85 µm comme intermédiaires.

Nannofossiles, classes entre 0,1 µm et 21,53 µm

Les nannofossiles (ou coccolithes) sont de minuscules plaques calcaires composites provenant du test ou "coccosphère" des Coccolithophorides (algues brunes unicellulaires et planctoniques, pour la plupart marines [Bréheret, 1977]). Elles ont des formes variées, la plus commune étant un disque ou une ellipse plate de faible épaisseur, pourvue d'une perforation centrale [Bréheret, 1977]. Les principales espèces rencontrées et leur abondance dans les sédiments des Açores ont été déterminées par [Müller, 1991; 1992; 1994; 1995] (Tab. I-1).

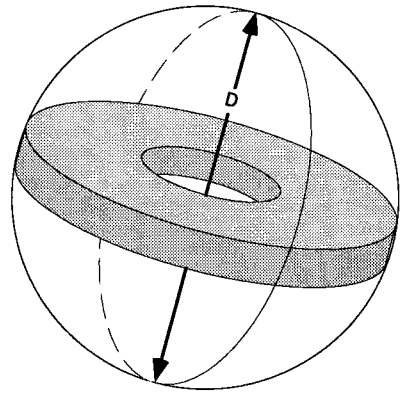
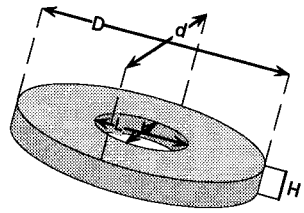
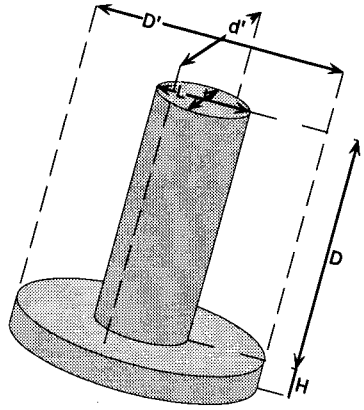


Fig. I-1: Exemple de la sphère virtuelle de diamètre D considérée par le Coulter LS130 pour une particule en forme de disque lors du calcul de la distribution granulométrique volumique. On constate le ce volume est nettement supérieur au volume réel de la particule.



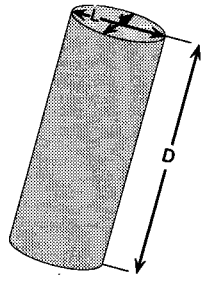
Morphologie 1:

$$V = \left[\pi * \left(\frac{D}{2}\right) * \left(\frac{d}{2}\right) * H\right] - \left[\pi * \left(\frac{L}{2}\right) * \left(\frac{l}{2}\right) * H\right]$$



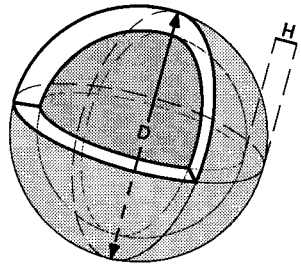
Morphologie 2:

$$V = \left[\pi * \left(\frac{L}{2}\right) * \left(\frac{l}{2}\right) * D\right] + \left[\pi * \left(\frac{D'}{2}\right) * \left(\frac{d'}{2}\right) * H\right]$$



Morphologie 3:

$$V = \pi * \left(\frac{L}{2}\right) * \left(\frac{l}{2}\right) * D$$



Morphologie 4:

$$V = \left[\left(\frac{4}{3}\right) * \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^3\right] - \left[\left(\frac{4}{3}\right) * \pi * \left(\frac{(D - H)}{2}\right)^3\right]$$

Fig. I-2: Les 4 types de morphologie des nannofossiles, en simplifiant, et les formules permettant de calculer leur volume réel. Déterminé d'après Bréheret [1977].

Morphologie 1

Coccolithus pelagicus

Peut être simplifié à une ellipse de grand axe D, de petit axe d, d'épaisseur H, avec un pore central de grand axe L et de petit axe l.

d/D: 0.80
l/L: 0.44
H/D: 0.21
L/D: 0.41
V_c: [π*(D/2)*(d/2)*H]-[π*(L/2)*(l/2)*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)*((D*0.8)/2)*(D*0.21)]-[π*((0.41*D)/2)*((0.18*D)/2)*(0.21*D)]
(0.15*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.23**

Cyclococcolithus leptorus

Peut être simplifié à un disque de diamètre D et d'épaisseur H avec un pore central de diamètre L

H/D: 0.33
L/D: 0.23
d = D
l = L
V_c: [π*(D/2)^2*H]-[π*(L/2)^2*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)^2*(0.33*D)]-[π*((0.23*D)/2)^2*(0.33*D)]
(0.31*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.47**

Discolithina japonica

Peut être simplifié à une ellipse pleine de grand axe D, de petit axe d et d'épaisseur H

d/D: 0.7
H/D: 0.06
l = L: 0
V_c: [π*(D/2)*(d/2)*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)*((0.7*D)/2)*(0.06*D)]
(0.042*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.06**

Emiliania Huxleyi

Peut être simplifié à une ellipse de grand axe D, de petit axe d, d'épaisseur H, avec un pore central circulaire de diamètre L

d/D: 0.90
L/D: 0.46
H/D: 0.10
l = L
V_c: [π*(D/2)*(d/2)*H]-[π*(L/2)^2*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)*((0.9*D)/2)*(0.1*D)]-[π*((0.46*D)/2)^2*(0.1*D)]
(0.069*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.10**

Gephyrocapsa aperta

Peut être simplifié à une ellipse de grand axe D, de petit axe d, d'épaisseur H, avec un pore central de grand axe L et de petit axe l.

d/D: 0.80
l/L: 0.80
L/D: 0.49
H/D: 0.20
V_c: [π*(D/2)*(d/2)*H]-[π*(L/2)*(l/2)*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)*((0.80*D)/2)*(0.20*D)]-[π*((0.49*D)/2)*((0.37*D)/2)*(0.20*D)]
(0.124*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.19**

Gephyrocapsa sp. A

Peut être simplifié à une ellipse de grand axe D, de petit axe d, d'épaisseur H, avec un pore central de grand axe L et de petit axe l.

d/D: 0.70
l/L: 0.70
L/D: 0.45
H/D: 0.20
V_c: [π*(D/2)*(d/2)*H]-[π*(L/2)*(l/2)*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)*((0.70*D)/2)*(0.20*D)]-[π*((0.45*D)/2)*((0.32*D)/2)*(0.20*D)]
(0.111*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.17**

Gephyrocapsa sp. B

Peut être simplifié à une ellipse de grand axe D, de petit axe d, d'épaisseur H, avec un pore central de grand axe L et de petit axe l.

d/D: 0.80
l/L: 0.80
L/D: 0.45
H/D: 0.20
V_c: [π*(D/2)*(d/2)*H]-[π*(L/2)*(l/2)*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)*((0.80*D)/2)*(0.20*D)]-[π*((0.45*D)/2)*((0.36*D)/2)*(0.20*D)]
(0.128*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.19**

Tab. I-2: Caractères biométriques des nannofossiles, d'après Bréheret [1977]

Morphologie 1

Gephyrocapsa ericsonii

Peut être simplifié à une ellipse de grand axe D, de petit axe d, d'épaisseur H, avec un pore central de grand axe L et de petit axe l.

d/D: 0.70
l/L: 0.70
L/D: 0.45
H/D: 0.20
V_c: $[\pi*(D/2)*(d/2)*H]-[\pi*(L/2)*(l/2)*H]$
$V_c(D)$: $[\pi*(D/2)*((0.70*D)/2)*(0.20*D)]-[\pi*((0.45*D)/2)*((0.32*D)/2)*(0.20*D)]$
$(0.111*\pi*D^3)/4$
V_c/V_v: **0.17**

Gephyrocapsa oceanica

Peut être simplifié à une ellipse de grand axe D, de petit axe d, d'épaisseur H, avec un pore central de grand axe L et de petit axe l.

d/D: 0.90
l/L: 0.90
L/D: 0.38
H/D: 0.20
V_c: $[\pi*(D/2)*(d/2)*H]-[\pi*(L/2)*(l/2)*H]$
$V_c(D)$: $[\pi*(D/2)*((0.90*D)/2)*(0.20*D)]-[\pi*((0.38*D)/2)*((0.34*D)/2)*(0.20*D)]$
$(0.154*\pi*D^3)/4$
V_c/V_v: **0.23**

Gephyrocapsa carribeanica

Peut être simplifié à une ellipse de grand axe D, de petit axe d, d'épaisseur H, avec un pore central de grand axe L et de petit axe l.

d/D: 0.70
l/L: 0.70
L/D: 0.30
H/D: 0.20
V_c: $[\pi*(D/2)*(d/2)*H]-[\pi*(L/2)*(l/2)*H]$
$V_c(D)$: $[\pi*(D/2)*((0.70*D)/2)*(0.20*D)]-[\pi*((0.30*D)/2)*((0.21*D)/2)*(0.20*D)]$
$(0.127*\pi*D^3)/4$
V_c/V_v: **0.19**

Helicosphera carteri

Peut être simplifié à une ellipse pleine de grand axe D, de petit axe d et d'épaisseur H

d/D: 0.66
H/D: 0.20
l = L: 0.00
V_c: $[\pi*(D/2)*(d/2)*H]$
$V_c(D)$: $[\pi*(D/2)*((0.66*D)/2)*(0.20*D)]$
$(0.132*\pi*D^3)/4$
V_c/V_v: **0.20**

Oolithus fragilis

Peut être simplifié à un disque plein de diamètre D et d'épaisseur H

H/D: 0.20
d = D
l = L: 0.00
V_c: $[\pi*(D/2)^2*H]$
$V_c(D)$: $[\pi*(D/2)^2*(0.20*D)]$
$(0.200*\pi*D^3)/4$
V_c/V_v: **0.30**

Pontosphaera pacifica

Peut être simplifié à une ellipse pleine de grand axe D, de petit axe d et d'épaisseur H

d/D: 0.75
H/D: 0.10
l = L: 0.00
V_c: $[\pi*(D/2)*(d/2)*H]$
$V_c(D)$: $[\pi*(D/2)*((0.75*D)/2)*(0.10*D)]$
$(0.075*\pi*D^3)/4$
V_c/V_v: **0.11**

Pontosphaera syracunosa

Peut être simplifié à une ellipse pleine de grand axe D, de petit axe d et d'épaisseur H

d/D: 0.66
H/D: 0.20
l = L: 0.00
V_c: $[\pi*(D/2)*(d/2)*H]$
$V_c(D)$: $[\pi*(D/2)*((0.66*D)/2)*(0.20*D)]$
$(0.132*\pi*D^3)/4$
V_c/V_v: **0.20**

Tab. I-2 (suite): Caractères biométriques des nannofossiles, d'après Bréheret [1977]

Morphologie 1

Syracosphaera pulchra

Peut être simplifié à une ellipse pleine de grand axe D, de petit axe d et d'épaisseur H

d/D: 0.76
H/D: 0.16
l = L: 0
V_c: [π*(D/2)*(d/2)*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)*((0.76*D)/2)*(0.16*D)]
(0.122*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.18**

Morphologie 2

Umbilicosphaera mirabilis

Peut être simplifié à un disque de diamètre D et d'épaisseur H avec un pore central de diamètre L

H/D: 0.20
L/D: 0.28
d = D
l = L
V_c: [π*(D/2)^2*H]-[π*(L/2)^2*H]
$V_c(D)$: [π*(D/2)^2*(0.20*D)]-[π*((0.28*D)/2)^2*(0.20*D)]
(0.184*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.28**

Rhabdosphaera clavigera

Peut être simplifié à un cylindre plein, de longueur D et de diamètre L, plus une ellipse pleine de grand axe D', de petit axe d' et d'épaisseur

L/D: 0.28
d'/D': 0.66
H/D' 0.20
D'/D: 0.51
l = L
V_c: [π*(l/2)^2*D]+[π*(D'/2)*(d'/2)*H]
$V_c(D)$: [π*((0.28*D)/2)^2*D]+[π*((0.51*D)/2)*((0.34*D)/2)*(0.10*D)]
(0.061*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.09**

Rhabdosphaera stylifera

Peut être simplifié à un cylindre plein, de longueur D et de diamètre L, plus un disque plein de diamètre D' et d'épaisseur H

L/D: 0.16
D'/D: 0.74
H/D': 0.18
d' = D'
l = L
V_c: [π*(l/2)^2*D]+[π*(D'/2)^2*H]
$V_c(D)$: [π*((0.16*D)/2)^2*D]+[π*((0.74*D)/2)^2*(0.13*D)]
(0.097*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.15**

Morphologie 3

Scyphosphaera apsteinii

Peut être simplifié à un cylindre plein, de longueur D et de diamètre L

L/D: 0.56
l = L
V_c: [π*(l/2)^2*D]
$V_c(D)$: [π*((0.56*D)/2)^2*D]
(0.314*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.47**

Scapholithus fossilis

Peut être simplifié à un cylindre plein, de longueur D et de diamètre L

L/D: 0.13
l = L
V_c: [π*(l/2)^2*D]
$V_c(D)$: [π*((0.13*D)/2)^2*D]
(0.017*π*D^3)/4
V_c/V_v: **0.03**

Morphologie 4

Thoracosphaera heimi

Peut être simplifié à une spère creuse de diamètre D de paroi d' épaisseur H

H/D: 0.10
V_c: [(4/3)*π*(D/2)^3]-[(4/3)*π*((D-H)/2)^3]
$V_c(D)$: [π*(D/2)^2*(0.20*D)]-[π*((0.28*D)/2)^2*(0.20*D)]
(0.271*π*D^3)/6
V_c/V_v: **0.27**

Tab. I-2 (fin): Caractères biométriques des nannofossiles, d'après Bréheret [1977]

Espèces de nannofossiles	Taille moyenne (µm)	$\frac{V_c}{V_v}$	d_v
Coccolithus pelagicus	11.60	0.23	0.62
Cyclococcolithus leptorus A	9.60	0.47	1.27
Discolithina japonica	7.60	0.06	0.16
Emiliania Huxleyi	3.30	0.10	0.27
Gephyrocapsa aperta	1.90	0.19	0.51
Gephyrocapsa sp. A	3.90	0.17	0.46
Gephyrocapsa sp. B	3.75	0.19	0.51
Gephyrocapsa ericsonii	2.80	0.17	0.46
Gephyrocapsa oceanica	5.05	0.23	0.62
Gephyrocapsa carribeanica	3.50	0.19	0.51
Helicosphera carteri	8.70	0.20	0.54
Oolithus fragilis	8.00	0.30	0.81
Pontosphaera pacifica	9.95	0.11	0.30
Pontosphaera syracunosa	10.50	0.20	0.54
Syracosphaera pulchra	5.95	0.18	0.49
Umbilicosphaera mirabilis	5.10	0.28	0.79
Rhabdosphaera clavigera	5.20	0.09	0.24
Rhabdosphaera stylifera	3.35	0.15	0.41
Scyphosphaera apsteinii	14.85	0.47	1.27
Scapholithus fossilis	3.50	0.03	0.08
Thoracosphaera heimi	15.30	0.27	0.73

***Tab. I-1**: Récapitulatif des diamètres moyens, efficacités volumiques $\frac{V_c}{V_v}$ et densités virtuelles d_v des principales espèces de nannofossiles.*

Pour convertir les figures de diffractions en distributions granulométriques volumiques le Coulter LS130 assimile la particule diffractante à une sphère du diamètre de la classe considérée, cela quelle que soit sa forme réelle (Fig. I-1). Le volume des particules non-sphériques est ainsi surestimé et l'importance de la surestimation dépend de la forme de la particule. Si les particules sont toutes de même forme elles sont toutes surestimées de la même façon et la courbe granulométrique est correcte car la distribution granulométrique est relative.

La sphère considérée par le Coulter sera appelée "particule virtuelle" et il lui est associé un "volume virtuel" V_v de diamètre D et une "densité virtuelle d_v qui se calcule par la formule suivante:

$$d_v = d_c * \left(\frac{V_c}{V_v}\right) (8)$$

avec:

d_c: densité de la calcite (2,71)

V_c: volume réel de la particule, encore appelé "volume de calcite"

$V_v = \frac{1}{6}\pi D^3$

V_c est calculé d'après les caractéristiques biométriques des nannofossiles. Le rapport $\frac{V_c}{V_v}$, appelé "efficacité volumique" de la particule, est indépendant de la taille (Tab. I-1). Quatre principaux types biométriques de nannofossiles ont pu être déterminés d'après les travaux de Bréheret [1977] (Fig. I-2 et Tab. I-2). Malgré une certaine dispersion de l'efficacité volumique par rapport à la taille moyenne (Fig. I-3) il est possible de définir une approximation, d'équation:

$$\frac{V_c}{V_v} = 0{,}09813 + 0{,}015473 * s \quad (9) \text{ avec D exprimé en } \mu m$$

Cette droite est le meilleur ajustement "simple" possible, l'indice de corrélation est r = 0,54. Cette simplification est réaliste car une espèce de nannofossiles ne se cantonne pas à une classe de taille mais possède une distribution gaussienne centrée sur la classe dominante. L'efficacité pour une classe donnée est donc une moyenne entre l'espèce dominante centrée sur cette classe et les espèces centrées sur les classes voisines. La régression linéaire, d'une certaine façon, rétablit cette réalité. La faiblesse de cette simplification est de considérer une abondance égale pour chaque espèce.

La densité virtuelle d_v pour les classes entre 0,1 µm à 21,53 µm s'écrit donc d'après les équations (8) et (9):

$$d_v = 0{,}26599 + 0{,}04193 * s \quad (10) \text{ avec s exprimé en } \mu m$$

Foraminifères, classes entre 48,85 µm et 900 µm

Les foraminifères sont des organismes unicellulaires dont les loges calcaires successives s'enroulent autour d'un axe au cours de la croissance de la cellule. La forme du test varie suivant les espèces, mais peut être simplifiée à une sphère creuse.

La présence de "vide" dans les tests des foraminifères implique une surestimation de la teneur volumique en carbonates par rapport à la teneur massique. Il est donc nécessaire comme pour les nannofossiles (mais pas pour les mêmes raisons) de déterminer pour chaque classe une "densité virtuelle". Si l'hypothèse est faite que toutes les espèces de foraminifères sont sphériques, il n'est pas nécessaire de déterminer la densité virtuelle espèce par espèce car seule la taille des tests contrôle la valeur de la densité virtuelle. Ces valeurs ont été déterminées par Oehmig [1993] pour l'espèce planctonique *Neoglobigerina pachyderma*, de forme approximativement sphérique. Les valeurs de densité sont calculées d'après la vitesse de chute, le diamètre des tests et la forme. L'équation donnant la densité virtuelle s'écrit [Oehmig, 1993]:

$$d_v = \frac{3\, v^2\, d_f\, (C_D + 4gs)}{40\, g\, s} \quad (11)$$

avec:

v la vitesse de chute ($cm.s^{-1}$)
d_f: la densité du fluide
g l'accélération gravitaire (983 $cm.s^{-2}$)
s: le diamètre des tests (mm)
C_D: le coefficient de traînée

Le coefficient de traînée C_D se détermine a partir l'équation de Brezina [1979] faisant intervenir le nombre de Reynolds (R_e, calculé d'après s, v et la viscosité du fluide) et un facteur de forme hydrodynamique (SF', fixé à 1,18 pour une sphère lisse). Les résultats montrent une relation inverse entre le diamètre et la densité virtuelle des tests (Tab. I-3 et Fig. I-4). La tendance peut être modélisé par l'ajustement d'une courbe logarithmique d'équation (Fig. I-4):

$d_v = 4{,}1271 - 1{,}1221 * \log(s)$ (12) avec s exprimé en µm

Cette courbe représente le meilleur ajustement, l'indice de corrélation est r = 0,96.

Taille des tests (µm)	d_v
53	2,39
86	1,89
115	1,77
121	1,79
128	1,67
166	1,57
228	1,40
280	1,47
351	1,37

***Tab. I-3**: Densités virtuelles des foraminifère en fonction de leur taille, calculées par Oehmig [1993]*

Classes intermédiaires, entre 21,53 µm et 48,85 µm

Ces classes sont en principe très pauvres en carbonates et il n'existe pas d'espèces carbonatées typiquement de cette taille. Les carbonates présents sont en théorie des fragments de nannofossiles et des agglomérats de nannofossiles. La densité des carbonates est difficile à déterminer. La méthode la plus neutre consiste à interpoler linéairement entre 21,53 µm et 48,85 µm à partir des valeurs calculées pour ces deux classes. Par coïncidence l'équation de la droite correspondante est très proche de celle utilisée pour les nannofossiles et la droite de densité virtuelle des nannofossiles coupe la courbe des foraminifères quasiment à la classe 48,85 µm. Il est donc préférable de se contenter de prolonger la fonction de densité des nannofossiles jusqu'à 48,85 µm.

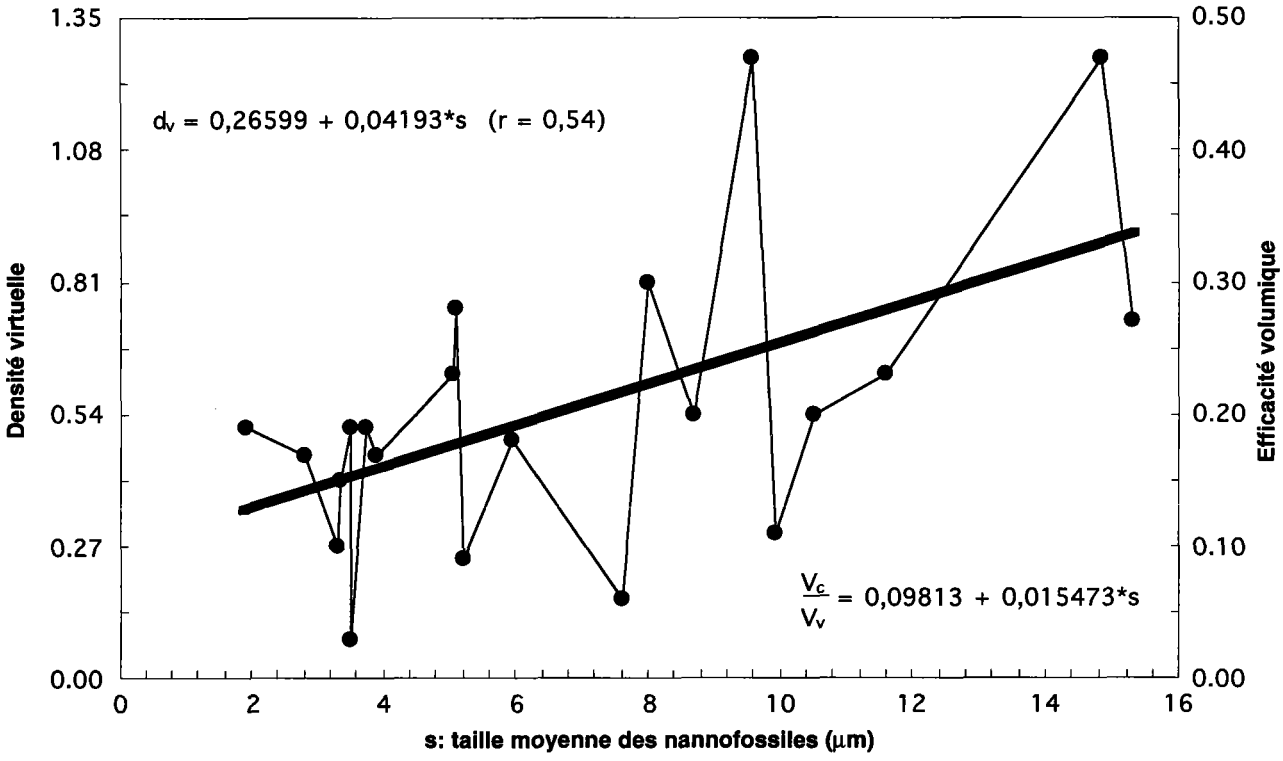


***Fig. I-3**: Densité virtuelle des nannofossiles, calculée à partir de l'efficacité volumique, elle même calculée à partir des caractéristiques biométriques de nannofossiles. La droite en trait épais représente le meilleur ajustement.*

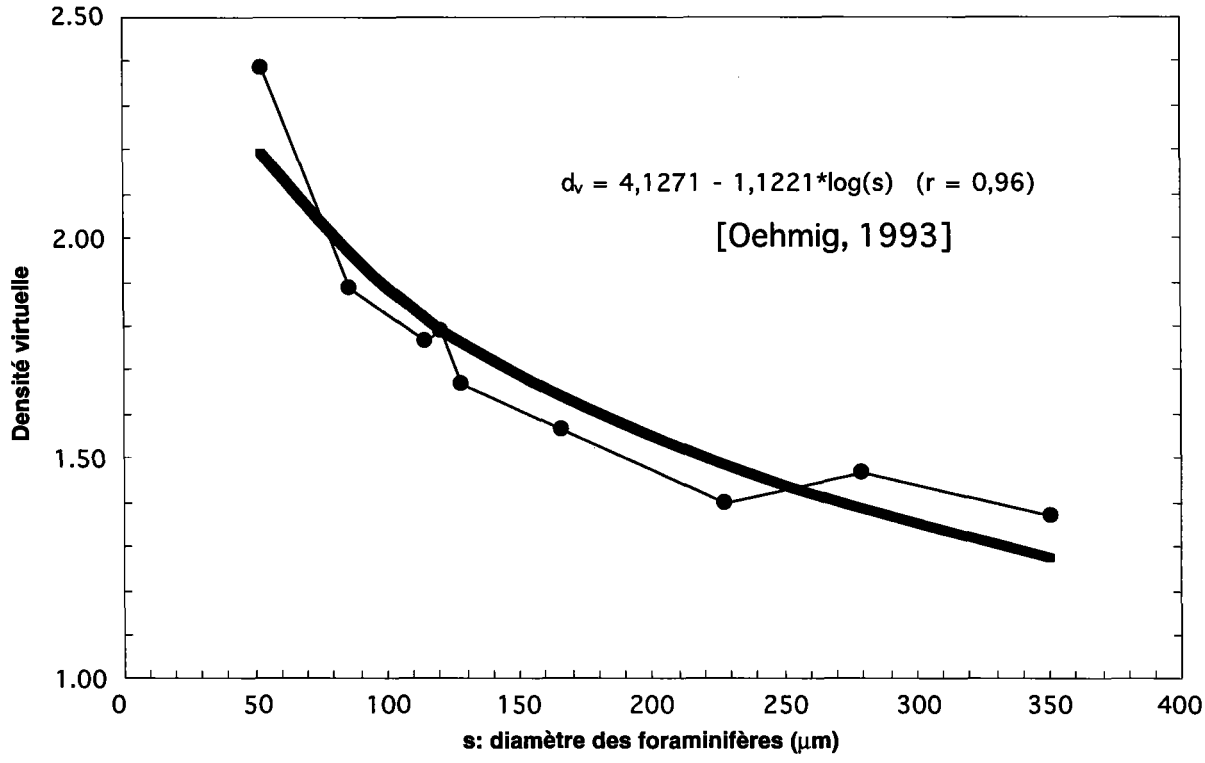


***Fig. I-4**: Densité virtuelle des foraminifères [Oehmig, 1993], calculée sur Neoglobigerina pachyderma, à partir de la vitesse de chute, du diamètre des tests et de leur forme. La courbe en trait épais représente le meilleur ajustement.*

1.4. Calculs

Ces 2 équations, (10) et (12), donnent la courbe de "densité virtuelle" d_v des carbonates (Fig. I-5, Tab. I-3), et en les substituant à d_v dans l'équation (6) on obtient la courbe de contraste de densité $\frac{d_v}{d_g}$ entre les carbonates et les résiduels (Fig. I-5, Tab. I-4), ces deux équations sont:

$$f_{d_v/d_g}(s) = 0{,}1004 + 0{,}0158*s \quad (13) \text{ de } 0{,}1 \text{ µm à } 48{,}85 \text{ µm}$$

$$f_{d_v/d_g}(s) = 1{,}5574 - 0{,}4234*\log(s) \quad (14) \text{ de } 48{,}85 \text{ µm à } 900 \text{ µm}$$

En introduisant ces 2 équations dans l'équation générale (7) on obtient la formule de calcul de la distribution granulométrique des carbonates avec pour paramètres la distribution volumique de sédiment total, la distribution granulométrique de la fraction résiduelle, la teneur massique en carbonates. Cette formule tient compte des contrastes de densité classe à classes entre les carbonates et les résiduels:

$$f_C(s) = f_B(s) - \left[\left(1 - \left((0{,}1004 + 0{,}0158*s) * \frac{(1 - C_w)}{C_w} + 1\right)^{-1}\right) * f_R(s)\right] \quad (15) \text{ de } 0{,}1 \text{ µm à } 48{,}85 \text{ µm}$$

$$f_C(s) = f_B(s) - \left[\left(1 - \left((1{,}5574 - 0{,}4234*\log(s)) * \frac{(1 - C_w)}{C_w} + 1\right)^{-1}\right) * f_R(s)\right] \quad (16) \text{ de } 48{,}85 \text{ µm à } 900 \text{ µm}$$

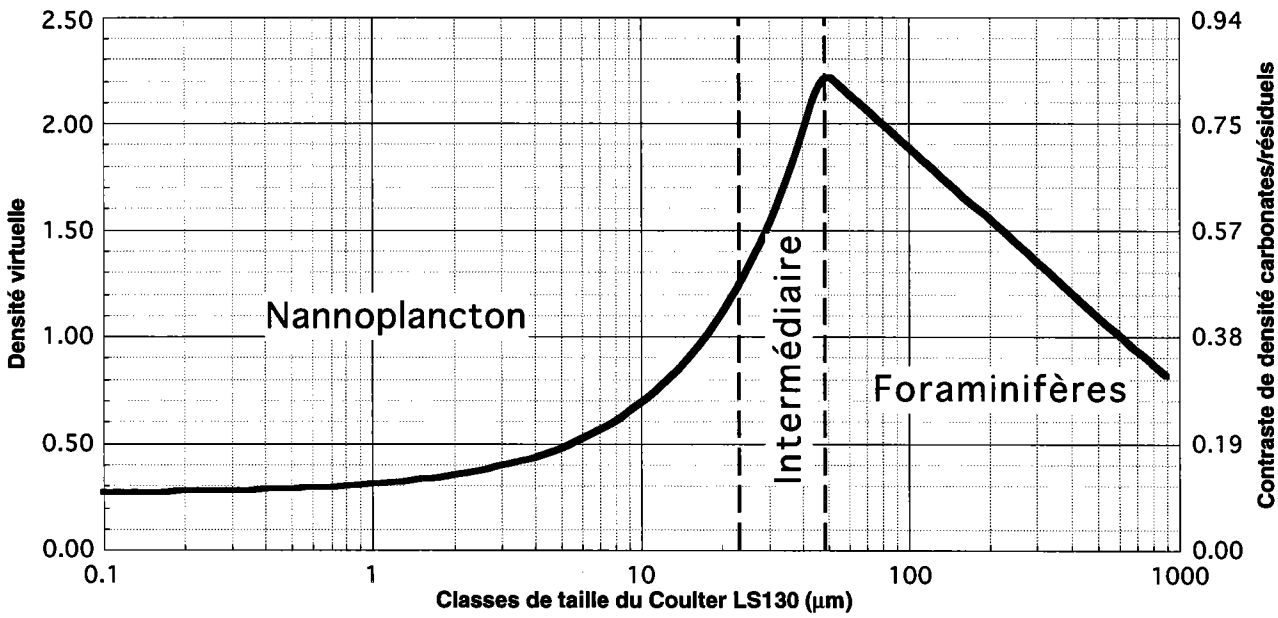


Fig. I-5: Modèle des densités virtuelles des carbonates utilisé pour le calcul des courbes granulométriques de la phase carbonatée. Ce modèle est basé sur le principe de mesure et de calcul du microgranulomètre laser Coulter LS130, ainsi que sur les caractéristiques biométriques des particules carbonatées. Dans la région des Açores la phase carbonatée est exclusivement composée de nannoplancton calcaire et de foraminifères.

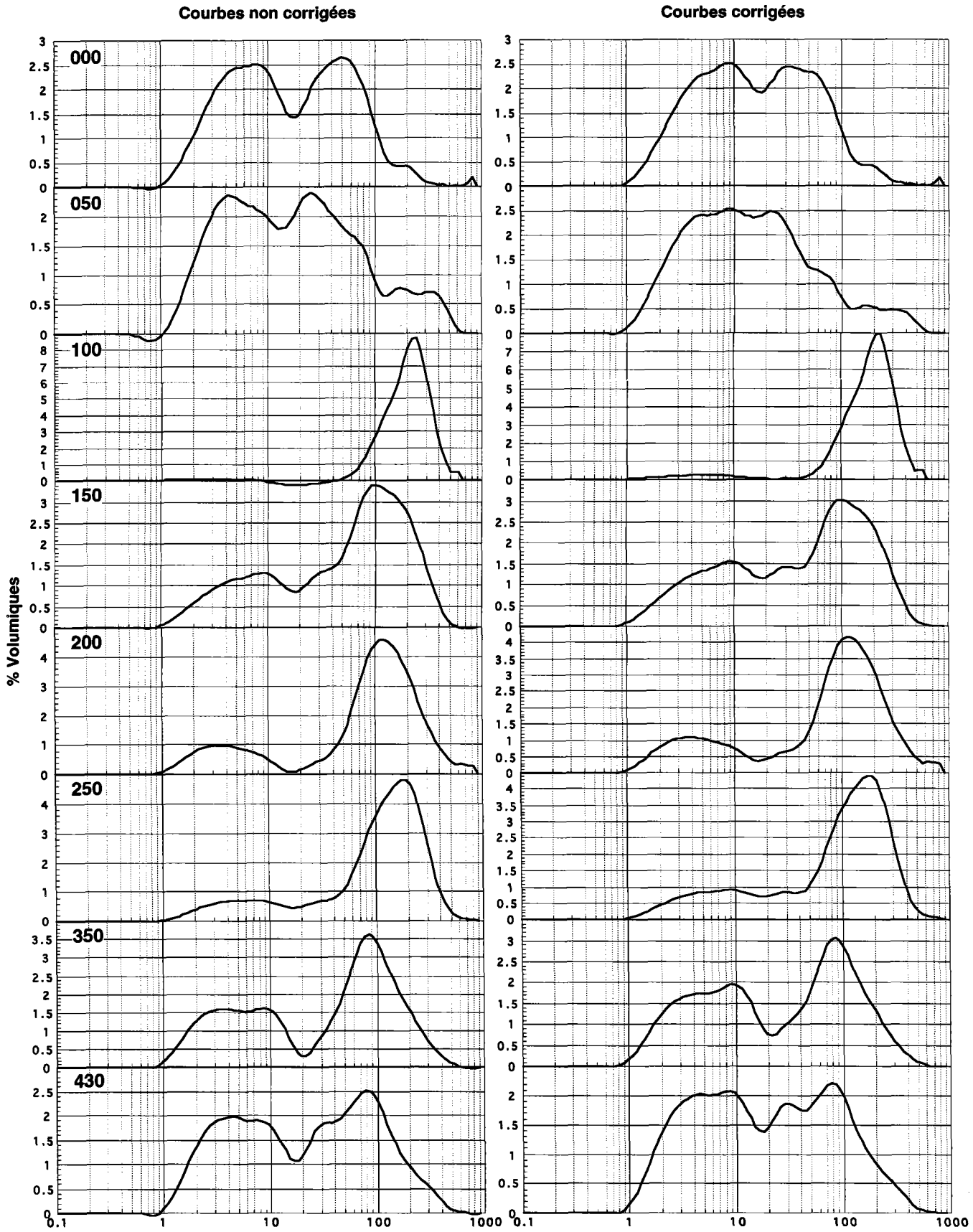


***Fig. I-6**: Effets de la correction "volumique" sur quelques courbes granulométriques des carbonates de la carotte GEOFAR KF21. Les classes des nannoplanctons prennent plus d'importance car ils ont une faible densité virtuelle par rapport aux foraminifères, leur importance est plus forte en volume qu'en masse. Les valeurs négatives qui peuvent exister entre 10 et 30 µm (niveau 100) deviennent positives.*

Classes (µm)	d_v	$\frac{d_v}{d_g}$	Classes (µm)	d_v	$\frac{d_v}{d_g}$	Classes (µm)	d_v	$\frac{d_v}{d_g}$
0.10	0.27	0.10	**2.21**	0.36	0.14	**48.85**	2.23	0.84
0.11	0.27	0.10	**2.42**	0.37	0.14	**53.51**	2.19	0.83
0.12	0.27	0.10	**2.65**	0.38	0.14	**58.61**	2.14	0.81
0.13	0.27	0.10	**2.90**	0.39	0.15	**64.20**	2.10	0.79
0.14	0.27	0.10	**3.18**	0.40	0.15	**70.32**	2.05	0.78
0.16	0.27	0.10	**3.48**	0.41	0.16	**77.02**	2.01	0.76
0.17	0.27	0.10	**3.82**	0.43	0.16	**84.36**	1.97	0.74
0.19	0.27	0.10	**4.18**	0.44	0.17	**92.40**	1.92	0.73
0.21	0.27	0.10	**4.58**	0.46	0.17	**101.21**	1.88	0.71
0.23	0.28	0.10	**5.02**	0.48	0.18	**110.86**	1.83	0.69
0.25	0.28	0.10	**5.49**	0.50	0.19	**121.43**	1.79	0.67
0.27	0.28	0.10	**6.02**	0.52	0.20	**133.00**	1.74	0.66
0.30	0.28	0.11	**6.59**	0.54	0.20	**145.68**	1.70	0.64
0.33	0.28	0.11	**7.22**	0.57	0.21	**159.56**	1.66	0.62
0.36	0.28	0.11	**7.91**	0.60	0.23	**174.77**	1.61	0.61
0.39	0.28	0.11	**8.66**	0.63	0.24	**191.43**	1.57	0.59
0.43	0.28	0.11	**9.49**	0.66	0.25	**209.68**	1.52	0.57
0.47	0.29	0.11	**10.39**	0.70	0.26	**229.67**	1.48	0.56
0.51	0.29	0.11	**11.38**	0.74	0.28	**251.56**	1.43	0.54
0.56	0.29	0.11	**12.47**	0.79	0.30	**275.54**	1.39	0.52
0.62	0.29	0.11	**13.66**	0.84	0.32	**301.81**	1.34	0.51
0.68	0.29	0.11	**14.96**	0.89	0.34	**330.58**	1.30	0.49
0.74	0.30	0.11	**16.38**	0.95	0.36	**362.09**	1.26	0.47
0.81	0.30	0.11	**17.94**	1.02	0.38	**396.61**	1.21	0.46
0.89	0.30	0.11	**19.65**	1.09	0.41	**434.41**	1.17	0.44
0.97	0.31	0.12	**21.53**	1.17	0.44	**475.82**	1.12	0.42
1.07	0.31	0.12	**23.58**	1.25	0.47	**521.18**	1.08	0.41
1.17	0.31	0.12	**25.83**	1.35	0.51	**570.86**	1.03	0.39
1.28	0.32	0.12	**28.29**	1.45	0.55	**625.28**	0.99	0.37
1.40	0.32	0.12	**30.99**	1.57	0.59	**684.88**	0.95	0.36
1.54	0.33	0.12	**33.94**	1.69	0.64	**750.17**	0.90	0.34
1.68	0.34	0.13	**37.18**	1.82	0.69	**821.67**	0.86	0.32
1.84	0.34	0.13	**40.72**	1.97	0.74	**900.00**	0.81	0.31
2.02	0.35	0.13	**44.60**	2.14	0.81			

***Tab. I-4**: Densités virtuelles (d_v) des carbonates calculées par les équations (10) et (12) et contrastes de densités ($\frac{d_v}{d_g}$) entre les carbonates et les résiduels, calculés par les équations (13) et (14), le tout pour les classes du Coulter LS130.*

1.5. Résultats

Après le calcul de la distribution granulométrique des carbonates les valeurs de pourcentages négatives entre 0 et -0.01% sont ramenées à zéro car nous considérons qu'elles ont une origine analytique. Une macro-commande Excel permettant un calcul automatique des courbes granulométriques est présentées en annexe "Macro-commandes Excel".

On constate que la plupart les valeurs de pourcentage négatives qui pouvaient exister dans les classes entre 10 µm et 40 µm pour les courbes non corrigées (Fig. I-6, niveau 100)

deviennent positives. Les valeurs négatives que l'on peut rencontrer dans les classes extrêmes sont moins élevées. Les classes des nannofossiles prennent plus d'importance car leur densité virtuelle est plus faible que celle des foraminifères, leur importance volumique est supérieure à leur importance massique. Les courbes granulométriques des carbonates tendent a ressembler aux courbes du sédiment total. L'ordre d'importance des modes est modifié mais pas leur valeur.

La disparition des valeurs négatives entre 21.53 µm et 48.85 µm est satisfaisante, elles étaient trop importantes pour être d'origine analytique. Ces classes bien que peu représentées dans les carbonates, ne peuvent être absentes si on assume une distribution gaussienne des espèces de nannoplancton et de foraminifères. La similitude des courbes de carbonates et des courbes de sédiment total s'explique par les fortes teneurs pondérales en carbonates, amplifiées par la correction en teneur volumique.

1.6. Conclusion

Cette correction apporte une solution satisfaisante pour résoudre le problème des forts pourcentages négatifs. Lorsque les teneurs en carbonates sont élevées (>80%) on peu admettre que les courbes granulométriques des carbonates sont identiques aux courbes du sédiment total, mais cette approximation néglige la modification dans l'ordre d'importance des modes.

2. Conversion de la distribution volumique en distribution massique

Dans le cas ou le sédiment contient plus de 70% de carbonates biogènes, comme aux Açores, l'équation (15) et (16) permettent de convertir la distribution granulométrique volumique en distribution massique.

Si l'hypothèse est faite que le sédiment est en totalité composé de carbonates la méthode est simple: il faut appliquer au pourcentage de chaque classe granulométrique un facteur de correction correspondant à la densité virtuelle obtenues par les équations (10) et (12) et données dans le Tableau I-4, puis de ramener le tout à 100%. L'équation de conversion s'écrit:

$$f_m(s) = f_v(s) * f_{d_v}(s) \quad (17)$$

avec:

$f_m(s)$ la distribution granulométrique en masse
$f_v(s)$ la distribution granulométrique en volume
$f_{d_v}(s)$ la fonction de densité virtuelle

et avec

$f_{d_v}(s) = 0{,}26599 + 0{,}04193^{*}s$ de 0,1 µm à 48,85 µm (10)

$f_{d_v}(s) = 4.13 - (1.12 * \log(s))$ de 48,85 µm à 900 µm (12)

Le résultat de la conversion aboutit à donner plus d'importance à la fraction des foraminifères, et notamment à inverser le rapport entre les nannofossiles et les foraminifères. Cette conversion est utile dans le cadre de comparaison avec la littérature, spécialement pour la comparaison du rapport entre les nannofossiles et les foraminifère qui est généralement estimé par le rapport des masses après tamisage et mesure de la teneur en carbonates dans la fraction fine et dans la fraction grossière [van Kreveld-Alfane, 1996].

3. Calcul de la densité humide

La mesure de la densité humide est essentielle dans le calcul des flux sédimentaires. Pour des études limitées (1 seule carotte) il est possible de la déterminer très précisément mais les méthodes classiques prennent beaucoup de temps. Pour notre étude nous souhaitions calculer les flux sédimentaires pour un très grand nombre d'échantillons, il nous fallait donc une méthode rapide et fiable.

La densité humide nous est fournie par deux méthodes, la gamma-densité (densité humide "gamma") et les mesures de teneur en eau (densité humide "H2O"). La première offre l'avantage d'être quasiment continue mais la méthode de calibration tend à la surestimer. La seconde permet de calculer la "vraie" densité humide mais est discrète et la mesure doit être effectuée dès l'ouverture, ce qui n'a pu être fait dans notre étude. Afin d'obtenir des valeurs de densité humide réalistes nous avons corrigé les valeurs obtenues par la gamma-densité. Pour cela nous les avons comparées aux valeurs obtenues par la teneur en eau lorsque les 2 mesures existent.

3.1. Relation entre densité humide "gamma" et densité humide "teneur en eau"

Les deux mesures montrent une certaine dispersion (Fig. I-7) qui s'explique par la présence de mesures fausses. Les écarts supérieurs à 0.20 peuvent être considérés comme aberrant car ils correspondent à du sédiment desséché ou à des valeurs de gamma-densité faussées par un mauvais remplissage de la chemise (écarts inférieurs à -0.20). Les écarts supérieurs à +0.20 peuvent correspondre à un mauvais échantillonnage pour la mesure de teneur en eau. L'ajustement linéaire (Fig. I-7) a été effectué sans ces valeurs aberrantes et correspond au meilleur ajustement possibles. La relation entre la densité humide "gamma" et la densité humide "H2O" peut s'exprimer par la relation:

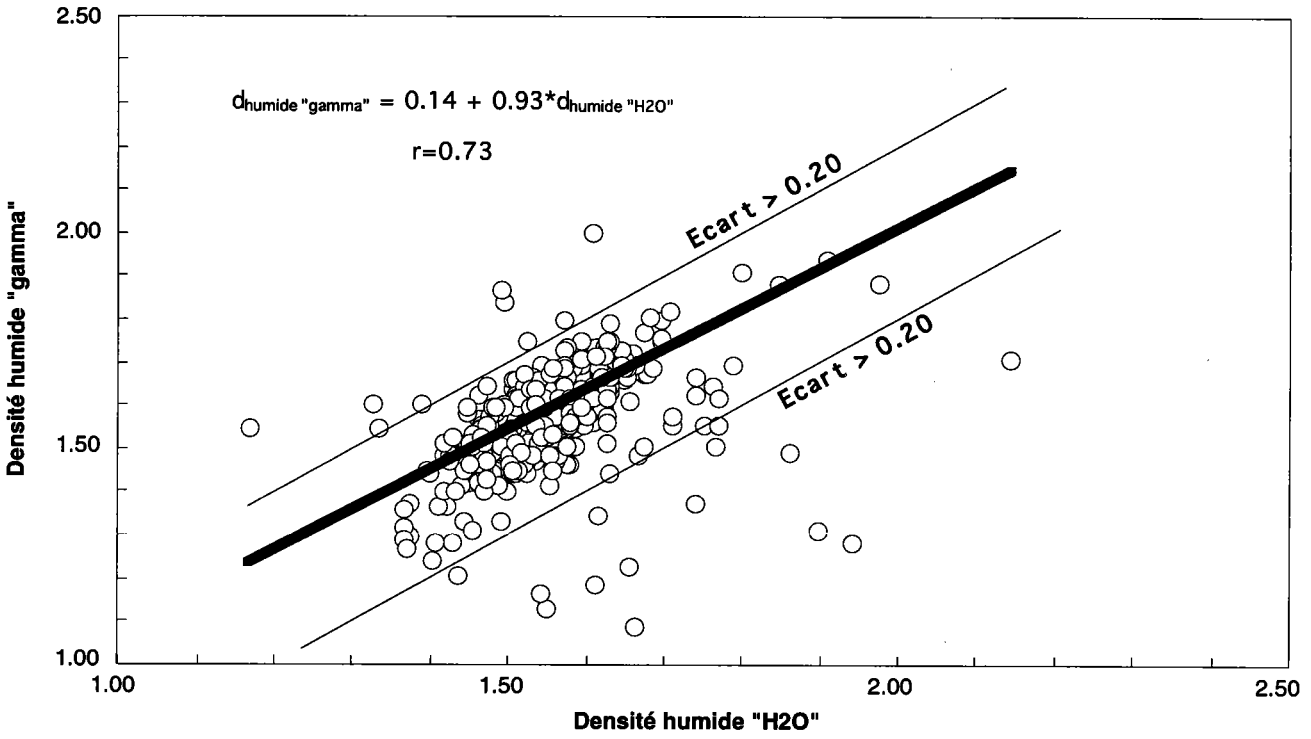


***Fig. I-7**: Comparaison entre les valeurs de densité humide obtenues par la gamma-densité et celles obtenues par la mesure de teneur en eau. La droite en trait épais correspond au meilleur ajustement (d'équation $d_{humide\ "gamma"} = 0.14 + 0.93 * d_{humide\ "H2O"}$, coefficient de corrélation r=0.73). Les valeurs dont l'écart est supérieur à 0.20 sont considérées comme abbérantes et n'ont pas été prises en compte pour l'ajustement.*

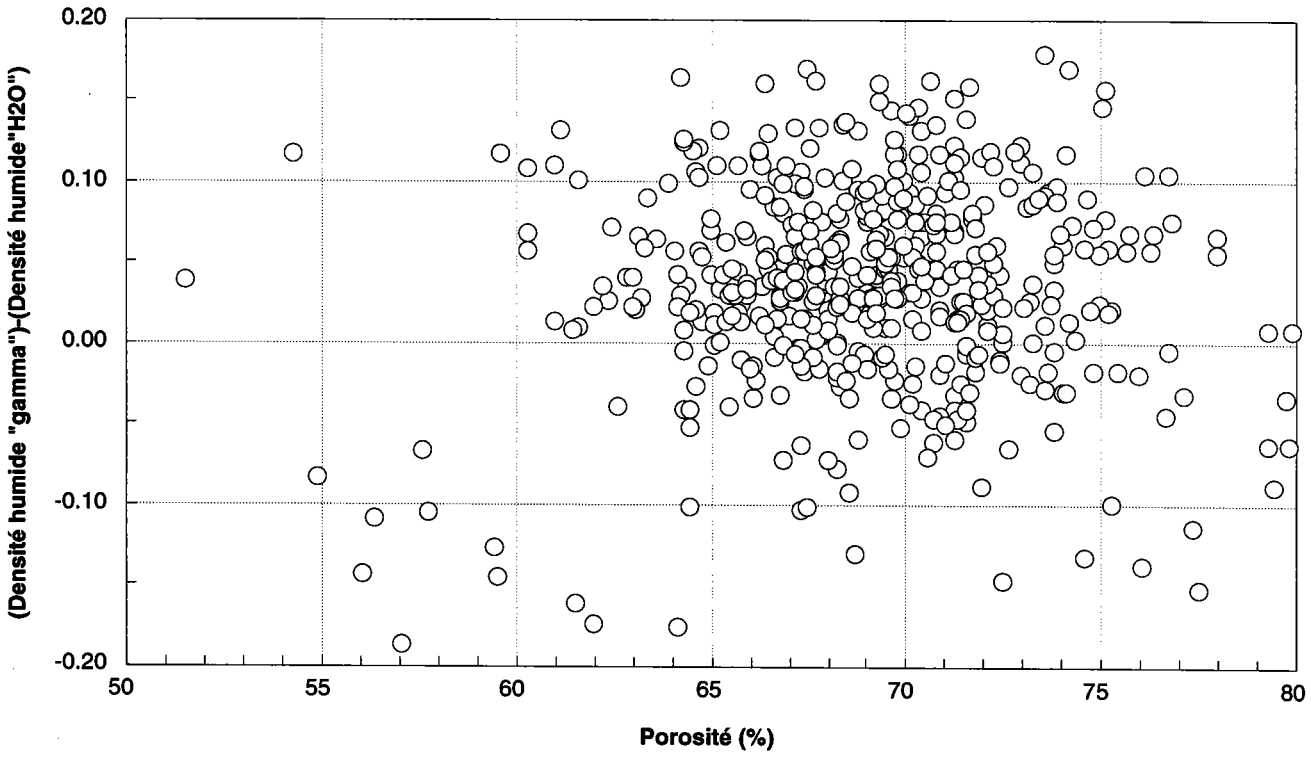


***Fig. I-8**: Ecarts entre la densité humide obtenue par la gamma-densité et celle obtenue par la mesure de teneur en eau. La mesure de gamma-densité tend à surévaluer la densité humide (majorité de valeurs positives). La porosité utilisée est celle obtenue par les mesures de teneur en eau.*

$d_{humide\ "gamma"} = 0.14 + 0.93 * d_{humide\ "H2O"}$ (18), coefficient de corrélation r=0.73

Cette relation montre deux choses: la densité humide "gamma" est supérieure à la densité humide "H2O", et cette surestimation s'accroît avec la porosité (Figs. I-8 et I-9). Les mesures de densité humide par l'absorption gamma sont surestimées car la calibration n'incorpore pas l'eau mais des matériaux solides (Nylon, polyacétal, Téflon et aluminium). Or l'eau possède une forte densité électronique, qui est le véritable paramètre mesuré par la gamma-densité (cf. Annexe "Méthodes de laboratoire"). Cette absence se reflète également par le fait que l'écart entre les deux mesures croit avec la porosité et donc avec la teneur en eau. Ainsi la relation (18) donne une densité de 1.07 pour une mesure de gamma densité sur de l'eau pure. Les deux types de mesures deviennent équivalentes pour une porosité de 35%.

Les densités humide utilisées dans cette étude seront calculées par cette équation (18) à partir des données de gamma-densité. Nous disposons ainsi de valeurs très proches de la réalité, tous les centimètres. Pour la surface des carottes la mesure où la mesure de gamma-densité n'est pas fiable, nous avons néanmoins mesuré la teneur en eau.

3.2. Calcul des paramètres sédimentologiques

A partir de la densité humide des hypothèses sont faites sur la densité du fluide et la densité des grains. Il ainsi est possible de calculer des paramètres comme la porosité, la teneur en eau, la densité sèche.

Porosité ϕ

La porosité (ϕ), dans le cas d'un sédiment, est égale au volume du fluide interstitiel (v_f) divisé par le volume total (v). Cela s'exprime sous la forme:

$\phi = \frac{v - v_g}{v} = \frac{v_f}{v}$ (19), v_g représente le volume des grains.

La densité humide s'exprime en fonction de la porosité suivant l'équation:

$\rho = \rho_f(\phi) + \rho_g(1-\phi)$ (20)

avec:

ρ_f: densité du fluide interstitiel
ρ_g: densité de grain

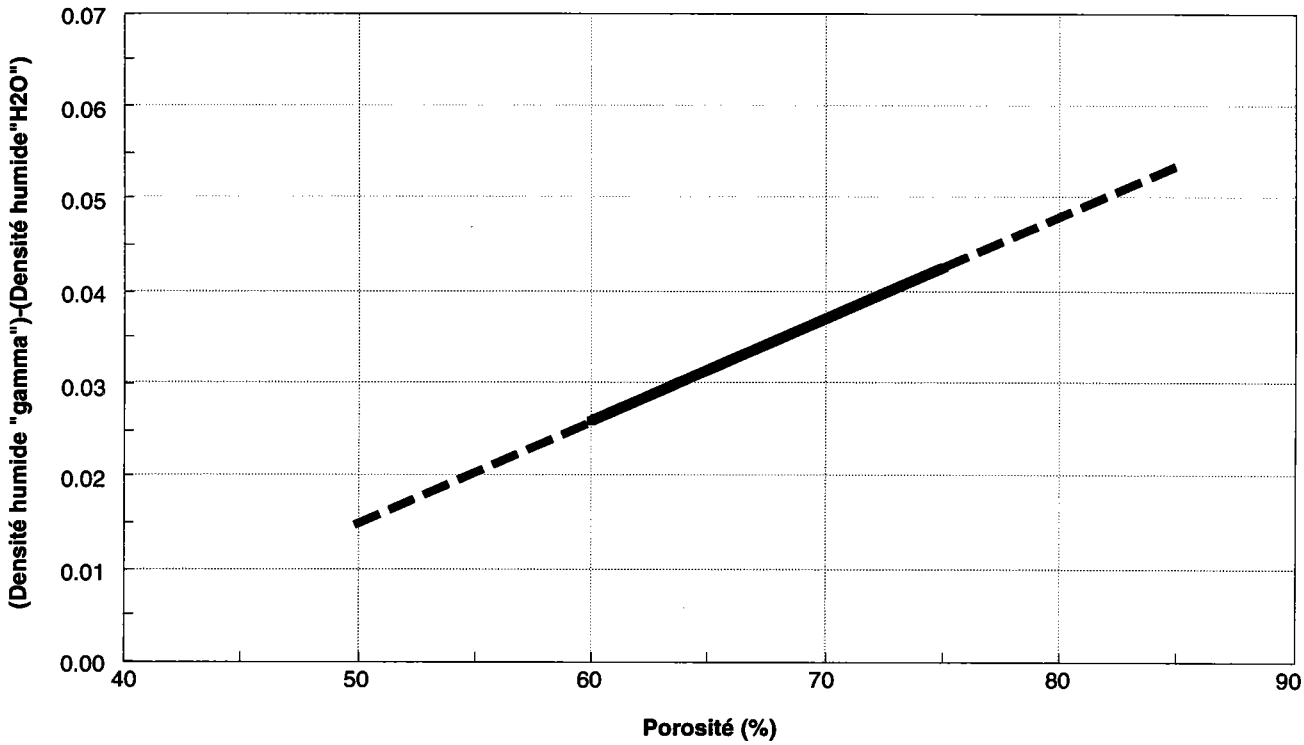


***Fig. I-9**: Variation des écarts entre la densité humide "gamma" et la densité humide "H2O" d'après l'équation du meilleur ajustement de la figure I-7, en fonction de la porosité. La courbe en trait continu correspond aux valeurs de porosité rencontrées dans l'étude. Si la tendance continue dans les faibles et les fortes densités, la densité de l'eau (porosité de 100%) est surévaluée de 0.07 par la gamma-densité. L'équivalence des mesures est obtenue pour des porosités d'environ 35%. La forte densité électronique de l'eau (non-utilisée pour la calibration de la mesure de gamma-densité) est responsable de l'augmentation de l'écart entre les deux mesures en fonction de la porosité (cf. annexe "Méthodes de laboratoire).*

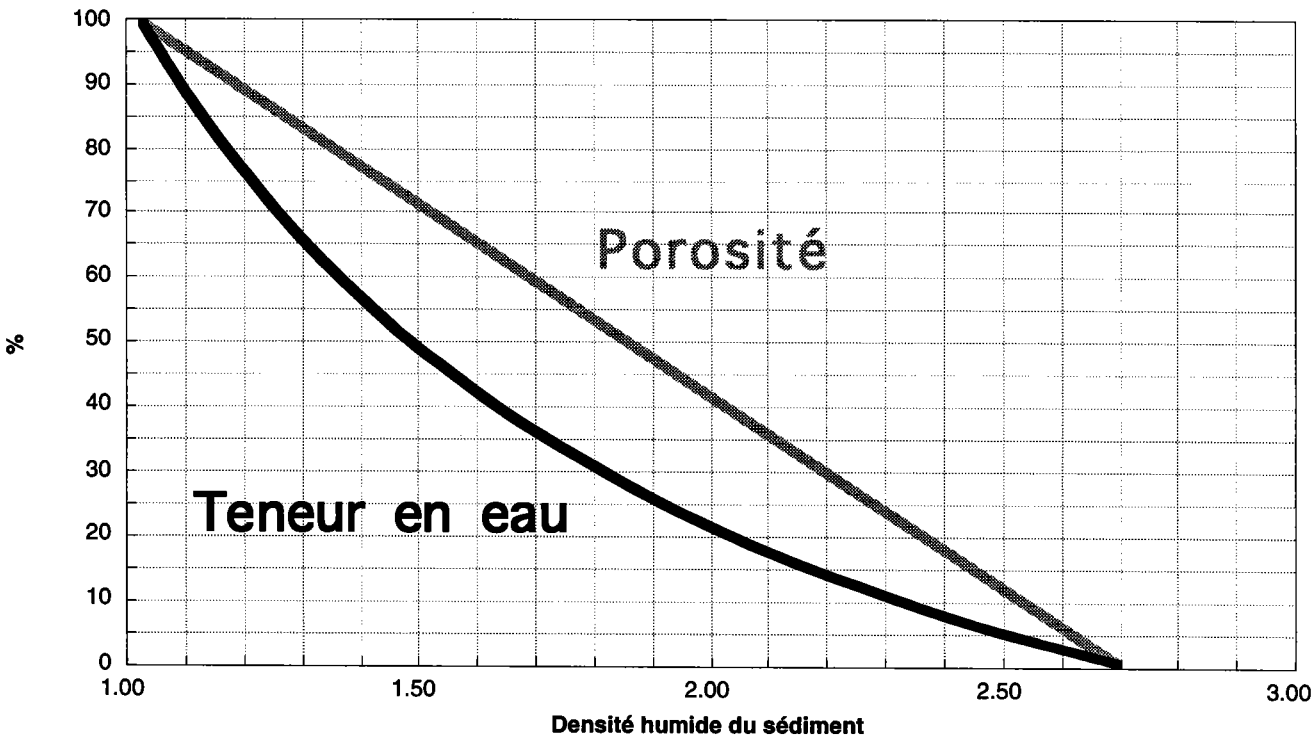


***Fig. I-10**: Relation entre la densité humide du sédiment, la porosité et la teneur en eau. La densité de grain dg est fixée à 2.71 et la densité du fluide est fixée à 1.024 (eau de mer). La forme incurvée pour la teneur en eau est liée au fait que celle-ci est exprimée en pourcentages pondéraux, tandis que la porosité équivaut à une teneur en eau en pourcentages volumiques.*

La porosité s'exprime donc en fonction de la densité humide ρ suivant l'équation (Fig. I-10):

$$\phi=\frac{\rho - \rho_g}{\rho_f - \rho_g} \quad (21)$$

Teneur en eau w

La teneur en eau correspond à la proportion de masse d'eau dans le sédiment[2].:

$$w=\frac{m_{eau}}{m} \quad (22)$$

La teneur en eau se calcule aussi à partir de la porosité en combinant les équations (19) et (22) et en posant que le volume de fluide interstitiel v_f est égal au volume d'eau v_e, c'est à dire que les sels dissous dans le fluide interstitiel n'augmentent pas son volume. La teneur en eau peut alors s'écrire:

$$\frac{w}{(1-w)} = \frac{\rho_{eau}}{\rho_g} * \frac{\phi}{(1-\phi)} \quad (23) \text{ avec } \rho_{eau} \text{ densité de l'eau}$$

ou encore:

$$w = \left(\left(\frac{\rho_g}{\rho_{eau}} * \frac{(1-\phi)}{\phi}\right) + 1\right)^{-1} \quad (24)$$

La teneur en eau peut donc être directement exprimée en fonction de la densité humide (ρ) en substituant ϕ par l'équation (21). L'équation devient donc (Fig. I-10):

$$w = \left(\left(\frac{\rho_g}{\rho_{eau}} * \frac{\left(1-\left(\frac{\rho-\rho_g}{\rho_f-\rho_g}\right)\right)}{\left(\frac{\rho-\rho_g}{\rho_f-\rho_g}\right)}\right) + 1\right)^{-1} \quad (25)$$

ou en simplifiant:

$$w = \left(\left(\frac{\rho_g}{\rho_{eau}} * \frac{(\rho_f-\rho)}{(\rho-\rho_g)}\right) + 1\right)^{-1} \quad (26)$$

Densité sèche ρ_s

---

[2] Les géotechniciens l'expriment sous la forme de la masse d'eau contenue par le sédiment (m_{eau}) divisée par la masse sèche du sédiment (m_s). Ici nous l'exprimerons sous la forme de la masse d'eau divisée par la masse de sédiment humide (masse totale m)

La densité sèche est égale à la masse des grains divisée par le volume de sédiment, cela équivaut à remplacer le fluide interstitiel par du vide et à poser $\rho_f = 0$ dans l'équation (20). La densité sèche s'exprime alors de la façon suivante:

$$\rho_s = \rho_g(1-\phi) \quad (27)$$

En substituant ϕ par l'équation (21) elle peut s'exprimer en fonction de la fonction humide suivant l'équation:

$$\rho_s = \rho_g\left(\frac{\rho_f - \rho}{\rho_f - \rho_g}\right) \quad (28)$$

3.3. Hypothèses sur les paramètres

Pour obtenir la densité humide il est nécessaire de faire des hypothèses sur les paramètres que sont:

- la densité du fluide interstitiel ρ_f
- la densité de l'eau ρ_{eau}
- la densité de grain ρ_g

Ces paramètres peuvent être déterminés par des mesures ponctuelles sur le sédiment, mais comme ils varient peu et peuvent être estimés de façon fiable en ayant connaissance de la nature du sédiment nous nous contenterons d'hypothèses.

Densité du fluide interstitiel ρ_f et de l'eau ρ_{eau}

Le fluide interstitiel est de l'eau mer (dans le cas de carottes marines). Il est composé d'eau et de différents sels en solution (en majorité NaCl, sels de potassium et de magnésium, $CaSO_3$ and $CaCO_3$). Pour les calculs nous avons employé la densité moyenne de l'eau de mer ρ_f**=1,024**, elle correspond à une salinité de 3,5% à une température de 23°C à la pression atmosphérique.

La densité de l'eau douce est estimée à ρ_{eau}**=1**.

Densité de grain ρ_g

La densité de grain est fonction de la nature du sédiment. La densité moyenne des particules qui composent le sédiment est de 2,65. Elle varie peu pour les composants les plus fréquents (Tab. I-5).

Minéral	Densité
Quartz	2,65
Opale	2,04 à 2,16
Calcite	2,71
Montmorillonite	2,12
Illite	2,53
Chlorite	2,77
Plagioclases	2,62 à 2,76
Pyrite	5,0
Hématite	5,27

Tab. I-5: Densité des principaux minéraux rencontrés dans les sédiments.

Les sédiments étudiés sont en moyenne composés de carbonates de calcium à plus de 70% du poids sec. Pour calculer la densité humide nous avons donc utilisé une densité de grain ρ_g=**2,71** (Tab. I-5). La densité de grain à utiliser pour un sédiment terrigène est de 2,65 ce qui n'est pas très différent de celle de la calcite, par contre pour un sédiment très riche en silice biogène la densité de grain doit être plus faible car la densité de l'opale est plus basse (Tab. I-5).

4. Stratigraphie

4.1. But et principes

Etablir une stratigraphie a pour but de reconstituer la chronologie des dépôts. Il s'agit donc de dater les niveaux de dépôt, et de déduire des paramètres comme les taux de sédimentations et les flux sédimentaires. Plusieurs méthodes sont utilisées, elles présentent des précisions très variables. Ces méthodes sont décrites dans l'annexe "Techniques de sédimentologie". Dans notre étude nous disposons de 8 carottes (Fig. I-11, I-12 et Tab. I-7) pour lesquelles a été réalisée une stratigraphie basée sur la corrélation des variations du $\partial^{18}O/^{16}O$ avec la référence SPECMAP [Imbrie *et al.*, 1984; Martinson *et al.*, 1987] (Fig. I-13). Nous disposons également d'une stratigraphie nannofossiles, de l'abondance relative de *Coccolithus pelagicus*, de la teneur en carbonates sur 21 carottes, et des courbes de réflectance des sédiments (niveaux de gris sur une photo) sur 40 carottes (Tab. I-7).

Ces méthodes stratigraphiques sont basée sur les variations du climat et plus précisément sur la correspondance entre les périodes glaciaires et les périodes d'insolation minimale à 65°N [Milankovitch, 1941]. La théorie astronomique des climats montre que les variations d'insolations à la surface du globe, et par conséquence les variations climatiques, sont liées aux paramètres orbitaux Terre-Soleil. Ces paramètres [Berger, 1988] sont l'activité solaire (So), l'excentricité de l'orbite elliptique de la terre autour du soleil (e), l'obliquité de l'axe de rotation de la terre par rapport à l'écliptique (ε), la longitude du périhélie par rapport à l'équinoxe d'hiver (ω). Si on suppose que l'activité solaire (So) est constante dans le temps Il est possible de déterminer 3 cycles de variation de l'insolation [Berger, 1988]: la précession, e = sin(ω), de 21 ka, l'obliquité (ε) de 41 ka et l'excentricité (e) de 101 ka (Fig. I-14). Ces cycles orbitaux

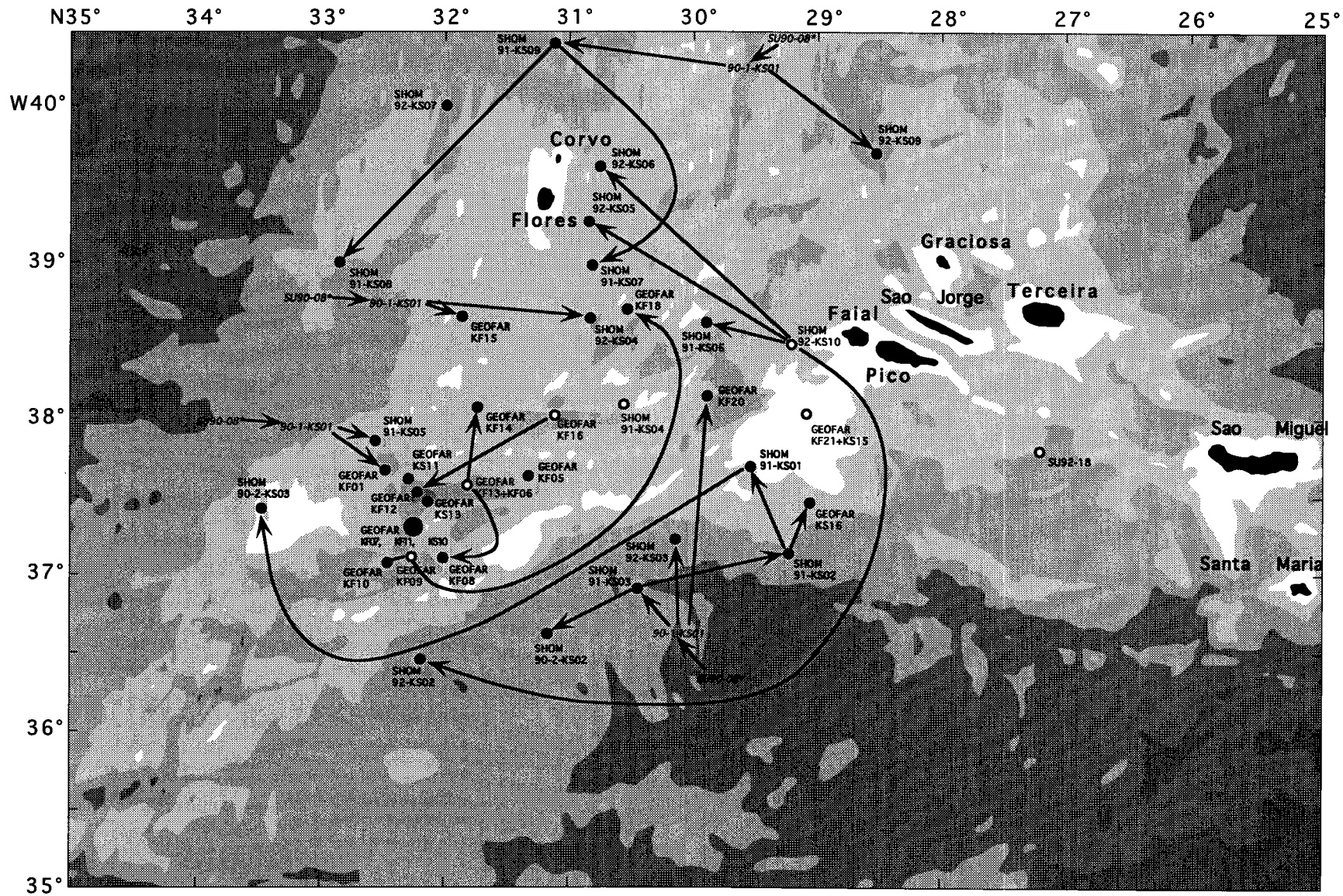


***Fig. I-11**: La stratigraphie des carottes a été réalisée par corrélation de la réflectance des sédiments, calibrée par des carottes pour lesquelles nous disposons d'une stratigraphie isotopique (ronds blancs). Pour chaque carotte, la stratigraphie isotopique de référence et les corrélations intermédiaires sont indiquées par les flèches. La carotte SU90-08 (référence) est située en dehors de la carte (43°N-30°W à une profondeur de 3080 m). Les carottes 90-1-KS01 (43°34N-31°21W, profondeur 3280 m), 90-1-KS02 (42°58N-27°48W, profondeur 3072 m et 92-KS08 (41°03N-31°19W, profondeur 2600 m) sont également en dehors de la carte.*

encore appelés cycles de Milankovitch correspondent aux cycles des variations des divers paramètres enregistrés par les sédiments.

Ce sont ces paramètres, qui peuvent être appelés des "outils stratigraphiques" (Fig. I-15), que nous utiliserons pour établir nos stratigraphies.

4.2. Outils stratigraphiques

4.2.1. Isotopes de l'oxygène, $\partial^{18}O/^{16}O$

Le rapport $^{18}O/^{16}O$ de l'eau de mer est déterminé par 2 facteurs, le volume de glace aux pôles et la salinité. Le signal utile pour une stratigraphie de signification globale est le signal du volume de glace, c'est généralement celui qui domine. L'oxygène 16, plus léger, est extrait préférentiellement par l'évaporation. Lorsque le bilan évaporation/précipitation augmente, l'eau de mer s'appauvrit en ^{16}O et le rapport $^{18}O/^{16}O$ augmente, et *vice-versa*. Ce bilan évaporation/précipitation est régulé par la capacité des pôles à stocker les précipitations sous forme de glace. Lorsqu'en période froide le volume de glace, riche en ^{16}O, est important le rapport $^{18}O/^{16}O$ de l'eau de mer est élevé et *vice versa*. [Emiliani, 1955] a le premier défini les "stades isotopiques" désignés par ordre décroissant jusqu'à l'actuel (stade 1). Les stades "chauds" à faible rapport $^{18}O/^{16}O$ sont désignés par un chiffre impair, les stades "froids" à rapport $^{18}O/^{16}O$ élevé sont désignés par un chiffre pair. Imbrie *et al.* [1984] ont calé les stades isotopiques (stack de 5 carottes de l'atlantique) sur cycles orbitaux de Milankovitch et ont établi la courbe "référence" SPECMAP" qui donne un âge "astronomique" aux stades isotopiques (Fig. I-13) avec une précision d'environ 5 ka.

Le rapport $^{18}O/^{16}O$ dans les test des foraminifères est fonction du rapport de l'eau de mer et de la température. A leur mort leur test coule et, s'il ne se dissout pas, atteint le fond et est enfoui. Les foraminifères planctoniques enregistrent le rapport isotopique des eaux de surface (ou de subsurface) tandis que les foraminifères benthiques enregistrent le rapport isotopique des eaux de fond. Le rapport isotopique enregistré varie suivant l'espèce de foraminifère et est indispensable de ne pas mélanger les espèces, le genre Cibicides (benthique) fait exception. Les espèces de foraminifères utilisées dans cette étude sont *Globigerina bulloides*, *Globigerina ruber*, *Globorotalia inflata* (planctoniques) et *Cibicides wuellorstorfi* (benthique) (Fig. I-12).

4.2.2. Réflectance et teneur en carbonates

Dans l'océan Atlantique nord, en l'absence de tout apport volcanique et de processus gravitaires, les variations de teneur en carbonates du sédiment sont liées aux variations climatiques. Elles résultent d'une complexe interaction entre la productivité en surface, la dissolution et la dilution par du matériel non-carbonaté [Crowley, 1983]. Elles sont corrélées aux variations des valeurs du $\partial^{18}O$, et bien que n'étant pas totalement en phase pour les petites variations, elles le sont pour les grandes [Williams & Ledbetter, 1979]. Dans l'océan Atlantique

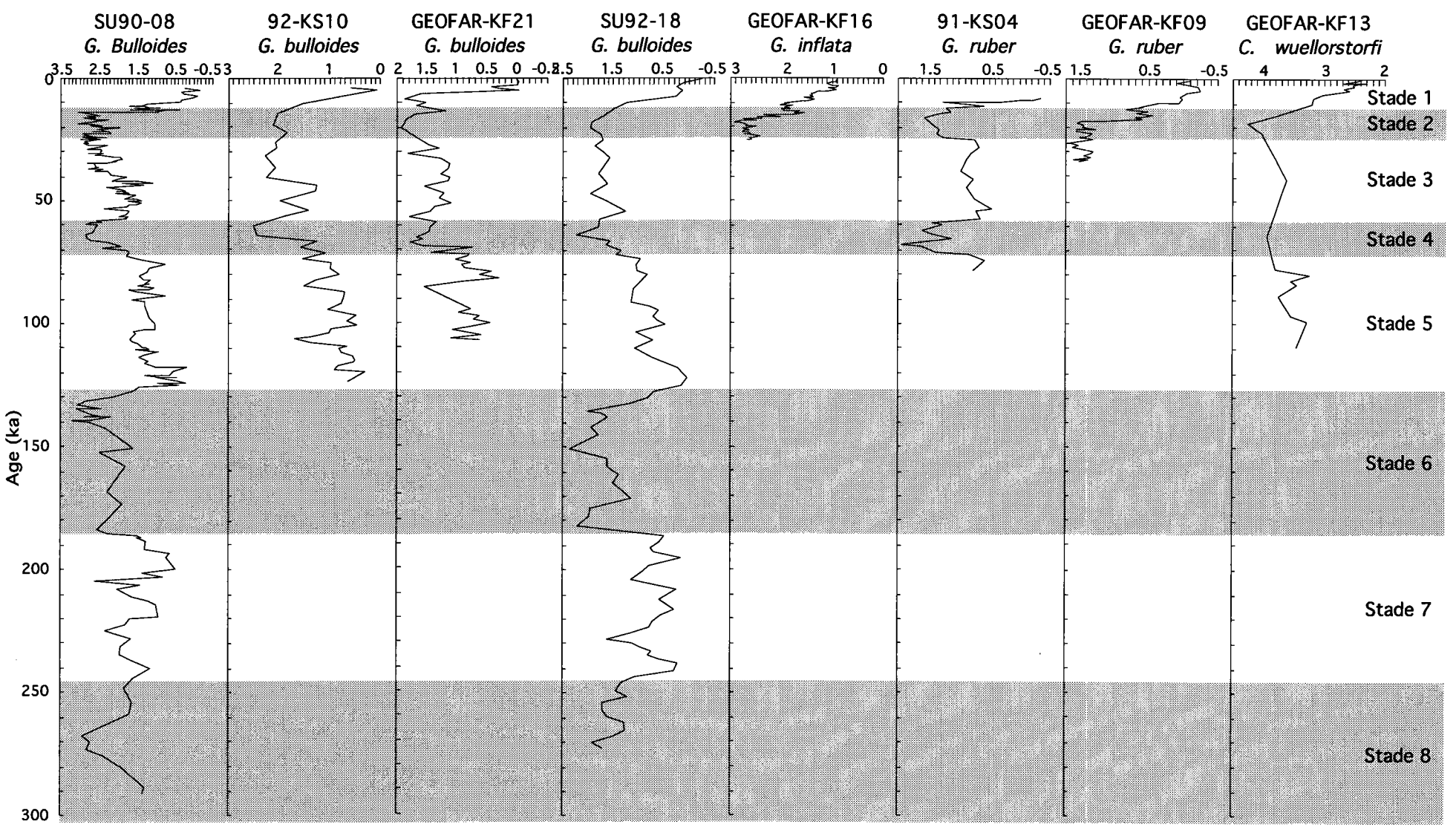


***Fig. I-12**: Les 8 courbes d'isotopes de l'oxygène (‰ $\partial^{18}O$) utilisées pour calibrer les courbes de réflectance et établir la stratigraphie des carottes par corrélation des courbes de la réflectance. Les âges atteints s'expliquent surtout par des différences de taux de sédimentation. Origine des données: 91-KS04, GEOFAR KF09, KF16 et KF13 [Richter, 1996], 92-KS10 et GEOFAR-KF21 [Boelaert, In prep.], SU90-08 [Cortijo, 1995], SU92-18 [Boelaert, In prep.].*

les sédiments glaciaires sont caractérisées par de faibles teneurs en carbonates et un fort $\partial^{18}O$, les sédiments interglaciaires de fortes teneurs en carbonates et un faible $\partial^{18}O$ [Balsam, 1983] (Fig. I-15). Plusieurs auteurs [Balsam, 1983; Crowley, 1983; Jones *et al.*, 1984] ont utilisé les courbes de teneur en carbonates comme outil stratigraphique.

La réflectance des sédiments est fonction de leur teneur en carbonates [Cortijo & Reynaud, 1992]. Plus le sédiment est riche en carbonates plus il est clair, et inversement. Les variations de réflectance sont donc également corrélées aux variations du rapport isotopique $^{18}O/^{16}O$ [Bond *et al.*, 1993; Cortijo, 1995]. Il est donc possible, lorsque les variations climatiques sont bien marquées, d'obtenir un signal "climatique" à l'aide des courbes de la réflectance des sédiments, et secondairement d'en déduire une stratigraphie par corrélation avec les variations isotopiques $^{18}O/^{16}O$ comme l'ont fait Cortijo *et al.* [1995]. Les courbes de réflectance ont l'avantage d'être acquises à très haute résolution, et quasiment en continu (cf. annexe "Techniques de Sédimentologie").

4.2.3. Biostratigraphie sur nannofossiles et abondance de Coccolithus pelagicus

La biostratigraphie sur les nannofossiles calcaires a été déterminée par Müller [1991; 1992; 1994; 1995]. Les associations rencontrées sont typiques des masses d'eaux subtropicales. Les zonations déterminées sont celles établies par Martini [1971], les unités déterminées sont basées sur les travaux de Bréheret [1977] (Fig. I-16). La base de la zone NN21 est déterminée par l'apparition de *Emiliania huxleyi*. Elle est datée à 270 ka [Thierstein *et al.*, 1977] et correspond au milieu du stade isotopique 8, elle s'étend jusqu'à l'époque actuelle. La base de la zone NN20 correspond à l'extinction de *Pseudoemiliania lacunosa* et est datée à 470 ka. La base de la zone NN19 n'est pas atteinte dans nos sédiments L'unité I est caractérisée par l'abondance d'*Emiliania huxleyi*, la base est déterminée par la disparition de *Gephyrocapsa sp. B* et est datée à environ 170 ka. L'unité II est déterminée par l'acme de *Gephyrocapsa sp. B*, la base est datée à environ 270 ka. Cette unité est caractérisée par une plus faible diversité des associations de nannofossiles. L'unité III est déterminée par la présence d'*Emiliania huxleyi* (rare), de *Gephyrocapsa sp. B*, (rare à fréquente) et de *Gephyrocapsa caribbeanica*. Sa base correspond à la base de la zone NN21. l'unité IV correspond à la zone NN20. Ces limites biostratigraphiques correspondent à des changements climatiques majeurs. La résolution de cette stratigraphie est faible, la précision sur les limites des zones et de l'ordre de 20 cm (pas d'échantillonnage), pour un taux de sédimentation de 2 $cm.ka^{-1}$ la résolution sur ces limites est de 10 ka. Les âges attribués aux limites peuvent varier d'une région à l'autre, ils ont cependant, comme la teneur en carbonate, une signification régionale.

L'espèce *Coccolithus pelagicus* est caractéristique des eaux froides, cette espèce n'est actuellement pas présente dans la région des Açores. Les courbes d'abondance établies par Müller [1991; 1992; 1994; 1995] malgré le faible pas d'échantillonnage permettent de déterminer la position du dernier maximum glaciaire, et du stade 4 dans les carottes à fort taux de sédimentation. Cette espèce est un témoin de l'arrivée des masses d'eau froides lors des glaciations, le signal climatique qu'elle contient précède le signal contenu dans le $\partial^{18}O$.

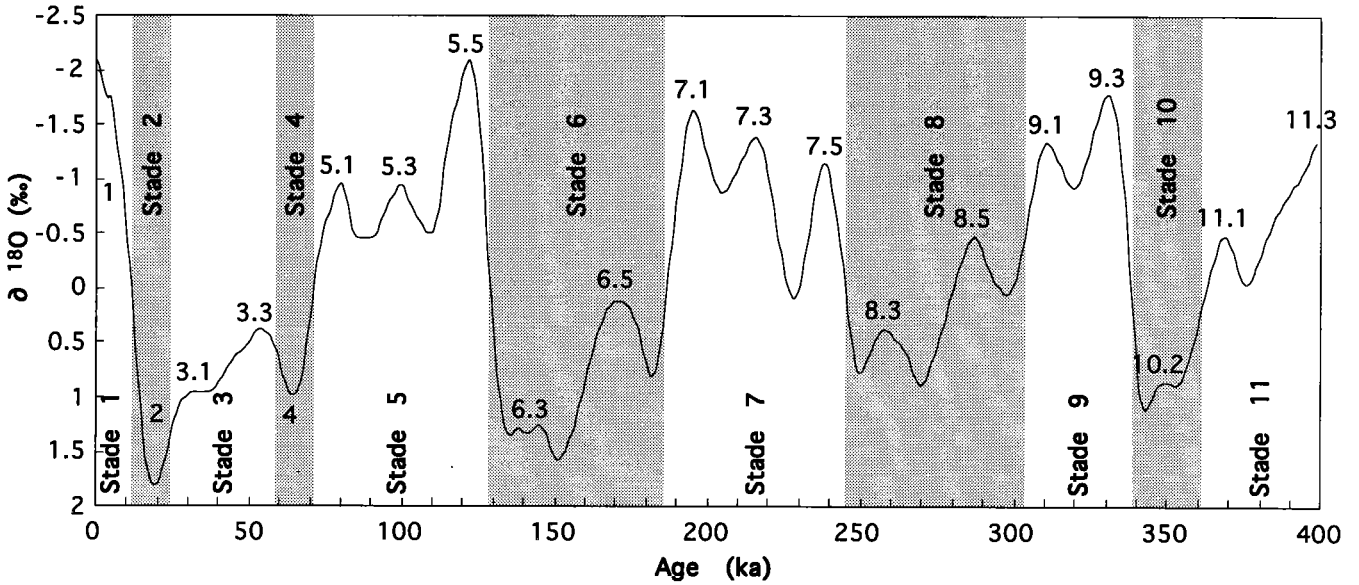


Fig. I-13: *Courbe SPECMAP [Imbrie et al. 1984]. L'âge des stades isotopiques a été calé sur les cycles orbitaux de Milankovitch. Les stades chauds sont nommés par un chiffre impair et les stades froids par un chiffre pair. Les chiffres après la virgule indiquent des paroxysmes (chauds ou froids) dans les stades. Les limites entre les stades sont sur la pente maximale, c'est à dire aux périodes de changement rapide de climat.*

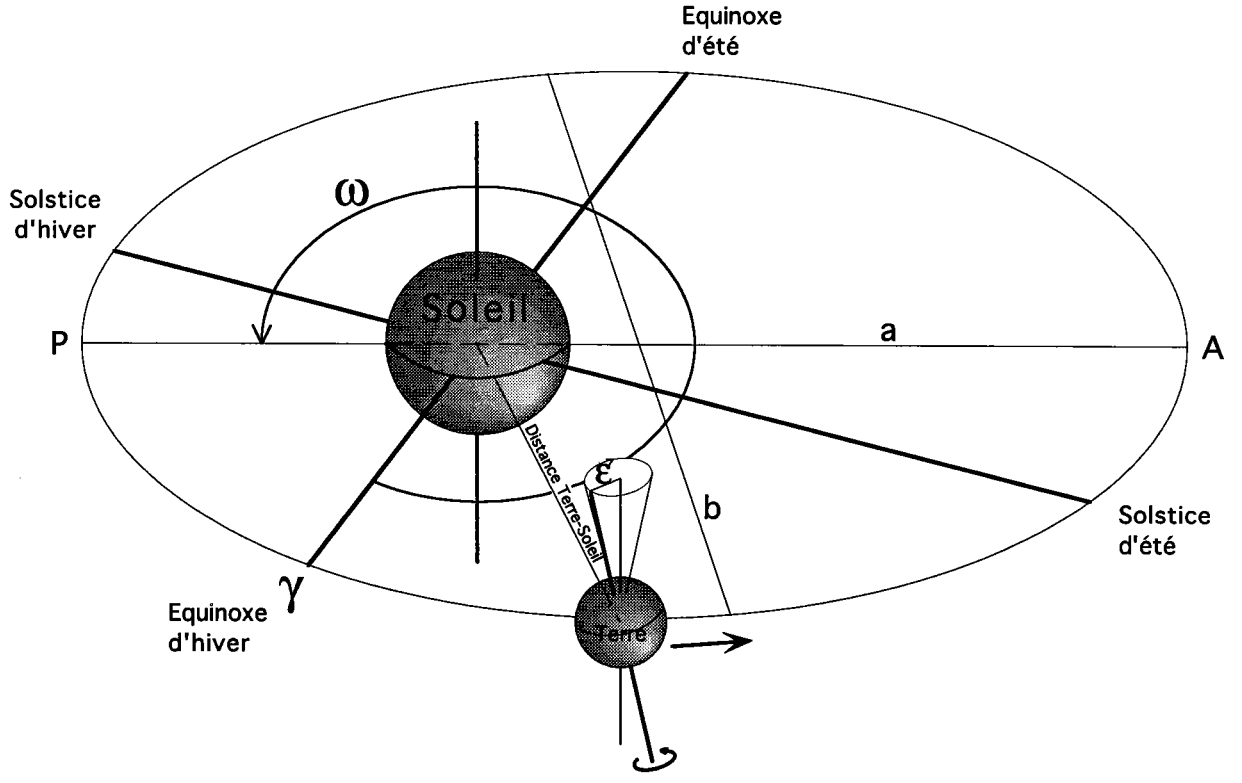


Fig. I-14*: La théorie astronomique des climats, d'après Berger [1988]: les paramètres orbitaux (e: l'excentricité de l'orbite terrestre autour du soleil = a/b), ε: l'obliquité de l'axe de rotation de la terre par rapport à l'écliptique, et w: la logitude du périhélie par rapport à l'équinoxe d'hivers) permettent de déterminer trois cycles de variation de l'insolation: la précession (e.sin(ω)) de 21 ka, l'obliquité (ε) de 41 ka et l'excentricité (e) de 101 ka. Ces cycles orbitaux sont encore appelés cycles de Milankovitch. a et b: grand axe et petit axe de l'ellipse de l'orbite terrestre autour du soleil, γ position de la terre à l'équinoxe d'hiver, P: périhélie, A: aphélie.*

4.2.4. Datation par carbone 14

Le ^{14}C est un cosmonucléide produit dans l'atmosphère et incorporé dans le cycle du carbone. Cet isotope du carbone est instable et possède une demi-vie de 5730 ans. Le rapport isotopique $^{14}C/^{12}C$ des tests carbonatés des foraminifères est en équilibre avec le rapport dans l'atmosphère, durant la vie de l'organisme. A la mort de l'organisme les échanges entre le test carbonaté et l'extérieur sont interrompus. Le ^{14}C du test commence à se désintégrer et le rapport $^{14}C/^{12}C$ à décroître. La mesure du rapport $^{14}C/^{12}C$ dans le test de l'organisme mort et la connaissance de la loi de désintégration permet de déduire le temps écoulé depuis la mort de l'organisme. L'hypothèse est faite que le taux de ^{14}C à la mort de l'organisme était identique au taux observé dans l'atmosphère actuellement. L'âge maximal mesurable par cette méthode est d'environ 40.000 ans. L'âge obtenu doit être corrigé de -400 ans qui correspond à l'âge moyen des eaux de surface de l'océan. Des études ont néanmoins montré que le rapport $^{14}C/^{12}C$ dans l'atmosphère avait varié au cours du temps. Des corrections de l'échelle d'âge carbone 14 ont été proposées, fondées sur la dendrochronologie, la chronologie des varves et la chronologie U-Th dans les coraux [Bard *et al.*, 1993; Bard *et al.*, 1990].

Nous avons effectué 6 datations de ce type sur la carotte GEOFAR KF21 au sommet, à 66 cm, 70 cm, 82 cm, 104 cm et 134 cm. La mesure des niveaux 70 cm, 82 cm, 104 cm et 134 cm ont été effectuées sur la fraction >63 µm, celle du sommet et du niveau 66 cm sur la totalité de l'échantillon. Pour vérifier l'absence de carbonates détritiques fins dans ces deux niveaux nous avons daté un échantillon de surface prélevé à proximité de KF21. Cette datation à donné un âge de 205 ±80 ans. Cet âge inférieur à 400 ans signifie l'absence de pollution par des carbonates détritiques et autorise la datation sur échantillon total car la stratigraphie isotopique place les 2 niveau dans l'Holocène, l'hypothèse est faite que la totalité de l'Holocène ne contient pas de carbonates détritiques.

Les âges obtenus (Tab. I-6) ont été convertis en âges calendaires selon la correction de Bard *et al.* [1993] dans le but de les incorporer à la stratigraphie isotopique établie pour KF21. Cette correction est nécessaire car la différence d'âge est de 3 ka pour un âge de 20 ka soit un écart de 15%.

Profondeur	Age 14C en ka BP	Ages Calendaires en années BP	Δ Age en années
0 cm	190 ±60	190	0
66 cm	7915 ±100	8915	1000
70 cm	15990 ±300	18988	2998
82 cm	16680 ±250	19843	3163
104 cm	17215 ±200	20507	3292
134 cm	19195 ±500	22962	3767

Tab. I-6: *Ages obtenus par la datation ^{14}C pour la carotte GEOFAR KF21, non corrigés de l'effet de réservoir.. Les âges calendaires sont obtenus d'après la correction de [Bard et al., 1993].*

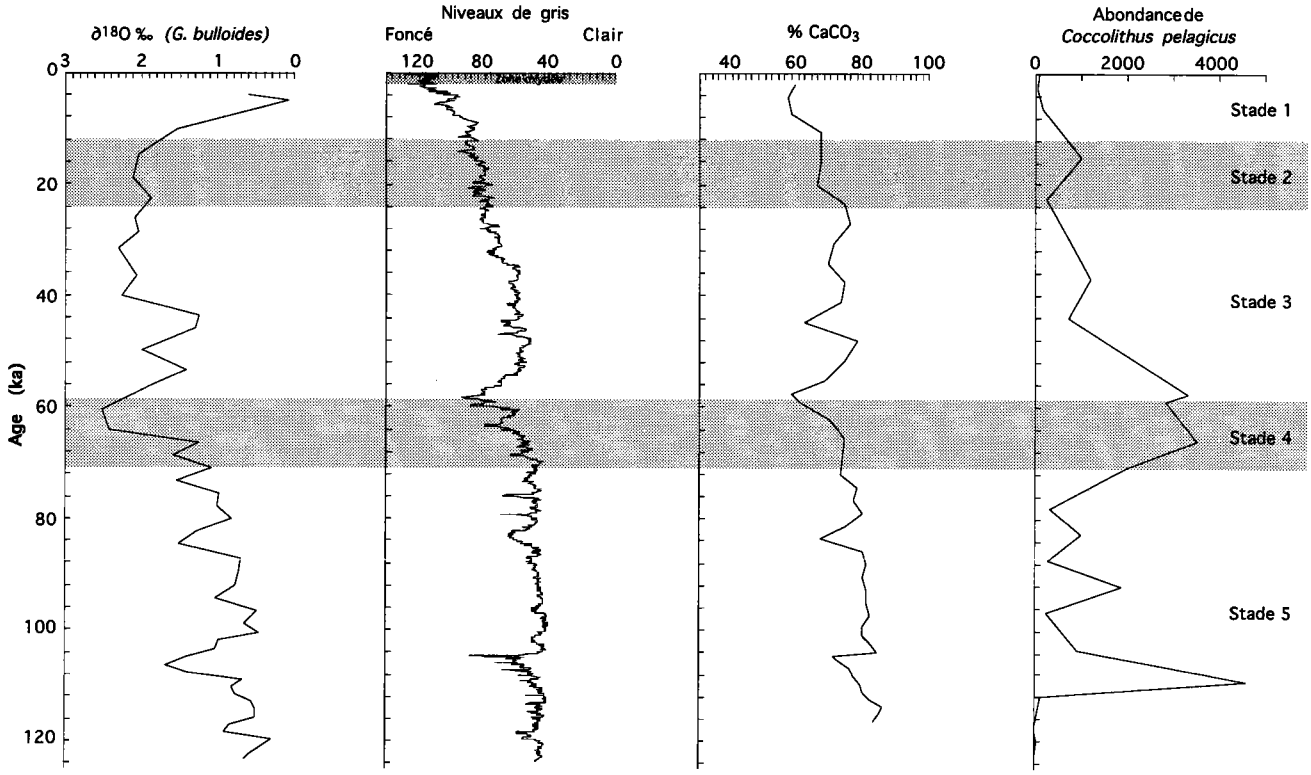


***Fig. I-15**: Les "outils stratigraphiques" employés (exemple de la carotte 92-KS10) . Les courbes de réflectance (niveaux de gris) ont servi à la corrélation stratigraphique des carottes car c'est la seule donnée, contenant le signal climatique, disponible pour toutes les carottes. Elle a l'avantage d'être facile à acquérir et d'être quasi-continue. Seule la partie supérieure oxydée de la carotte n'est pas exploitable car la réflectance correspond à un état d'oxydation et pas à la teneur en carbonates.*

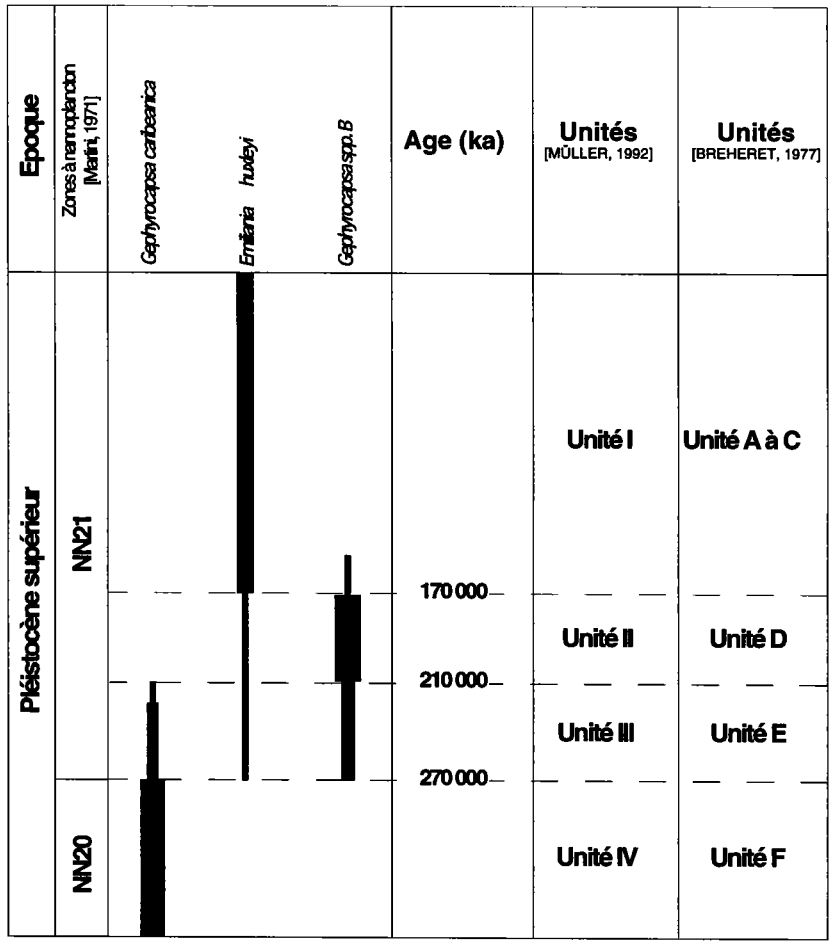


***Fig. I-16**: Echelle biostratigraphique employée par Müller [1991, 1992, 1993 et 1994].*

	∂18O	Nannofossiles	N. de G.	14C
90-1-KS01		√	√	
90-1-KS02		√	√	
90-2-KS02		√	√	
90-2-KS03		√	√	
91-KS01		√	√	
91-KS02		√	√	
91-KS03		√	√	
91-KS04	√*	√	√	
91-KS05		√	√	
91-KS06		√	√	
91-KS07		√	√	
91-KS08		√	√	
91-KS09		√	√	
92-KS02		√	√	
92-KS03		√	√	
92-KS04		√	√	
92-KS05		√	√	
92-KS06		√	√	
92-KS07		√	√	
92-KS08		√	√	
92-KS09		√	√	
92-KS10	√**	√	√	
GEOFAR-KS06		√	√	
GEOFAR-KS10		√	√	
GEOFAR-KS11		√	√	
GEOFAR-KS12		√	√	
GEOFAR-KS13		√	√	
GEOFAR-KS15		√	√	
GEOFAR-KS16		√	√	
GEOFAR-KF01		√	√	
GEOFAR-KF02		√	√	
GEOFAR-KF03		√	√	
GEOFAR-KF04		√	√	
GEOFAR-KF05		√	√	
GEOFAR-KF06		√	√	
GEOFAR-KF07		√	√	
GEOFAR-KF08		√	√	
GEOFAR-KF09	√*	√	√	√
GEOFAR-KF10		√	√	
GEOFAR-KF11		√	√	
GEOFAR-KF12		√	√	
GEOFAR-KF13	√*	√	√	√
GEOFAR-KF14		√	√	
GEOFAR-KF15		√	√	
GEOFAR-KF16	√*	√	√	√
GEOFAR-KF18		√	√	
GEOFAR-KF20		√	√	
GEOFAR-KF21	√**	√	√	√

***Tab. I-7**: Récapitulatif des outils stratigraphiques utilisés pour chaque carotte. * Graduiertenkolleg, Kiel [Richter, 1996] ** CFR, Gif-Sur-Yvette [Boelaert, In prep.]*

4.3. Méthode stratigraphique

Afin d'établir une stratigraphie aussi précise que possible nous avons corrélé de proche en proche les courbes de réflectance de toutes les carottes en utilisant comme référence les courbes de réflectance des carottes pour lesquelles nous disposons d'une courbe isotopique $\partial^{18}O/^{16}O$ (Tab. I-7) corrélées à la courbe SPECMAP. Il nous ainsi été possible d'établir une stratigraphie précise sur la plupart de nos carottes. Dans la plupart des cas l'abondance de *Coccolithus pelagicus* et la biostratigraphie du nannoplancton nous a servi de "garde fou". Le choix des carottes pour les corrélations (Fig. I-11) a été fait en fonction de la similitude des courbes de réflectance et des stades isotopiques atteints (fonction du taux sédimentation et de la longueur de la carotte). Cela explique que certaines corrélations sont faites avec des carottes lointaines mais dont les caractéristiques de réflectance et de taux de sédimentation sont proches. Les "ancres" de corrélations sont généralement les maxima et les minima remarquables sur les courbes de réflectance. Les âges des limites stratigraphiques utilisées sont celles des stades isotopiques [Imbrie *et al.*, 1984; Martinson *et al.*, 1987]. Les corrélations graphiques ont été réalisées grâce au logiciel AnalySeries [Paillard *et al.*, 1996]. Seul les séries pélagiques ont été prises en compte, les séries turbiditiques ont été considérées comme des événements instantanés.

CHAPITRE II:

Distribution et litho-stratigraphie des sédiments

Introduction

Ce chapitre concerne la distribution et la lithologie de la couverture sédimentaire. La distribution et l'épaisseur des sédiments sera abordée sur la dorsale à l'aide de l'image acoustique du sondeur multifaisceaux EM12 et de la sismique monotrace acquises lors de la mission SIGMA de l'IFREMER [Needham *et al.*, 1992]. Nous analyserons également la morphologie de la zone et nous déterminerons son impact sur la distribution des sédiments. Nous nous intéresserons ensuite à la lithologie du sédiment à partir des prélèvements. Les paramètres étudiés sont la teneur en carbonates, la texture, la teneur en opale (spicules et plancton siliceux) et la teneur en verre volcanique. Nous examinerons la nature du sédiment récent et au dernier maximum glaciaire (LGM), ainsi que la teneur en carbonates pour les stades isotopiques 1 à 6 (183 ka). Nous étudierons également la relation entre la texture et la composition du sédiment, à partir d'une étude statistique sur les modes.

1. Distribution des sédiments sur la dorsale

1.1. Carte de la réflectivité acoustique

Le principe de l'image acoustique est fondé sur la capacité du fond sous-marin à réfléchir les ondes acoustiques utilisées pour le relevé bathymétrique. Cette capacité est liée aux propriétés physiques du sédiment telles que densité et texture. La réflectivité du fond est traduite sous forme de "niveaux de gris": sombre pour les fortes réflectivités, clair pour les faibles réflectivités. Des études sont en cours en vu de déterminer les caractéristiques physiques du sédiment d'après sa réflectivité, mais cette dernière est en fait une moyenne sur le premier mètre de sédiment (environ). L'hétérogénéité des dépôts sédimentaires fait qu'un niveau de réflectivité peut correspondre à une multitude de faciès. Pour cette raison nous n'avons pas tenté de cartographier les faciès sédimentaires à l'aide de l'image de la réflectivité du fond. Les fonds océaniques au niveau de la dorsale ont l'avantage de présenter deux type de surfaces aux réflectivités très contrastées: la roche et le sédiment. La roche possède une réflectivité beaucoup plus importante que le sédiment, elle apparaît en noir sur l'image tandis que le sédiment apparaît en gris (Fig. II-1 et II-3). L'image obtenue peut en première approximation être considérée comme une réelle cartographie de la couverture sédimentaire sur la dorsale médio-océanique. Cette image a d'ailleurs été utilisée avec succès pour déterminer des sites de carottage lors de la campagne GEOFAR. La réflectivité des fonds n'est pas uniquement fonction de ses propriétés

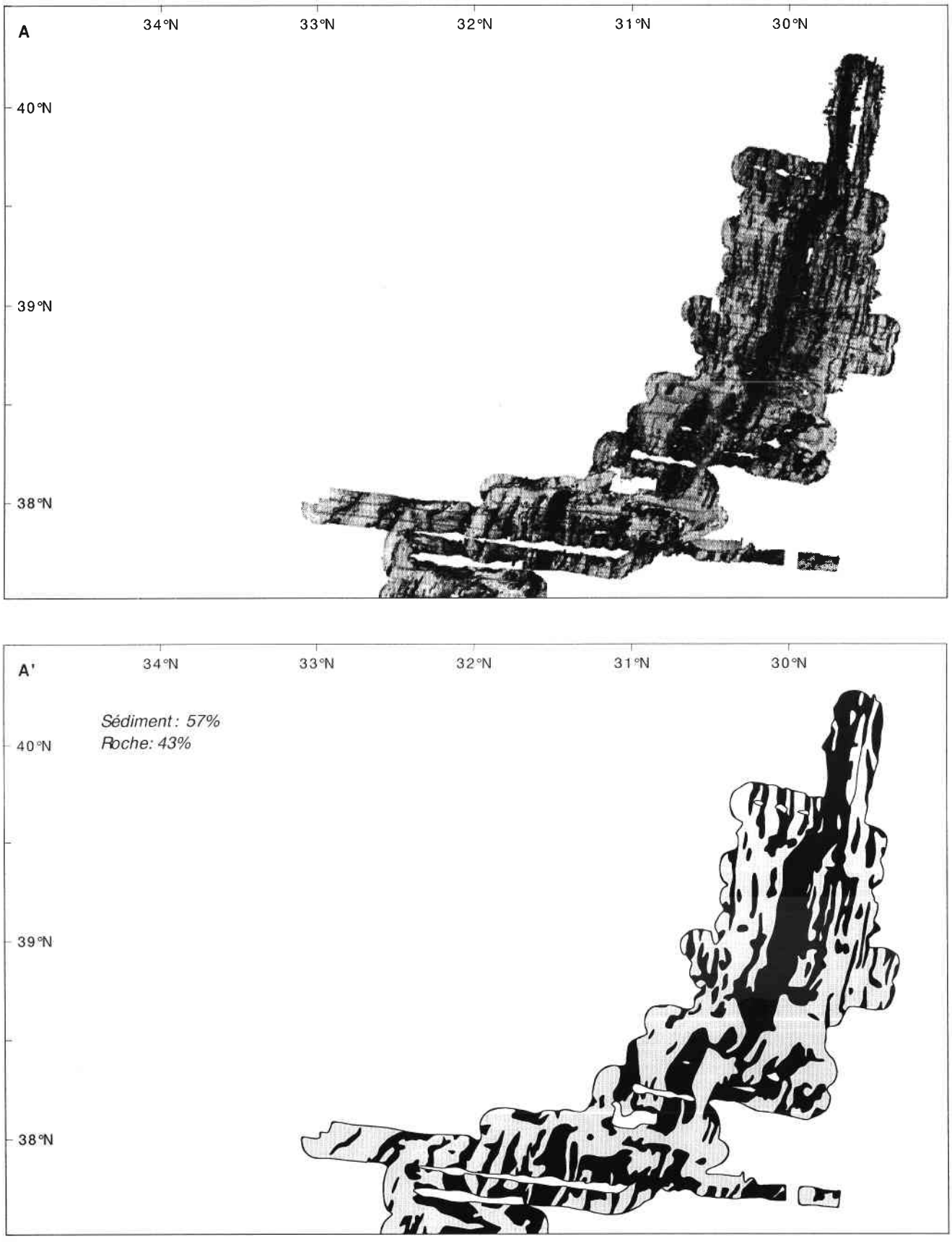
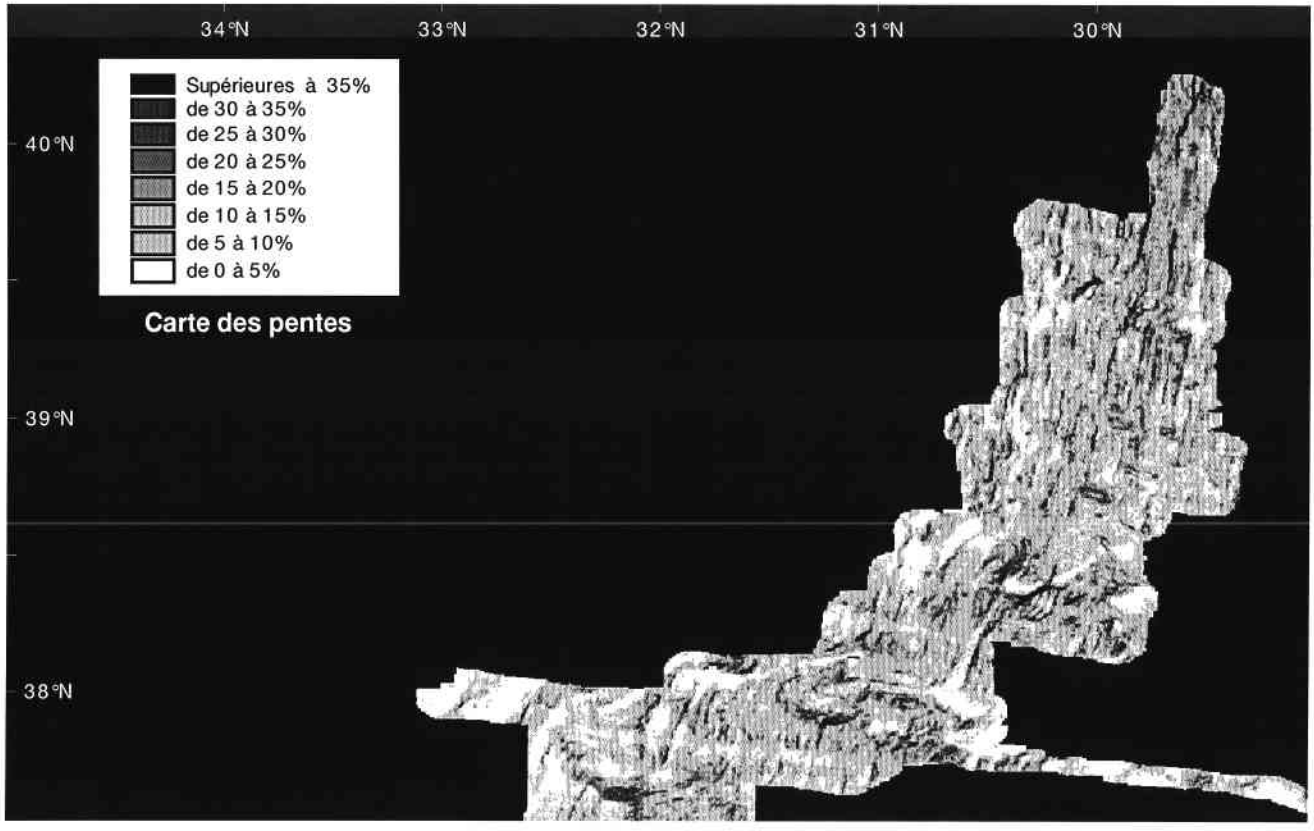


Fig. II-1 *: Image de la réflectivité acoustique de la partie nord de la dorsale du plateau des Açores (A) et interprétation en terme de nature du fond (A'). Les fortes réflectivités apparaissent sombres et sont interprétées comme roche, les faibles réflectivités apparaissent en clair et sont interprétées comme sédiment. Le sédiment représente 57% de la surface éclairée.*



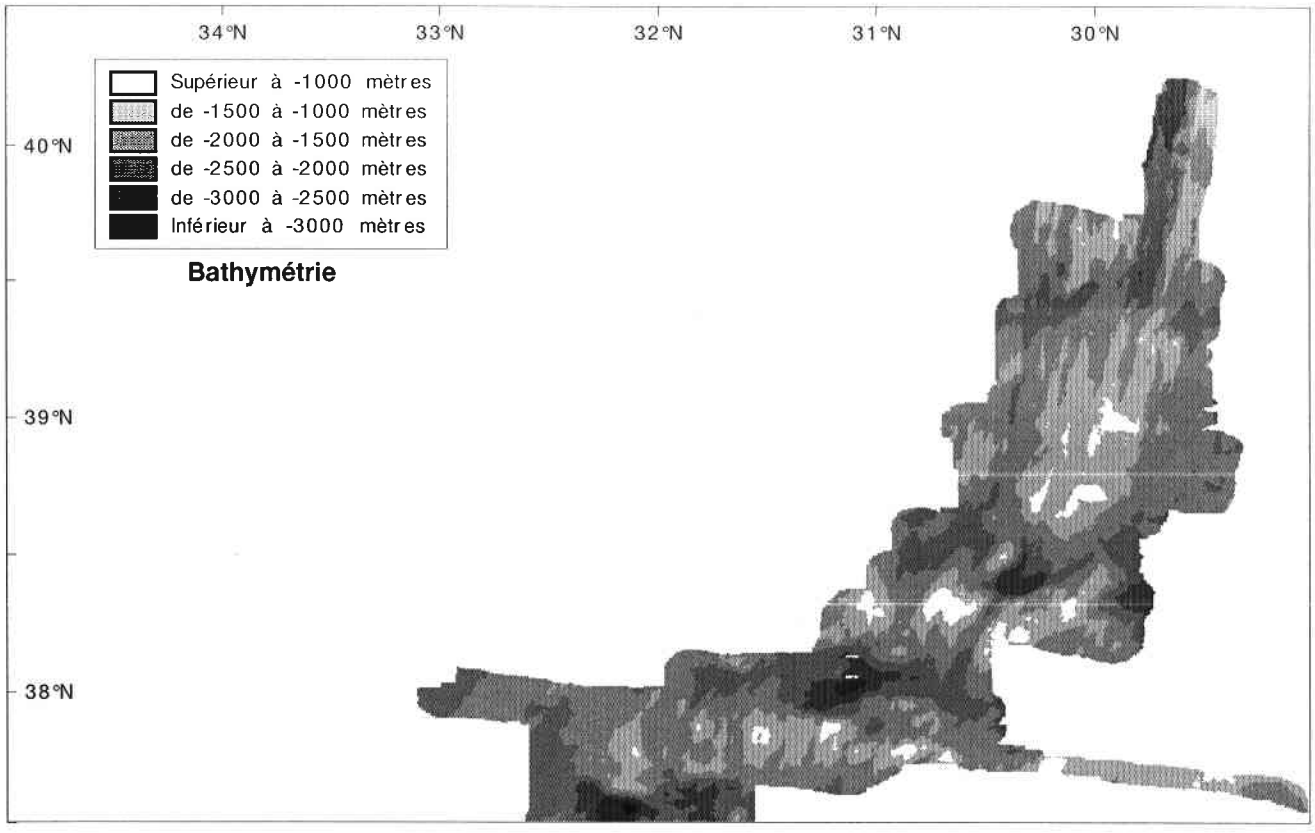


***Fig. II-2**: Cartographie des pentes et de la bathymétrie de la partie nord de la dorsale du plateau des Açores. Les pentes les plus faibles (<5%, ≈2.25°) sont plus fréquentes hors axe et correspondent à des fonds sédimentaires.*

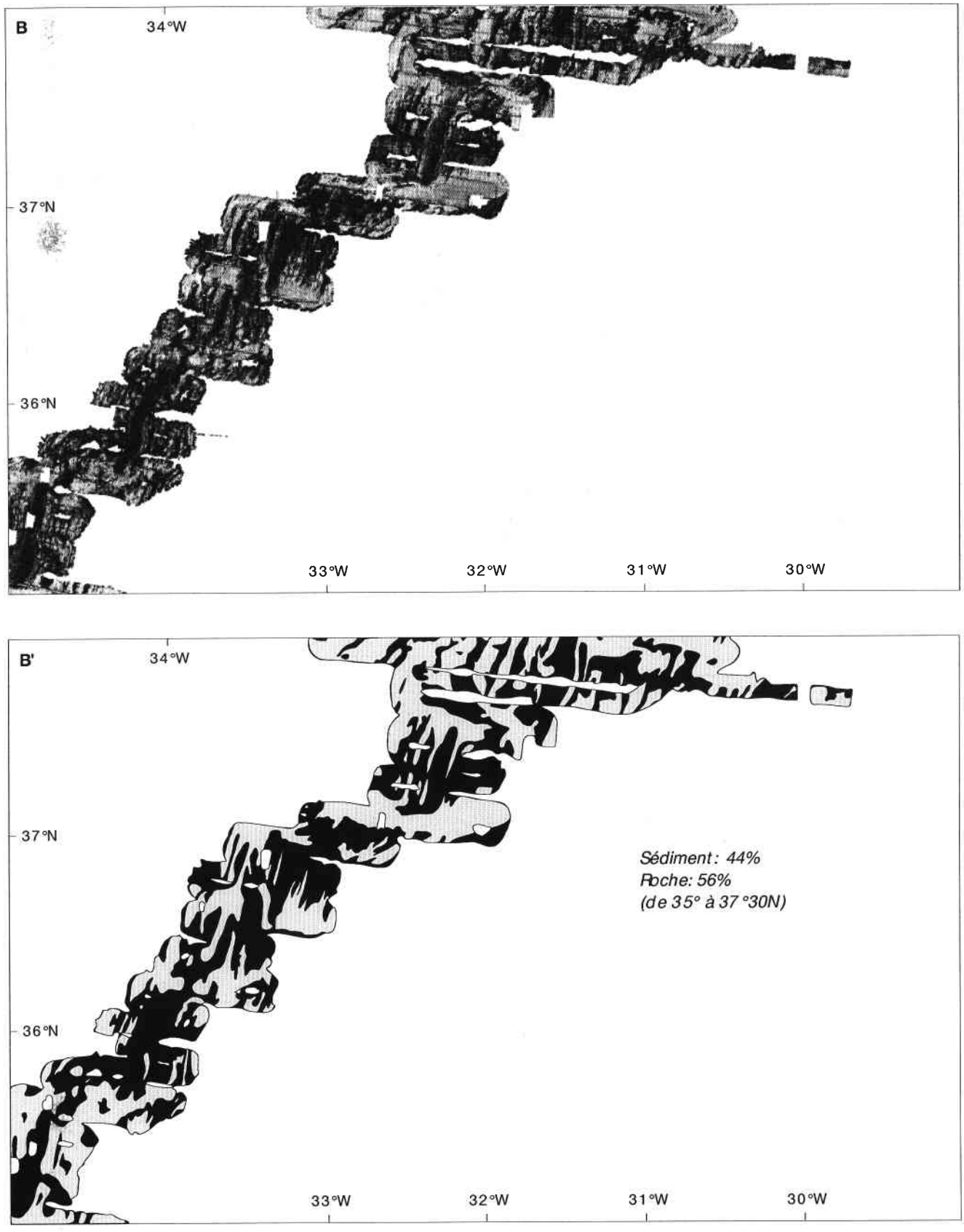
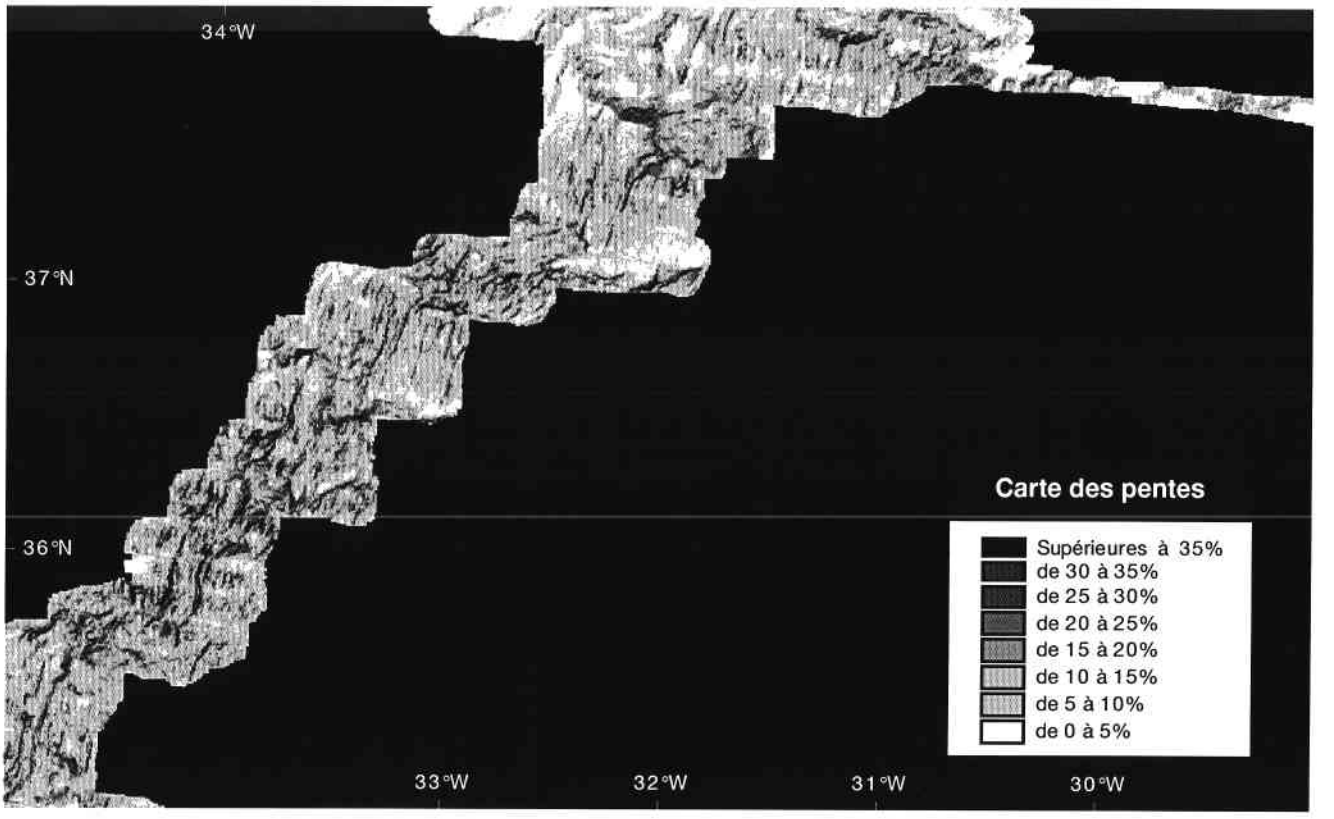


***Fig. II-3**: Image de la réflectivité acoustique de la partie sud de la dorsale du plateau des Açores (B) et interprétation en terme de nature du fond (B'). Les fortes réflectivités apparaissent sombres et sont interprétées comme roche, les faibles réflectivités apparaissent en clair et sont interprétées comme sédiment. Le sédiment représente 44% de la surface éclairée.*



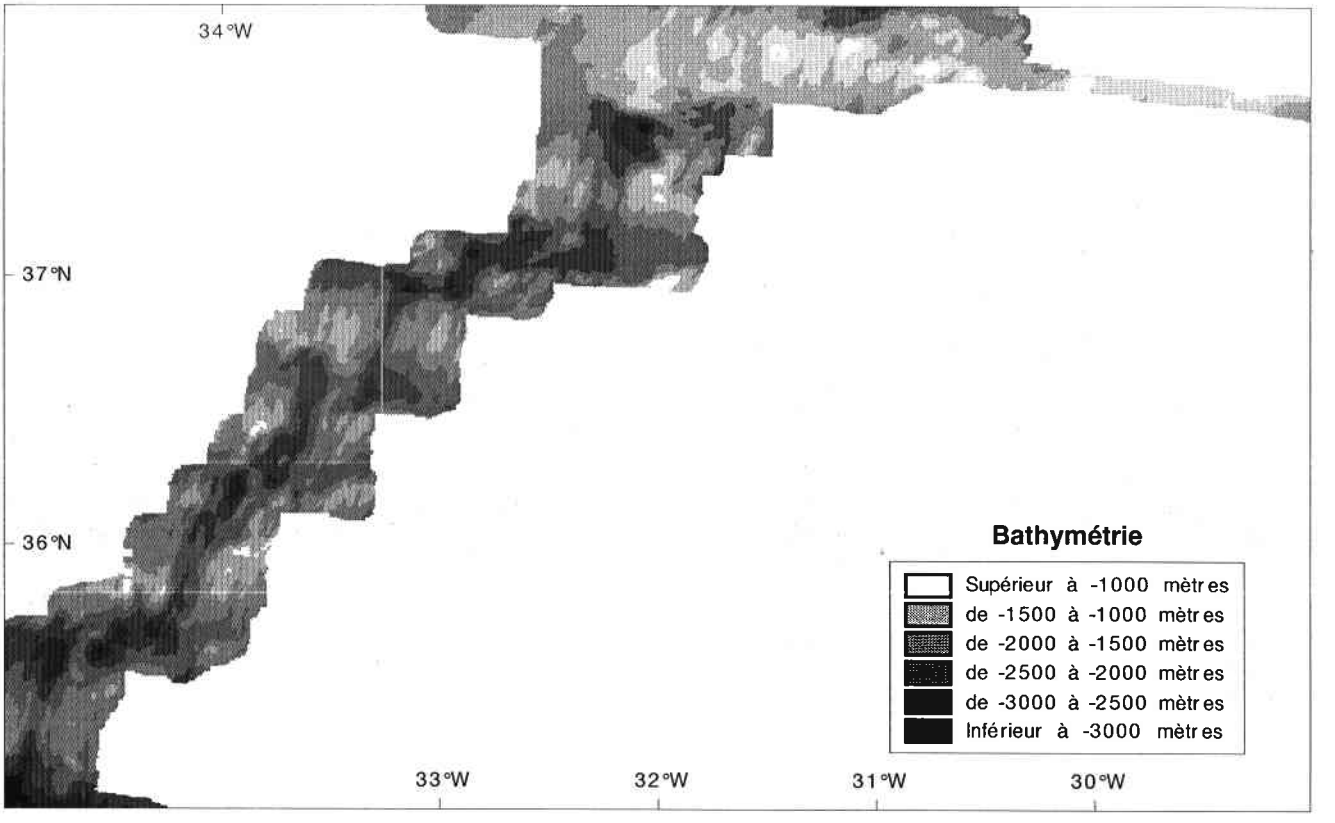


***Fig. II-4**: Cartographie des pentes et de la bathymétrie de la partie sud de la dorsale du plateau des Açores. Les pentes les plus faibles (<5%, ≈2.25°) sont plus fréquentes Hors axe et correspondent à des fonds sédimentaires.*

physiques, mais également de la morphologie. En effet, la quantité d'énergie réfléchie dépend également de l'angle d'incidence des faisceaux sur les surfaces éclairées. Si un faisceau est perpendiculaire à la surface (θ=90°) la réflexion est maximale, s'il est parallèle (θ=180°) elle est minimale. C'est en fait cette caractéristique qui semble dominante si on compare la carte des pentes à celle de la réflectivité: la réflectivité maximale correspond aux plus grandes pentes (Fig. II-2 et II-4). Il est néanmoins possible d'interpréter la réflectivité en terme de présence de sédiment car les faibles pentes correspondent au comblement des bassins. Les fortes pentes ne peuvent accumuler du sédiment et tendent donc à présenter de la roche nue. Pour l'ensemble de ces raisons la carte de réflectivité représente une bonne approximation de la distribution des sédiments (Fig. II-1 et II-3).

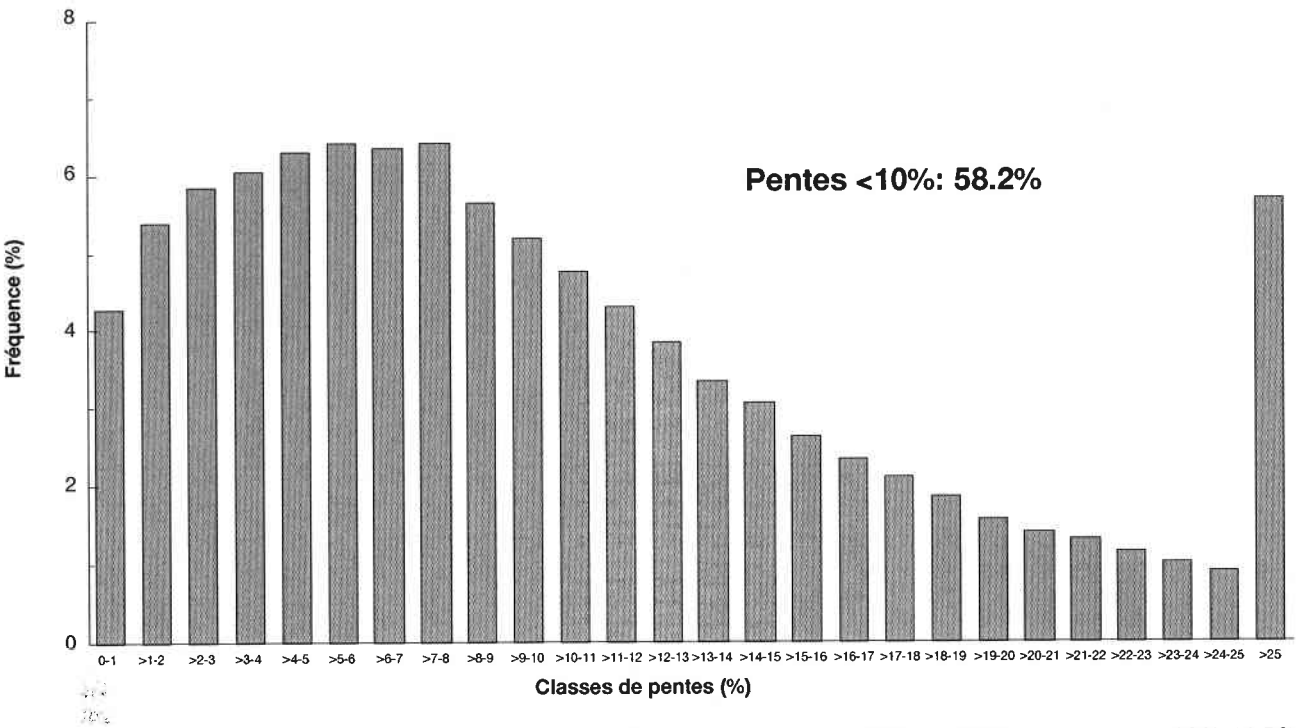


***Fig. II-6**: Histogramme des pentes sur la dorsale médio-atlantique entre 40°N et 35°N. Les pentes <10% (4.5°) représentent 58.2% de la totalité des pentes. Ce nombre est proche de l'estimation des surfaces sédimentées à partir de l'image acoustique de l'EM12.*

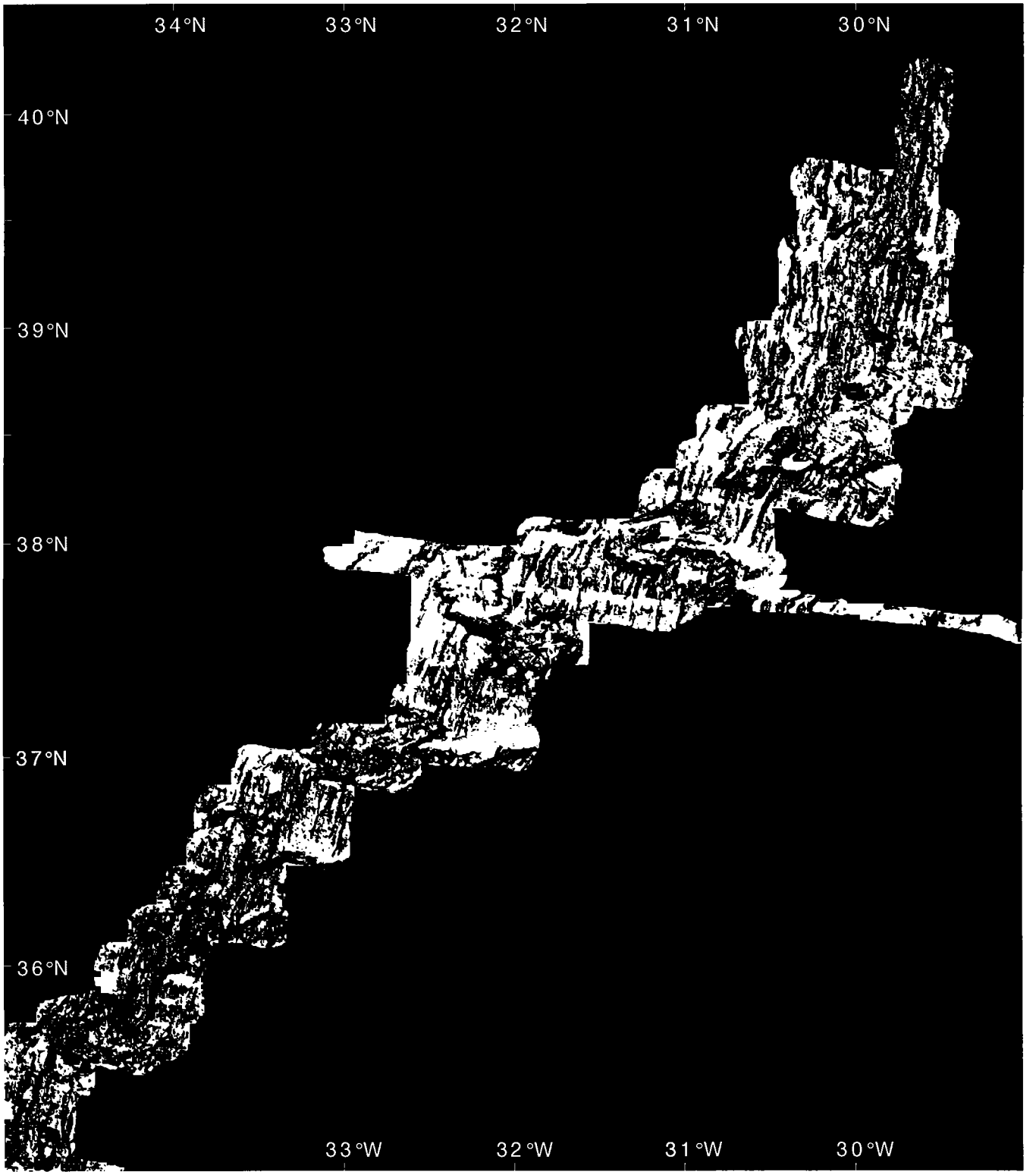


***Fig. II-5**: Carte des pentes <10% (4.5°). Les faibles pentes (en clair) correspondent aux fonds sédimentaires. Elles résultent du comblement des dépressions du socle océanique.*

1.2. Distribution

La comparaison entre réflectivité et bathymétrie montre que la distribution du sédiment est clairement contrôlée par la morphologie de la dorsale. Le sédiment apparaît nettement concentré dans deux types de bassins: 1°) type "sillon" plus ou moins discontinus et parallèles à l'axe de la dorsale, 2°) type "bassin" perpendiculaire à l'axe. Les sillons parallèles résultent du mécanisme de formation de la dorsale, bombements et effondrements successifs. Ils sont d'autant plus vieux qu'ils sont éloignés de l'axe. Les bassins transverses sont des discontinuités qui décalent les segments de la dorsale, nous les appellerons des "bassins transformants". L'axe de la dorsale est très réflectif car pauvre en sédiments. Il représente la partie la plus jeune, exposée depuis peu au flux sédimentaire. Cette caractéristique est d'autant plus réelle que l'axe lui-même n'est pas une zone ou les pentes sont systématiquement fortes. La forte réflectivité observée trouve donc sont origine dans l'absence ou la faible épaisseur de sédiments. La genèse de la croûte océanique implique que plus on est loin de l'axe plus le plancher est âgé. La morphologie de ce dernier doit donc en théorie s'estomper progressivement avec l'âge et l'éloignement de l'axe en raison du remplissage des bassins par les sédiments. Cette caractéristique apparaît partiellement sur la partie de la dorsale cartographiée (Fig. II-2 et II-4), elle correspond au fort contraste de réflectivité entre l'axe de la dorsale et ses flancs et est visible vers 37°45-37°N où les pentes semblent diminuer en s'éloignant de la dorsale.

La relation entre la rugosité du fond et la présence de sédiment peut dans une certaine mesure être quantifiée à l'aide des pentes. La comparaison de la carte des pentes et de la carte de réflectivité montre que la présence de sédiment n'est observée que pour des pentes <10% (=4.5°) et que les pentes <5% (2.25°) correspondent systématiquement à la présence de sédiment. Il en résulte une forte ressemblance entre la carte des pentes <10% et la carte de distribution des sédiments (Fig.II-1, II-3 et II-5). Ce lien direct entre la morphologie et la nature du fond est lié à la jeunesse du fond (maximum 3 Ma) et à la simplicité relative des processus sédimentaires actifs.

La couverture sédimentaire représente environ 57% de la surface éclairée dans la partie nord (entre 40°30N et 37°30N), et 44% dans la partie sud (entre 37°30N et 35°N). Cette différence vient du fait que la région sud couvre moins les flancs de la dorsale que la région nord. Cette répartition chiffrée est néanmoins intéressante pour traduire les flux de sédimentaires déterminés dans les bassins en flux moyen sur la région, c'est à dire indépendamment de la morphologie et des phénomènes de redistribution (cf. chapitre III). Les statistiques sur les pentes montrent que les pentes <10% représentent 58.2% de la surface (Fig. II-1, II-3 et II-6), ce qui est proche de l'estimation venant de l'imagerie (Fig. II-1, II-3) et confirme la relation étroite entre morphologie et couverture sédimentaire.

1.3. Epaisseur des sédiments

Quelques profils de sismiques monotrace ont été effectués durant la mission SIGMA ils ont permis d'estimer l'épaisseur des sédiments sur la dorsale entre 38°N et 40°N. La vitesse du son dans le sédiment a été fixée à 1500 $m.s^{-1}$ (vitesse du son dans l'eau) pour la conversion des temps doubles en profondeur, ce qui implique une certaine sous-estimation des épaisseurs car cette vitesse réelle est vraisemblablement supérieure. La précision est d'environ 25 mètres et la limite de détection de l'épaisseur est de 75 mètres du fait de l'épaisseur du réflecteur eau/sédiment.

L'épaisseur de la couverture sédimentaire est extrêmement variable (Fig. II-7). Elle est comprise entre 0 et 600 mètres et peut varier de 300 mètres sur une distance de moins de 10 km. Cette variabilité reflète la rugosité de la croûte océanique et confirme le facteur "lissant" des dépôts sédimentaires ainsi que le lien entre la morphologie et la nature du fond. Les épaisseurs les plus importantes tendent à être situées loin de l'axe et sont généralement associées aux grands bassins (cf. à 38°N).

Il est possible de distinguer 2 types dépôts qui se différencient essentiellement par leur épaisseur (Fig. II-8):

-les plaquages: situés sur des faibles pentes ou des points hauts, l'épaisseur ne dépasse généralement pas une centaine de mètres. Ils sont souvent affectés par des glissements
-les remplissages: situés dans les bassins où se trouvent les plus fortes épaisseurs. Le fond est plan.

Ces deux "types" sont liés à la morphologie du fond et à la capacité du sédiment à "s'accrocher" aux pentes. La faible épaisseur des plaquages (<100 mètres), les glissements de faible importance et les importantes accumulations dans les bassins suggèrent une instabilité des sédiments sur les pentes et des rééquilibrages occasionnels. Tisot [1986] a montré que les sédiments profonds océaniques carbonatés (du genre observé sur la dorsale, cf. § lithologie) ont des cohésions faibles même pour un enfouissement de plusieurs mètres. Ceci tend à réduire l'épaisseur accumulée sur les pentes et explique le fort contraste d'épaisseur des sédiments entre les pentes et les bassins. Cet aspect de la dynamique sédimentaire sur la dorsale sera développé dans le chapitre III.

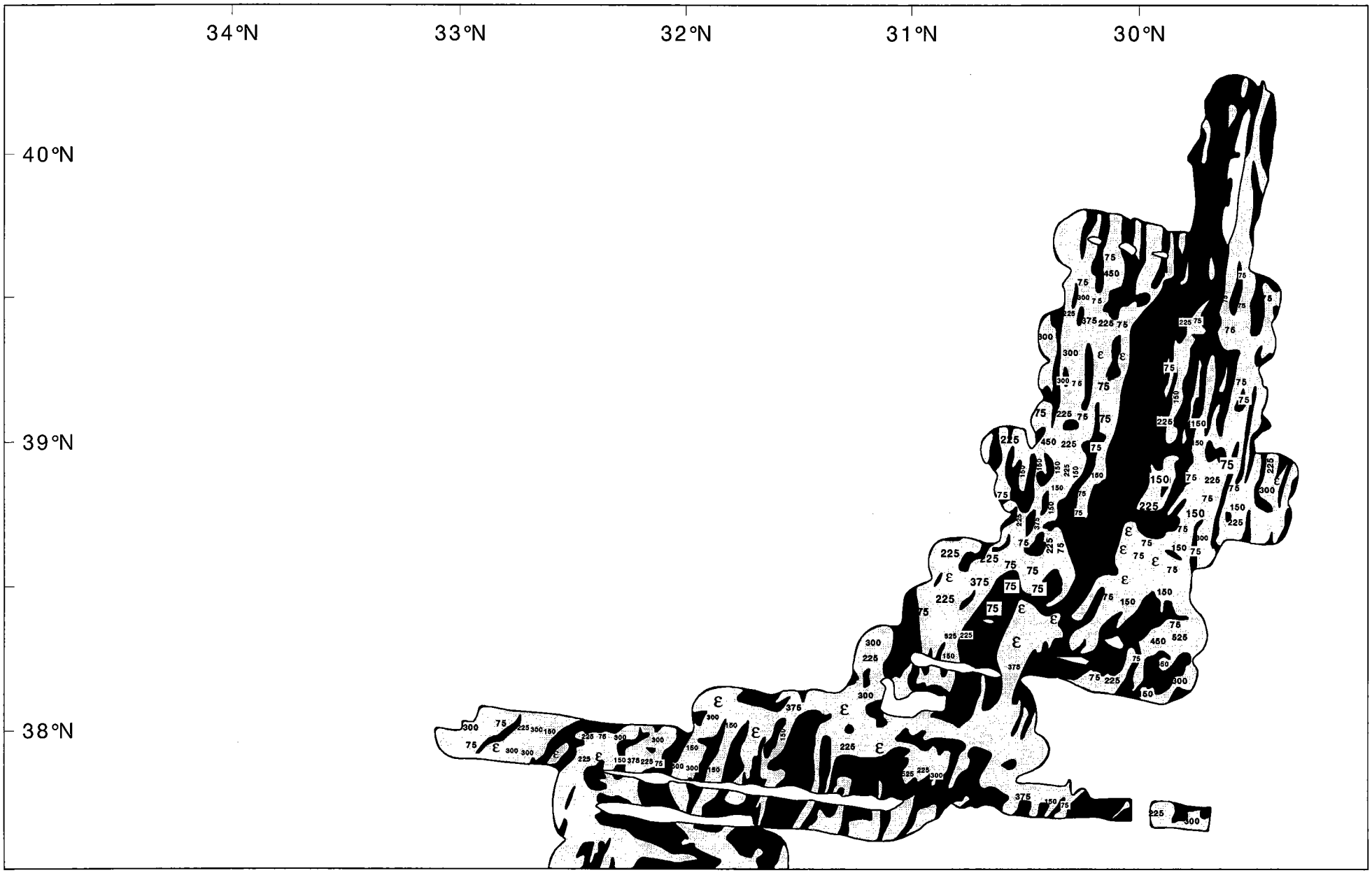
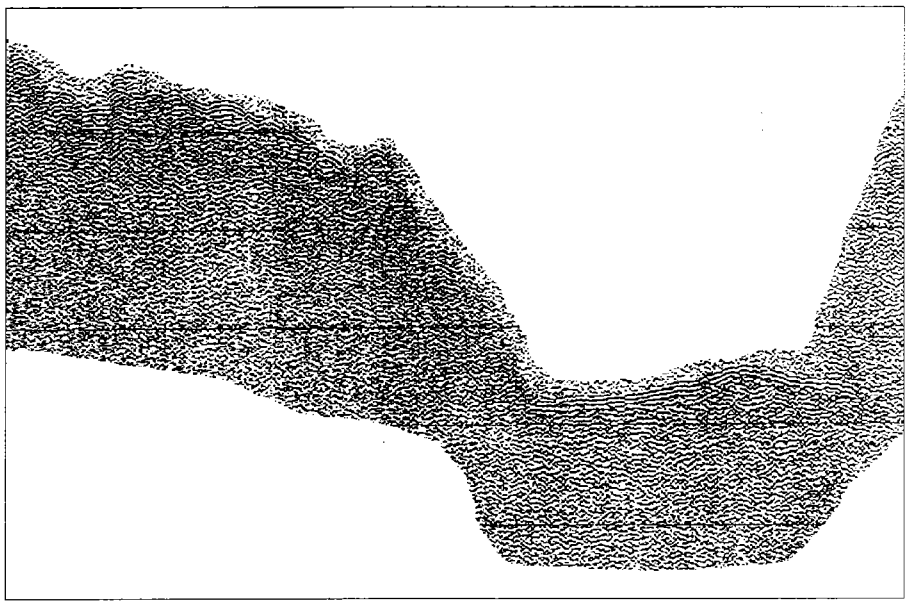
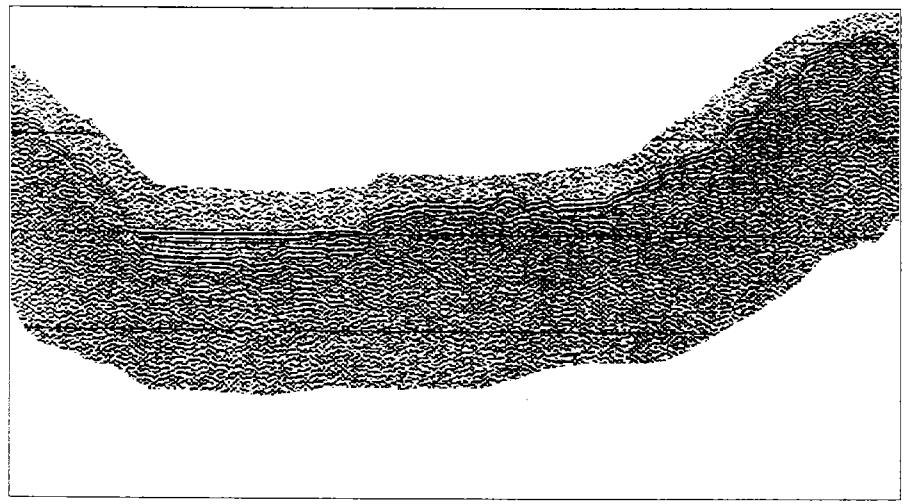
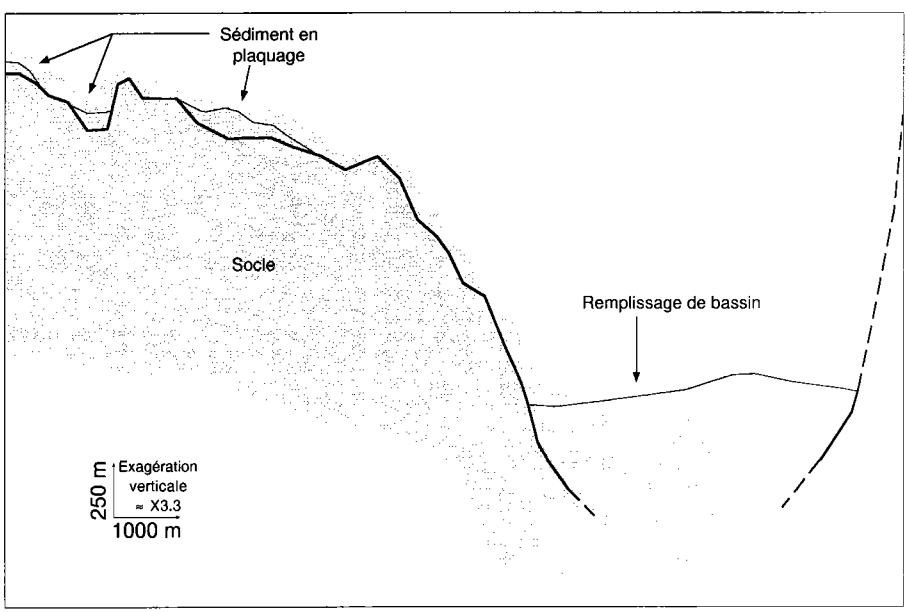


***Fig. II-7**: Epaisseurs de la couverture sédimentaire en mètres (d'après la sismique SIGMA, fournie par H.D. Needham). ε représente les épaisseurs inférieures à 75 mètres. Les épaisseurs sont calculées à partir des profondeurs en temps double mesurés sur les profils sismiques en utilisant une vitesse de 1500 m.s^{-1} (vitesse du son dans l'eau), elles représentent des épaisseurs minimales.*







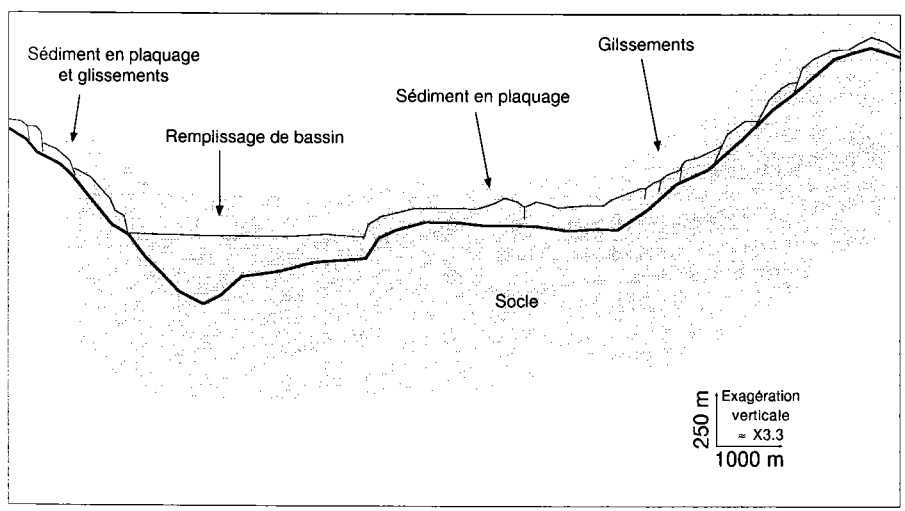


***Fig. II-8**: Deux types de dépôts sédimentaires sur la dorsale: 1°) des plaquages, épais au maximum de 100 mètres plus ou moins affectés de glissements, 2°) comblements de bassins dont la surface est généralement plane et horizontale. (Sismique SIGMA, fournie par H.D. Needham).*

2. Lithologie, composition des sédiments sur le plateau des Açores

L'étude lithologique a pour but de déterminer la nature et de quantifier les composants biogènes (nannofossiles, foraminifères, diatomées, radiolaires, spicules), terrigènes et volcaniques. L'abondance des ces composants reflète largement l'importance relative des sources du sédiment. La texture est également un élément de la lithologie qui fourni une l'information tant sur la nature des carbonates que sur les conditions hydrodynamiques lors du dépôt des particules. La texture du sédiment conditionne également les propriétés physiques des sédiments tels l'impédance acoustique. La détermination lithologique est la première étape vers la détermination des sources du sédiment et la compréhension des processus sédimentaires. Les caractéristiques sédimentologiques du plateau des Açores nous ont conduit à adopter une classification lithologique fondée sur la teneur en carbonates et l'abondance des foraminifères. Les détails de cette classification sont donnés dans l'annexe "Logs lithologiques". Cette classification a pour but de nommer le sédiment et d'obtenir une synthèse visuelle sous forme de logs et de cartes (cf. annexe "Logs lithologiques"). Néanmoins seule l'étude des divers paramètres va nous permettre d'interpréter la distribution des sédiments sur plateau des Açores. Nous passerons donc d'abord en revue l'abondance des composants lithologiques puis nous discuterons l'origine des variations observées.

L'étude des variations spatio-temporelles pour les teneurs en carbonates inclue la stratigraphie qui a permis de donner un âge à chaque échantillon d'une carotte. Celle-ci a permis d'établir des cartes de teneur moyenne en carbonates pour les stades isotopiques de 1 à 6 (les derniers 186 ka). Le choix des stades isotopiques comme division temporelle repose sur le fait que les variations climatiques sont une des causes essentielles de la variation de la teneur en carbonates. Nous avons également établi une série de cartes montrant les variations temporelles en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur.

2.1. Composante d'origine biogènes

2.1.1. Teneurs en carbonates

Le carbonate de calcium du plateau des Açores est exclusivement biogène. Nous nous trouvons ici loin des sources terrigènes continentales, et au sud de la limite d'extension des icebergs qui peuvent contribuer ailleurs à l'apport de carbonates détritiques. Une datation ^{14}C effectuée en surface (carotte KG24) sur sédiment total à donné un âge de 205 ±80 ans, ce qui compte tenu de la bioturbation et de l'âge moyen du réservoir océanique (400 ans) permet de conclure à l'absence de carbonates détritiques (et donc plus âgés). La situation était néanmoins peut-être différente durant les périodes de délestage massif d'icebergs lors des événements de Heinrich ou des carbonates détritiques fins ont pu être transportés jusqu'au plateau des Açores par les courants. Quoi qu'il en soit cette source n'est pas quantifiable et les carbonates peuvent

être considérés comme exclusivement d'origine biogène. Ils sont essentiellement composés de nannofossiles (coccolithes) et de foraminifères et pour les sédiments les moins profonds en partie de ptéropodes.

Sédiment de surface (Fig. II-9)

Le carbonate de calcium est un composant largement majoritaire sur la plateau des Açores quelques soient le lieu et l'époque. Il représente entrent 60% et 100% du sédiment. La carte de teneur en carbonates des sédiments de surface montre que la proximité des îles et la présence de la dorsale tendent à réduire les teneurs en carbonates, celles-ci décroissent à 60% près des îles, et atteignent 80% au niveau de l'axe de la dorsale tandis que les sédiments hors axe ont des teneurs de 85%. Si on considère la totalité des échantillons de surface (Fig. II-11) la teneur en carbonate ne montre pas de lien avec la profondeur d'eau. Cette observation est en contradiction avec la tendance observée par *Biscaye et al.* [1976] (Fig. II-13). Ces auteurs mettent en évidence une diminution linéaire de la teneur en carbonates avec la diminution de la profondeur et interprètent cette tendance par la dilution liée au mélange avec un matériel volcanique des îles des Açores. Biscaye *et al.* [1976] ne donnent pas la localisation exacte de leurs échantillons, uniquement la profondeur d'eau, mais elle est peut-être indicative de la distance aux îles. Ils est donc possible que beaucoup de leurs prélèvement soient situés à faible distance des îles (<50 km), ce qui expliquerait la fréquence des teneurs inférieures à 40% à des profondeur d'eau inférieures à 1500 mètres. Nos observations montrent en revanche une décroissance exponentielle de la teneur en carbonates avec la proximité des îles (Fig. II-11), ce qui met en évidence une dilution liée au matériel volcanique en provenance des îles volcaniques. Cette dilution (Fig. II-9) est à rapprocher de celle montrée par Biscaye *et al.*[1976] en fonction de la profondeur (Fig. II-13). On constate que au delà de 100 km le phénomène de dilution devient négligeable. La tendance linéaire entre la proximité des îles et la profondeur d'eau (Fig. II-13), implique d'après l'étude de Biscaye *et al.*[1976] une décroissance linéaire de la teneur en carbonates avec la proximité des îles, or nous mettons en évidence une décroissance exponentielle. L'explication la plus vraisemblable pour expliquer cette différence est que les points utilisés par Biscaye *et al.*[1976] se situent en majorité à des distances aux îles inférieures à 150 km car dans cette gamme de distance la diminution exponentielle peut sans doute être approximée à une décroissance linéaire. Les teneurs en carbonates données par ces auteurs sont pour la moitié inférieures à 50% et les prélèvements (d'après la carte Fig. II-9) situés à moins de 150 km des îles. Il n'y a donc probablement pas incompatibilité entre nos observations et celles de [Biscaye *et al.*, 1976].

La baisse des teneurs en carbonate liée à la présence de la dorsale n'apparaît pas sur les graphes car la dorsale ne se caractérise ni par une profondeur spécifique ni par une distance spécifique des îles. De plus la différence de teneur avec les sédiments hors axe (environ 5%) est relativement faible. En revanche si on ne considère que les sédiments issus des carottiers de

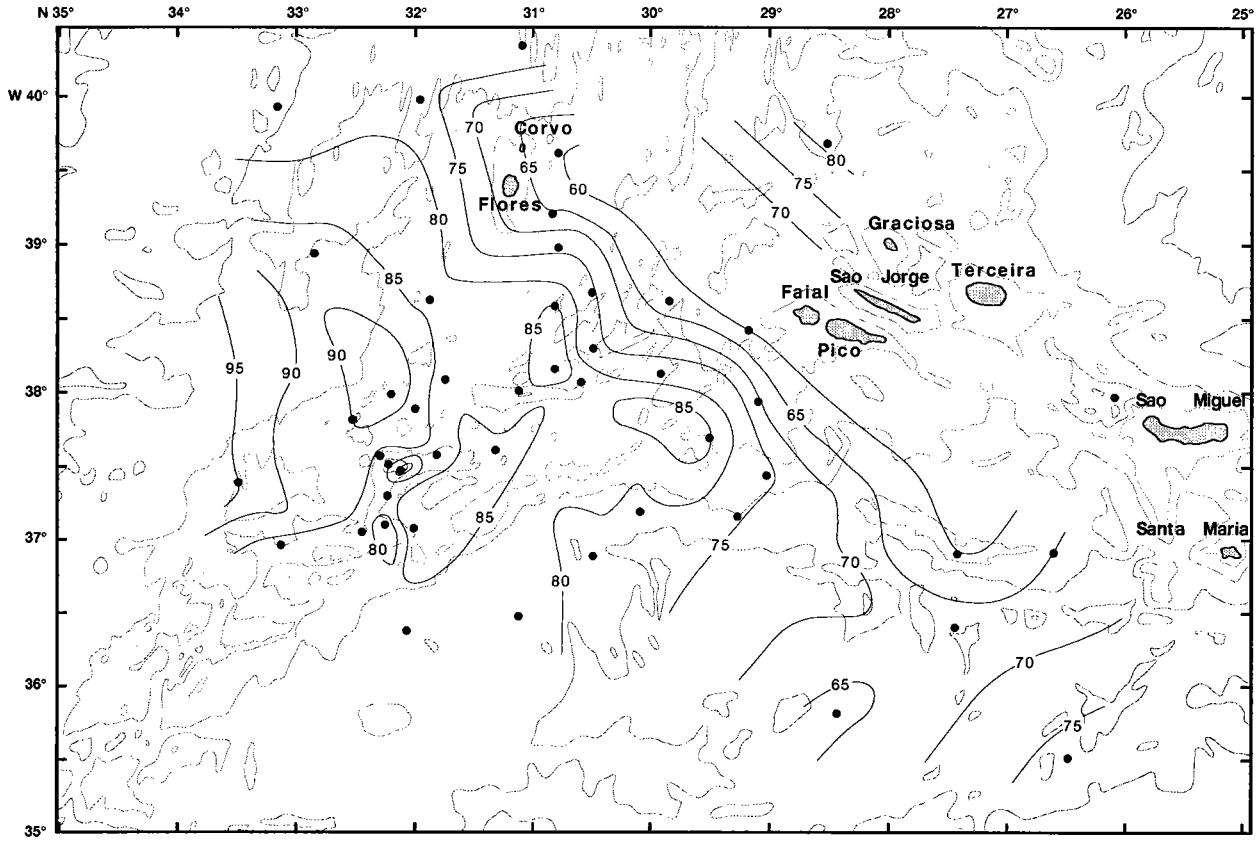


*Fig. **II-9**: Teneurs en carbonate du sédiment de surface sur le plateau des Açores. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en carbonate pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

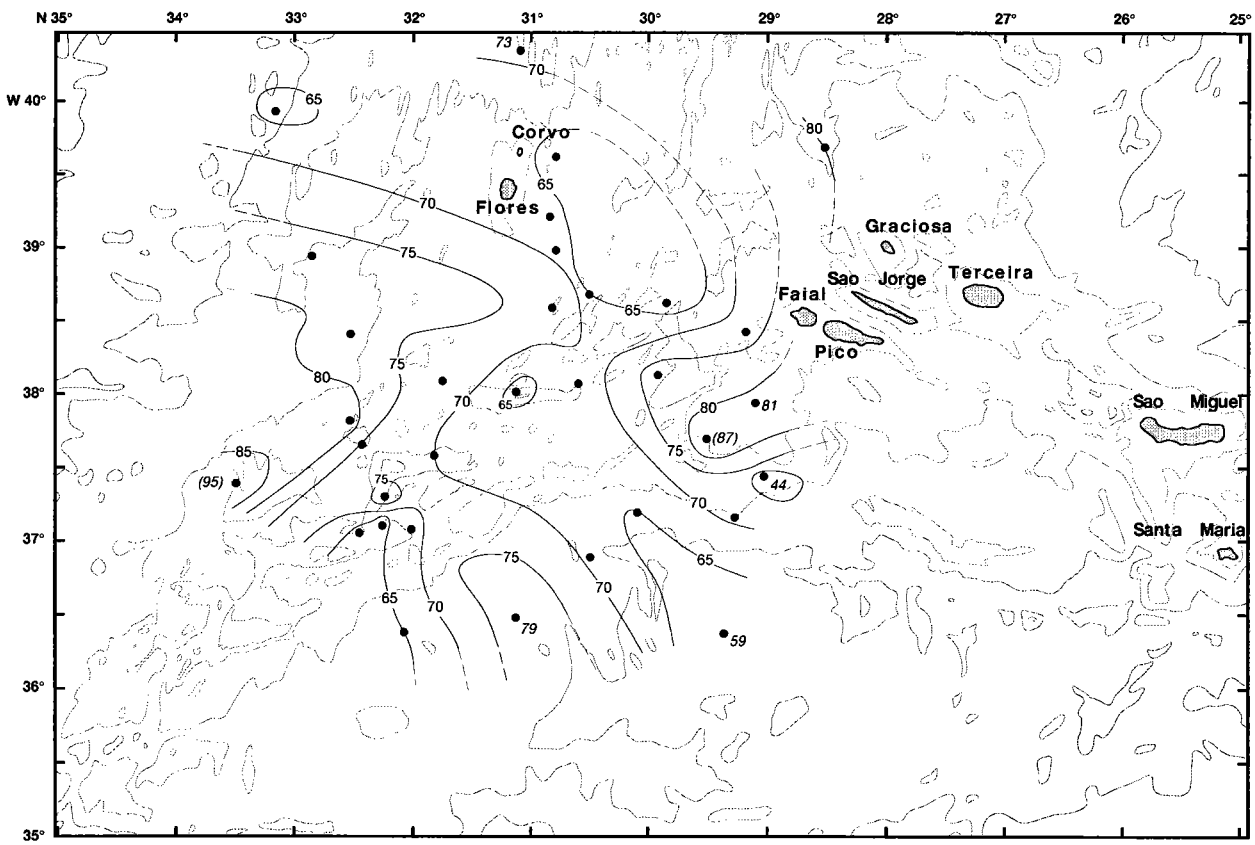


***Fig. II-10**: Teneurs en carbonate du sédiment au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores. Ces valeurs sont représentatives du Stade isotopique 2 (12-24 ka). Les valeurs entre parenthèses correspondent au sommet de la carotte soit parce que le taux de sédimentation est très faible soit parce que le LGM manque.*

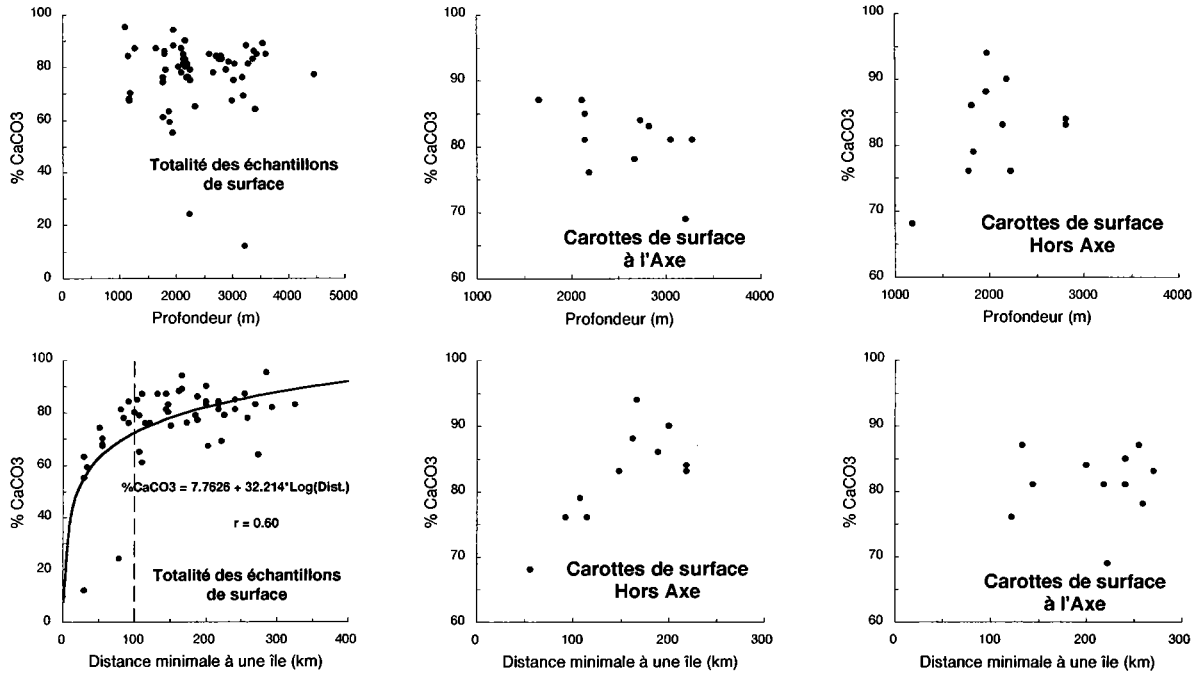


***Fig. II-11**: Variation de la teneur en carbonates des sédiments de surface en fonction de la profondeur. La totalité des échantillons de surface (carottes de surface et sommets de carottes Küllenberg) ne montre pas de variation suivant la profondeur. Par contre la distance aux îles détermine fortement la teneur en carbonates. L'influence des îles décroît de façon exponentielle, et devient négligeable au dela de 100 km. Si on représente séparément les échantillons situés à l'axe de la dorsale et ceux situés hors axe on constate qu'il y a une corrélation positive pour les sédiments hors axe, et une corrélation négative pour les sédiments à l'axe.*

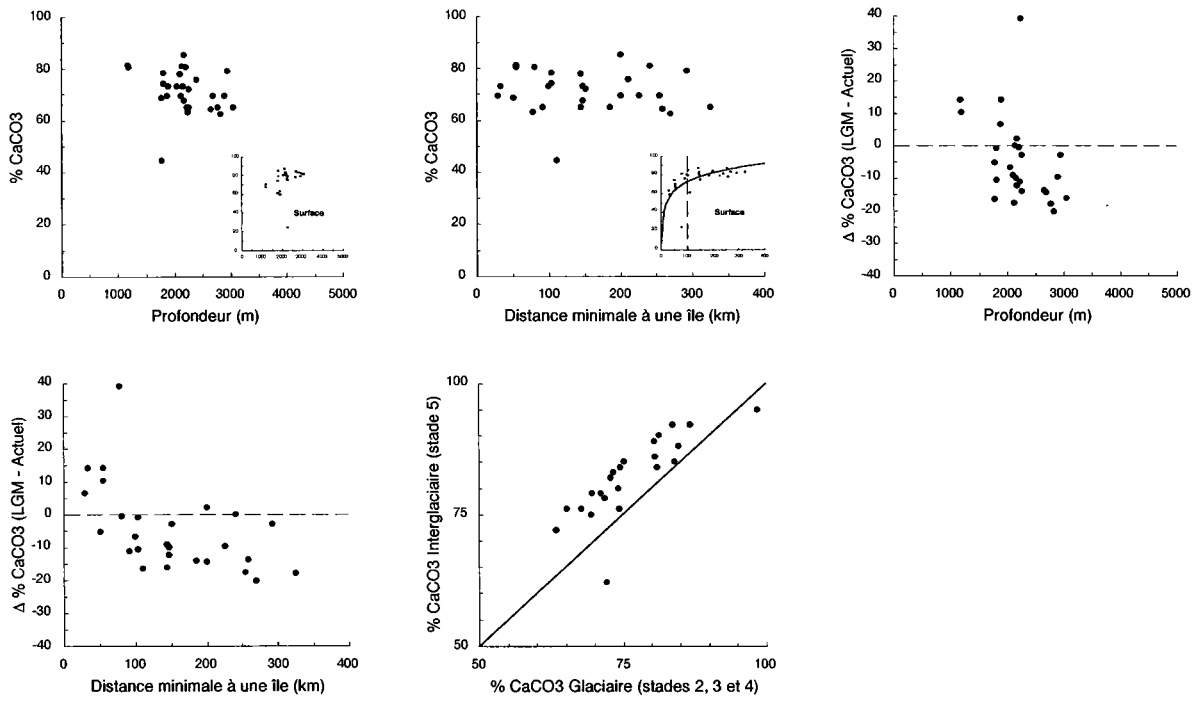


***Fig. II-12**: Variation de la teneur en carbonate durant le Dernier Maximum Glaciaire (LGM). La distance aux îles ne montre aucune influence (contrairement aux sédiments de surface correspondants). Par contre la profondeur d'eau semble exercer un contrôle, visible par une faible corrélation négative. Les petits graphes représentent la tendance à l'actuel avec les même points de carottage. La différence entre le LGM et l'actuel montre une plus forte teneur au LGM pour les sédiments à faible profondeur d'eau et une plus faible teneur pour les sédiments profonds. Cette tendance est également visible par rapport à la distance aux îles car il y a une bonne corrélation entre la profondeur et l'éloignement des îles. La baisse de teneur LGM des sédiments éloignés des îles et la hausse des sédiments proches annule la hausse exponentielle observée à l'actuel. Les sédiments Interglaciaires (stade 5) sont en moyenne plus riches que les sédiments Glaciaires (stades 2, 3 et 4).*

surface, c'est à dire étant réellement récents, on constate qu'à l'axe de la dorsale la teneur en carbonate diminue en fonction de la profondeur croissante (Fig. II-11). Par contre cette variation n'est absolument pas liée à la distance aux îles car tous les points sont situés à une distance supérieure à 100 km. Les prélèvements les plus profonds au niveau de la dorsale se situent dans les failles transformantes, les moins profonds se situent sur les bords ou à l'intérieur du rift (Fig. II-11). Il existe donc un phénomène qui tend à appauvrir le sédiment des failles transformante en carbonates, soit par dilution par du matériel non-carbonaté, soit par dissolution des carbonates.

Sédiment LGM (Fig. II-10)

Les échantillons du LGM sont moins nombreux que les échantillons de surface. Soit la présence de forts taux de sédimentation n'a pas toujours permis d'atteindre ce niveau, soit il n'y avait pas de carottage Küllenberg correspondant au prélèvement de surface, soit la teneur en carbonate de surface provient de la littérature ou de banques de données dont l'équivalent LGM n'est pas connu. Le nombre de point est néanmoins suffisant et leur répartition satisfaisante pour dégager les tendances sur plateau des Açores.

Les teneurs en carbonate du LGM sont plus basses qu'à l'Actuel en moyenne de 5% et s'accompagnent d'un schéma de variation relativement différent (Fig. II-10 et II-12). L'influence des îles est beaucoup moins marquée et n'apparaît pas si on regarde la teneur en fonction de la distance minimale à une île (Fig. II-12). En revanche les teneurs tendent à diminuer avec la profondeur d'eau, tandis que la tendance observée à l'Actuel avec les mêmes points de prélèvement montre plutôt un augmentation (Fig. II-12). Les failles transformantes, comme pour l'Actuel, tendent à contenir du sédiment plus pauvre en carbonates (<70%), à l'exception du voisinage de Flores et Faial. La différence entre le LGM et l'Actuel se traduit par une plus forte teneur au LGM pour le sédiment à faible profondeur (environ <2000 mètres) et par une plus faible teneur pour le sédiment profond (Fig. II-12). Comme la profondeur et l'éloignement des îles sont bien corrélés pour ces points, la hausse exponentielle observée avec l'éloignement des îles observée à l'Actuel tend à disparaître au LGM.

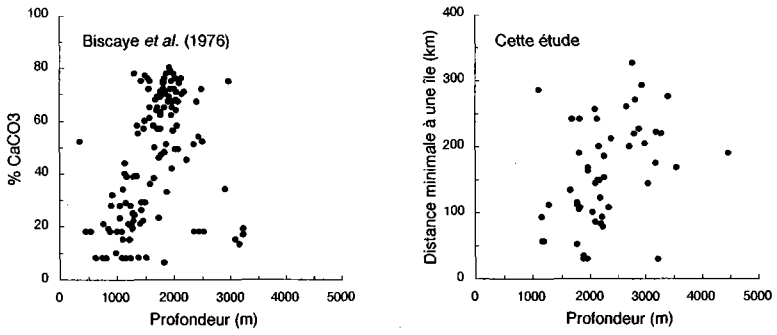


***Fig. II-13**: Variation de la teneur en carbonates des sédiments de surface dans la région des Açores (Biscaye et al., 1976). L'auteur ne précise pas la localisation exacte des points. La bonne corrélation entre la profondeur et la teneur en carbonates est interprétée comme de la dilution par du matériel non carbonaté dont la source est à faible profondeur d'eau, du matériel volcanique en provenance des îles. Cette tendance ne se retrouve pas pour nos échantillons mais peut être liée à la position des prélèvements.*

% CaCO3

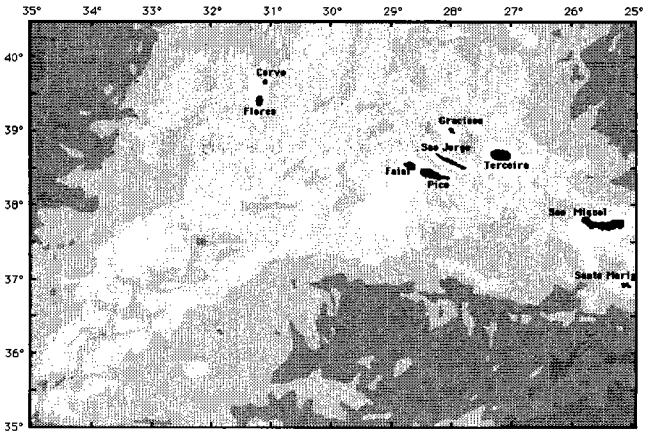
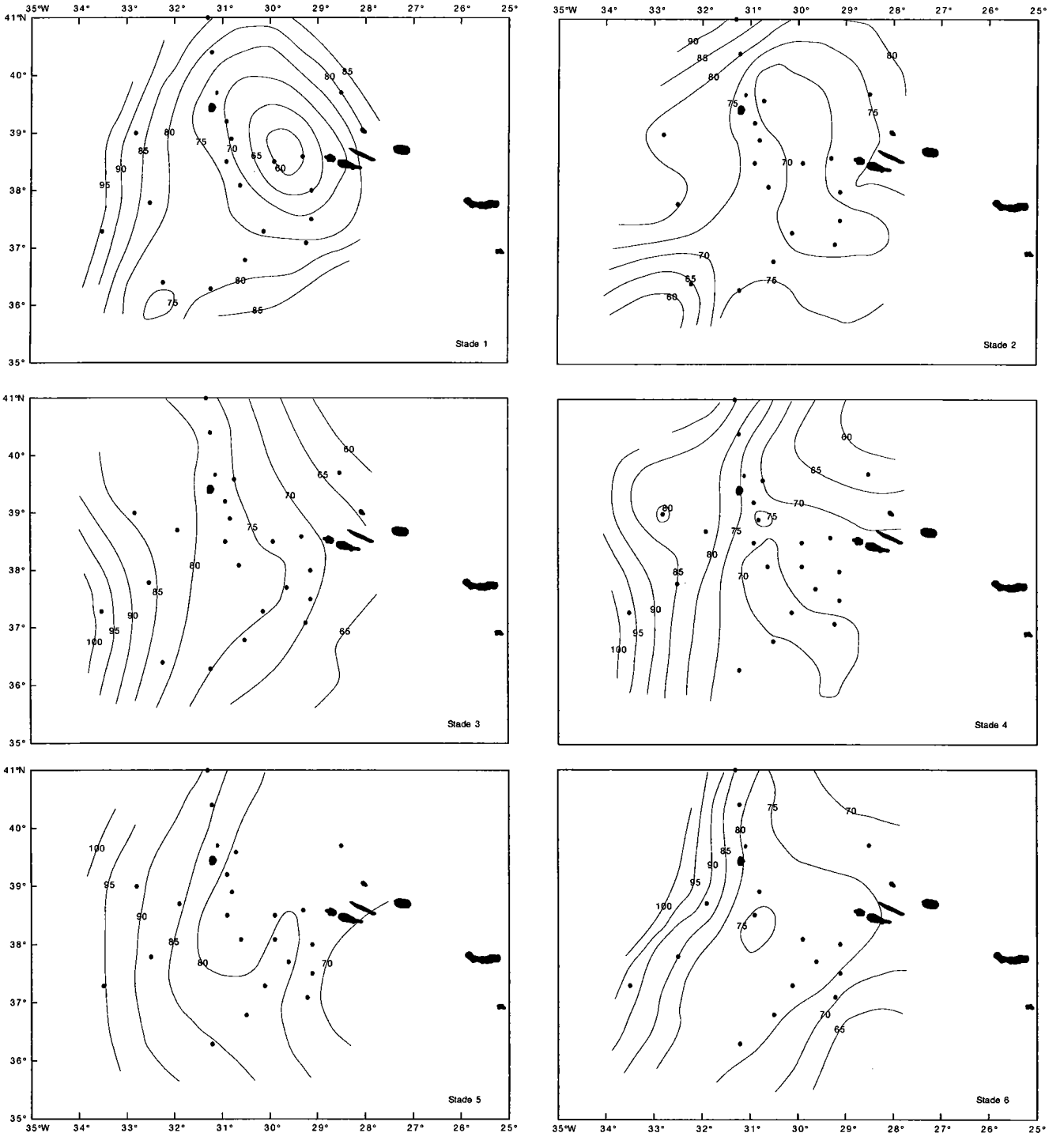


***Fig. II-14** : Teneur en carbonates du sédiment pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.*



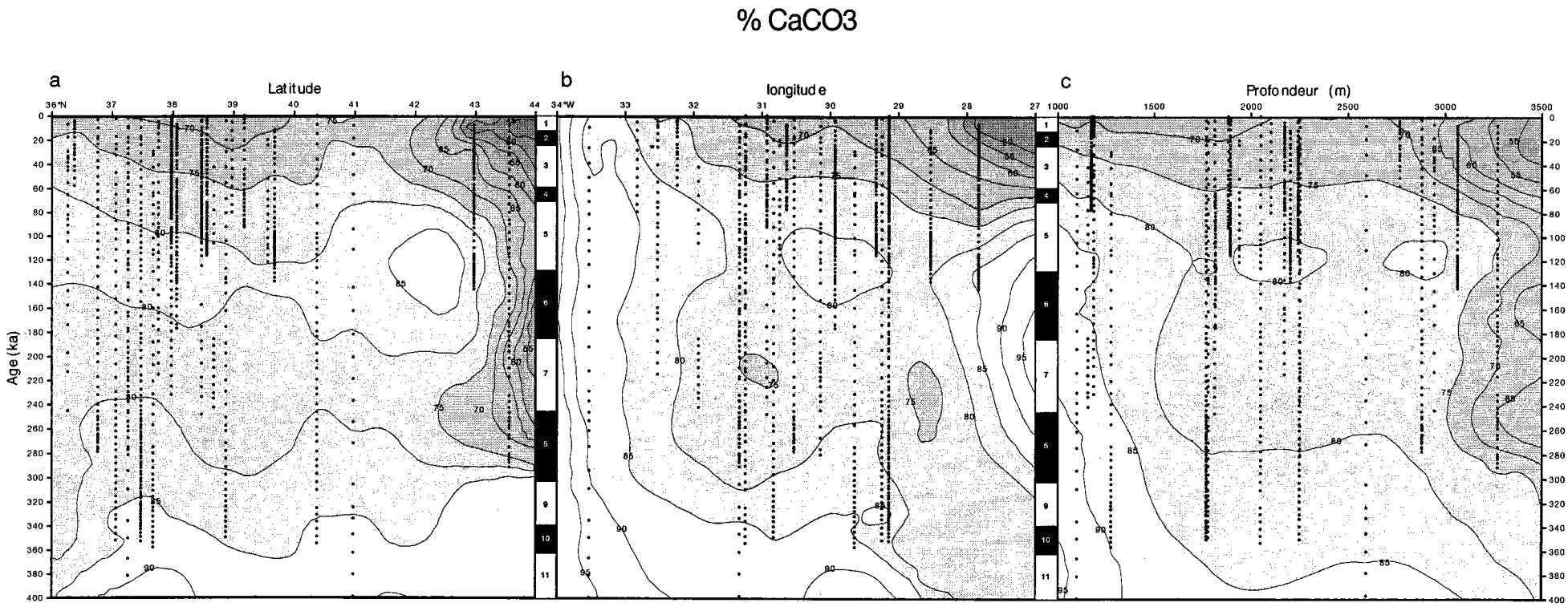


***Fig. II-15**: Variations de la teneur en carbonates durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, longitude et profondeur. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Les faibles teneurs observées au nord de 42°N reflètent la limite d'extension maximale des icebergs durant les divers maxima glaciaires. Au sud de 42°N les teneurs sont remarquablement homogènes en fonction de la Latitude, les variations observées sont uniquement temporelles. Elles se retrouvent également en fonction de la longitude et de la profondeur. Les stades glaciaires tendent à être plus riches en carbonates et les stades interglaciaires à être moins riches. Cette tendance est faiblement marquée car l'amplitude des variations est au maximum de 15%. La longitude et la profondeur semblent également exercer un contrôle car la carottes à l'ouest de 32°W et celles situées à des profondeurs inférieures à 1500 mètres sont plus riches en carbonates. Néanmoins toutes les carottes à l'ouest de 32°W sont situées à des profondeurs inférieures à 1500 m tandis que les carottes situées des profondeurs inférieures à 1500 mètres ne sont pas toutes situées à l'ouest de 32°W, il semble donc que la profondeur d'eau soit le seul facteur "géographique" exerçant un contrôle sur la teneur en carbonate.*

Les derniers 400 ka (Fig. II-14 et Fig. II-15)

La teneur en carbonate est constamment élevée durant les dernier 186 ka, elle n'est jamais inférieure à 60% (Fig. II-14). Les îles et la dorsale restent les zones les plus pauvres en carbonates, et l'est du plateau la partie la plus riche. Le stade 5 semble être l'époque ou la teneur en carbonates est la plus élevée mais les variations restent faibles d'un stade isotopique à l'autre. Les variations temporelles sont plus visibles sur les graphes "Temps-Paramètre géographique". Les variations en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur (Fig. II-15) montrent clairement une variabilité temporelle qui se traduit par un contraste maximum d'environ 15% entre le stade 5 (riche en carbonates, 85%) et les stades 2,3 et 4 (pauvres en carbonates, 70%). La comparaison directe des échantillons montre que durant le dernier cycle climatique les teneurs en carbonates tendent à êtres plus élevées durant l'Interglaciaire (stade 5) que durant le Glaciaire (stades 2, 3 et 4) d'en moyenne 6% (Fig. II-12). Ce contraste est similaire à la différence moyenne observée entre le LGM et l'Actuel (5%). Les stades isotopiques plus anciens montrent moins de variations, seuls les stades 9, 10 et 11 montrent une teneur similaire au stade 5. Sur le plan géographique on constate que 42°N constitue au LGM une limite entre les sédiments riches en carbonates (au sud) et les sédiments pauvres (au nord) (Fig. II-15a). Elle représente approximativement la limite d'extension du front polaire aux diverses périodes glaciaires, et également la limite d'extension des icebergs qui représentent à ces époques une source majeure d'apports détritiques non-carbonatés. Cette limite remonte vers 43-44°N à l'Actuel et au stade 5 et représente probablement la limite sud des apports en provenance de l'Islande via des courants de fond [Grousset, 1985]. La longitude et la profondeur d'eau semblent également exercer un contrôle car les sédiments à l'ouest de 32°W et ceux situés à une profondeur d'eau inférieure à 1500 mètres sont les plus riches en carbonates. Néanmoins toutes les carottes à l'ouest de 32°W sont situées à des profondeurs inférieures à 1500 mètres, tandis que les carottes situées à des profondeurs inférieures à 1500 mètres ne sont pas nécessairement situées à l'ouest de 32°W. Il semble donc que la profondeur d'eau soit le seul facteur "géographique" exerçant un contrôle sur la teneur en carbonate des sédiments du plateau des Açores. les sédiments les plus riches en carbonate correspondent à 4 carottes: 90-2-KS03, 91-KS01, 92-KS08 et GEOFAR-KF21.

2.1.2. Teneurs en silice biogène

La silice biogène est représentée par deux types de particules dans les sédiments du plateau des Açores: les spicules de spongiaires et les tests plancton siliceux (radiolaires et diatomées). Les spicules appartiennent à des organismes benthiques filtreurs, tandis que le plancton siliceux est pélagique. Les teneurs ont été déterminées par estimation visuelle sur frottis de la phase résiduelle, sur la fraction > 6.3 µm. Les estimations ont été faites pour le

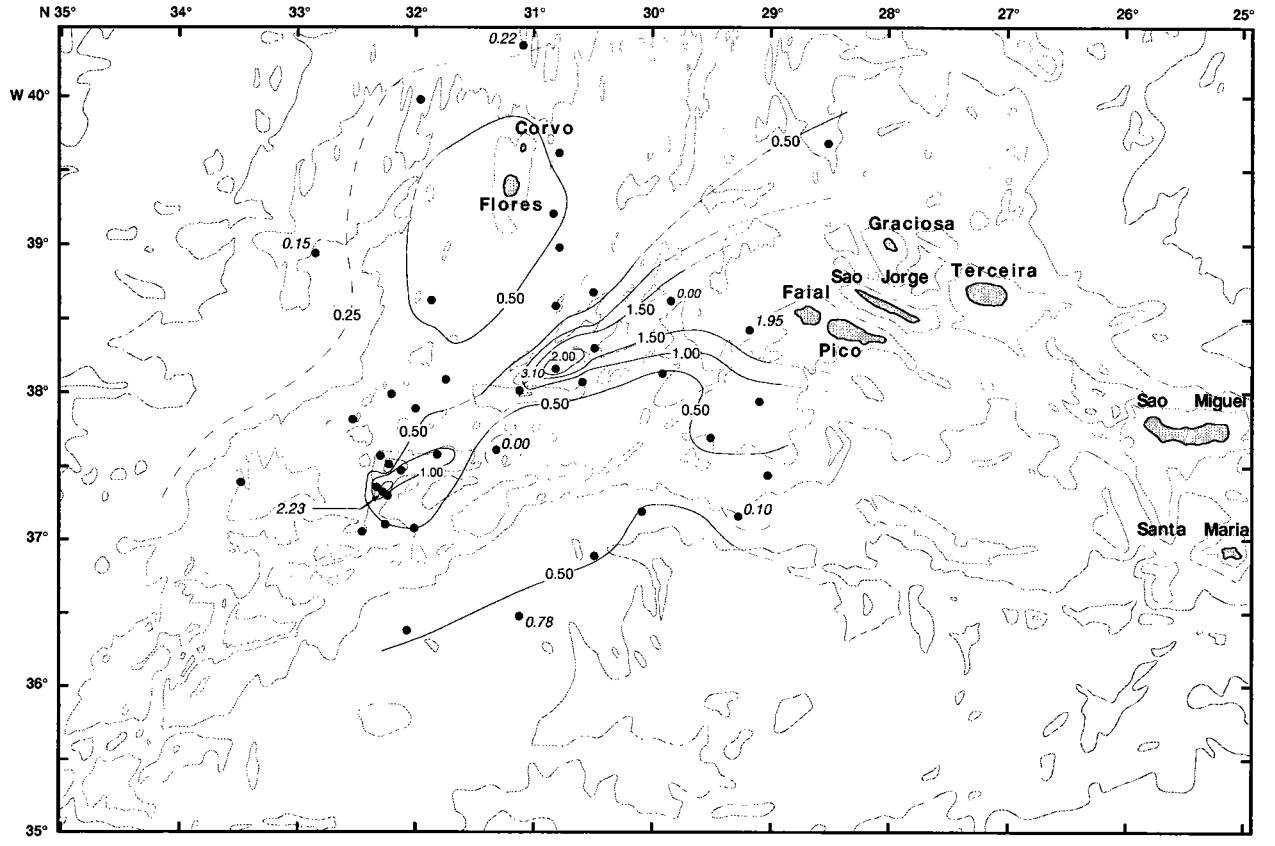


***Fig. II-16**: Teneurs en plancton siliceux du sédiment de surface sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. Le plancton siliceux est composé en quasi-totalité de tests de radiolaires. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

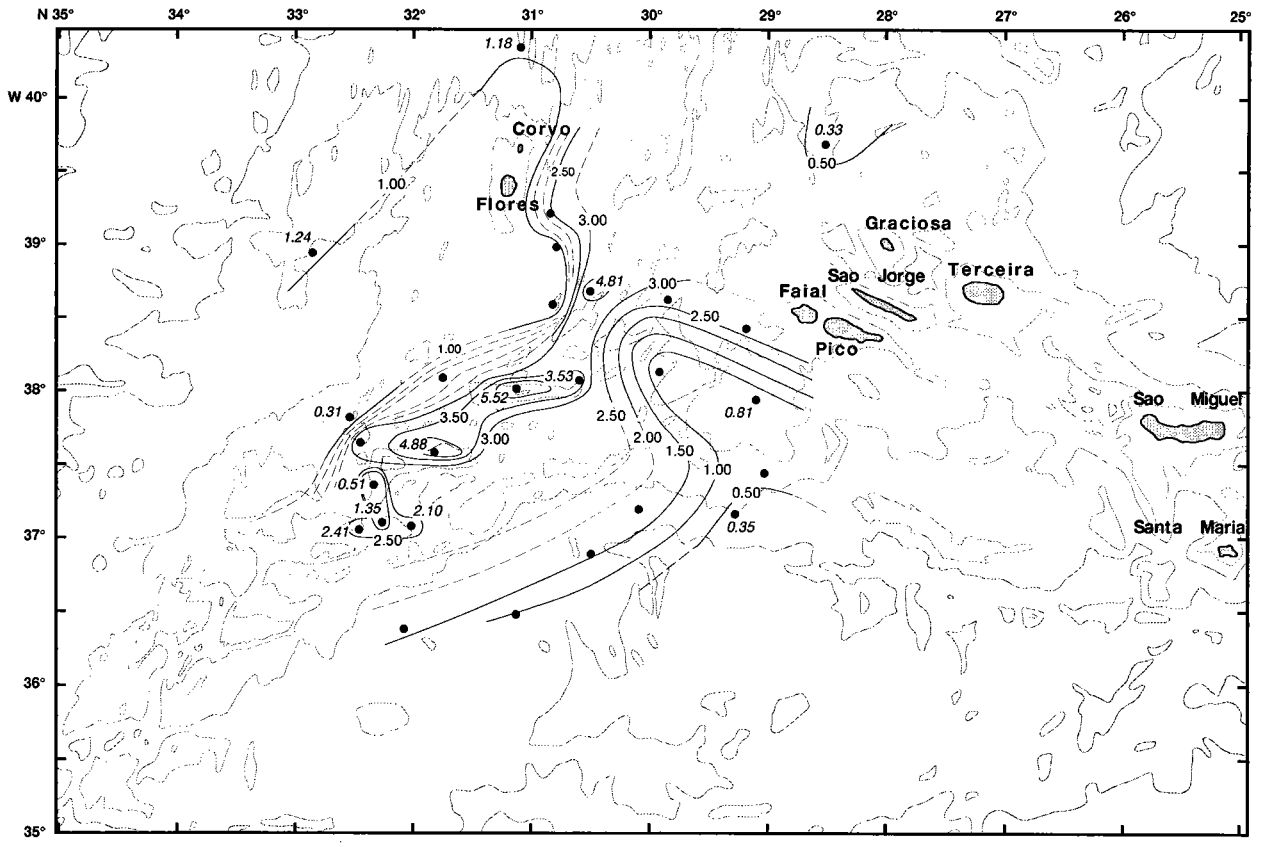


***Fig. II-17**: Teneurs en plancton siliceux du sédiment au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. Le plancton siliceux est composé de radiolaires (jusqu'à 100%) et de diatomées (jusqu'à 50%). Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka).*

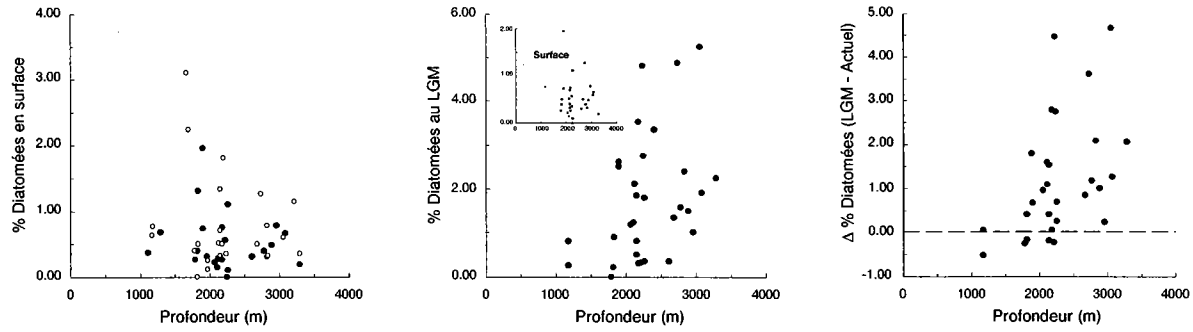


***Fig. II-18**: Variation de la teneur en plancton siliceux des sédiments de surface en fonction de la profondeur. Les points blancs représentent les échantillons issus des carottiers de surface. Il ne se dégage pas de tendance à l'actuel, mais au LGM la teneur est corrélée à la profondeur. La tendance est largement à la hausse durant le LGM et l'augmentation est plus importante pour les sédiments profonds qui correspondent aux zones de fracture.*

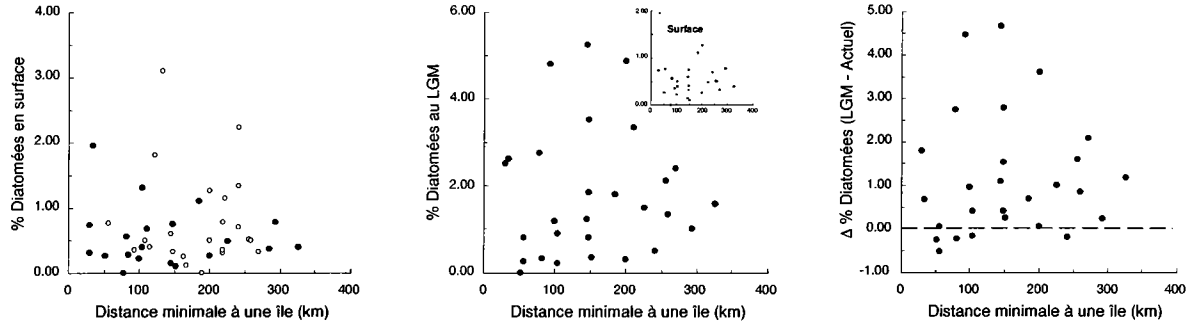


***Fig. II-19**: Variation de la teneur en plancton siliceux des sédiments en fonction de la profondeur. On n'observe aucune relation ni actuellement ni au LGM. La tendance à la hausse au LGM n'est pas contrôlée par la distance aux îles.*

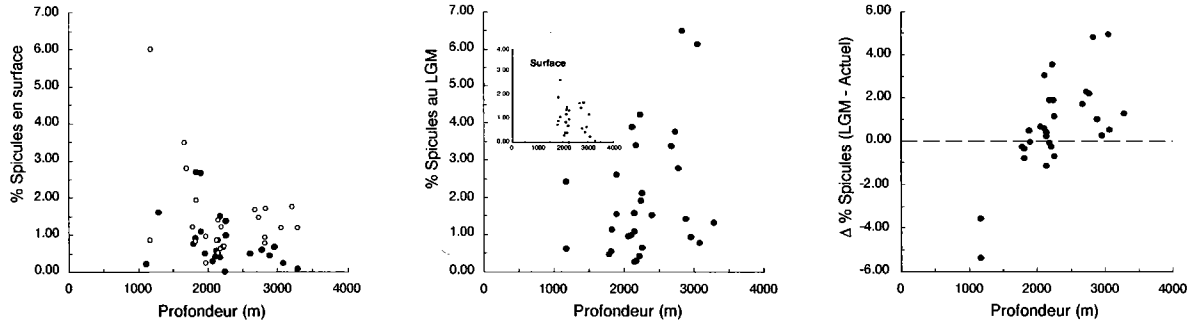


***Fig. II-20**: Variation de la teneur en spicules de spongiaires des sédiments de surface en fonction de la profondeur. Les points blancs représentent les échantillons issus des carottiers de surface. Il ne se dégage pas de tendance à l'actuel, mais au LGM la teneur est corrélée à la profondeur. La tendance est largement à la hausse durant le LGM et l'augmentation est plus importante pour les sédiments profonds qui correspondent aux zones de fracture.*

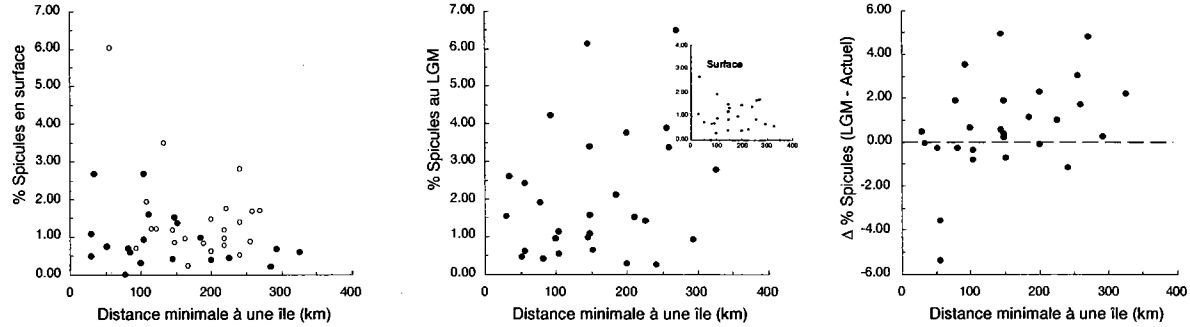


***Fig. II-21**: Variation de la teneur en spicules de spongiaires des sédiments en fonction de la profondeur. On n'observe aucune relation ni actuellement ni au LGM. La tendance à la hausse au LGM n'est pas contrôlée par la distance aux îles.*

sédiment de surface et pour le sédiment du LGM. La silice biogène a été identifiée sur la morphologie des organismes et leur caractère isotrope.

2.1.2.1 Teneurs plancton siliceux

Sédiment de surface (Fig. II-16)

Le plancton siliceux consiste pratiquement exclusivement en tests de radiolaires. Les teneurs varient entre 0% et 3.1% avec une moyenne de 0.7% et un écart-type à 0.6%. Les plus fortes teneurs se situent à proximités des îles, des volcans sous-marins à l'axe de la dorsale (Menez Gwen et Lucky Strike) et dans les zones de fractures. Le contraste entre ces zones et le reste du plateau est net car on atteint des valeurs de 2% près de Faial, 3% à proximité de Menez Gwen et 2.2% sur Lucky Strike, tandis que les teneurs en dehors de ces contextes sont comprises entre 0% et 0.5%. Cette tendance ne ressort cependant pas sur les graphes en fonction de la profondeur ou de la distance aux îles (Fig. II-18 et II-19) car les zones riches se situent à des profondeurs et des distances aux îles variables.

Sédiment LGM (Fig. II-17)

Le plancton siliceux consiste entre 50 et 100% de radiolaires et 0 et 50% de diatomées. Le schéma de distribution des teneurs est similaire à celui des sédiments de surface, mais les valeurs sont plus élevées, elles varient entre 0% et 5% avec une moyenne de 1.8% et un écart-type de 1.4%. Les contrastes sont plus marqués entres les zones de fractures à fortes teneurs et la région hors axe à faible teneur (Fig. II-19). La teneur reste forte à proximité des îles (Faial: carotte 92-KS10, et Flores: carotte 92-KS05.), mais cette tendance n'est réellement marquée que par ces deux carottes et n'apparaît pas sur le graphe teneur-distance aux îles (Fig. II-19). La teneur est plus élevée qu'à l'Actuel d'en moyenne 1.2% mais les écarts sont variables (l'écart-type des variations est de 1.4%). Ceci se traduit par une augmentation (entre 2.7% et 3.7%) dans les zones de fractures, c'est à dire dans les zones les plus profondes (Fig. II-18). La distance aux îles ne contrôle pas les variations observées (Fig. II-19). La seule valeur disponible à proximité du volcan Lucky Strike (GEOFAR-KS06) est inférieure à la valeur de surface (0.5% contre 0.7%) et ne permet pas de tirer de réelles conclusions sur les variations entre l'Actuel et le LGM au niveau des monts sous-marins.

2.1.2.2. Teneurs en spicules

Sédiment de surface (Fig. II-22)

Les teneurs varient entre 0% et 6% avec une moyenne de 1.1% et un écart-type de 1%. Le schéma de distribution des teneurs est similaire à celui observé pour le plancton siliceux: les

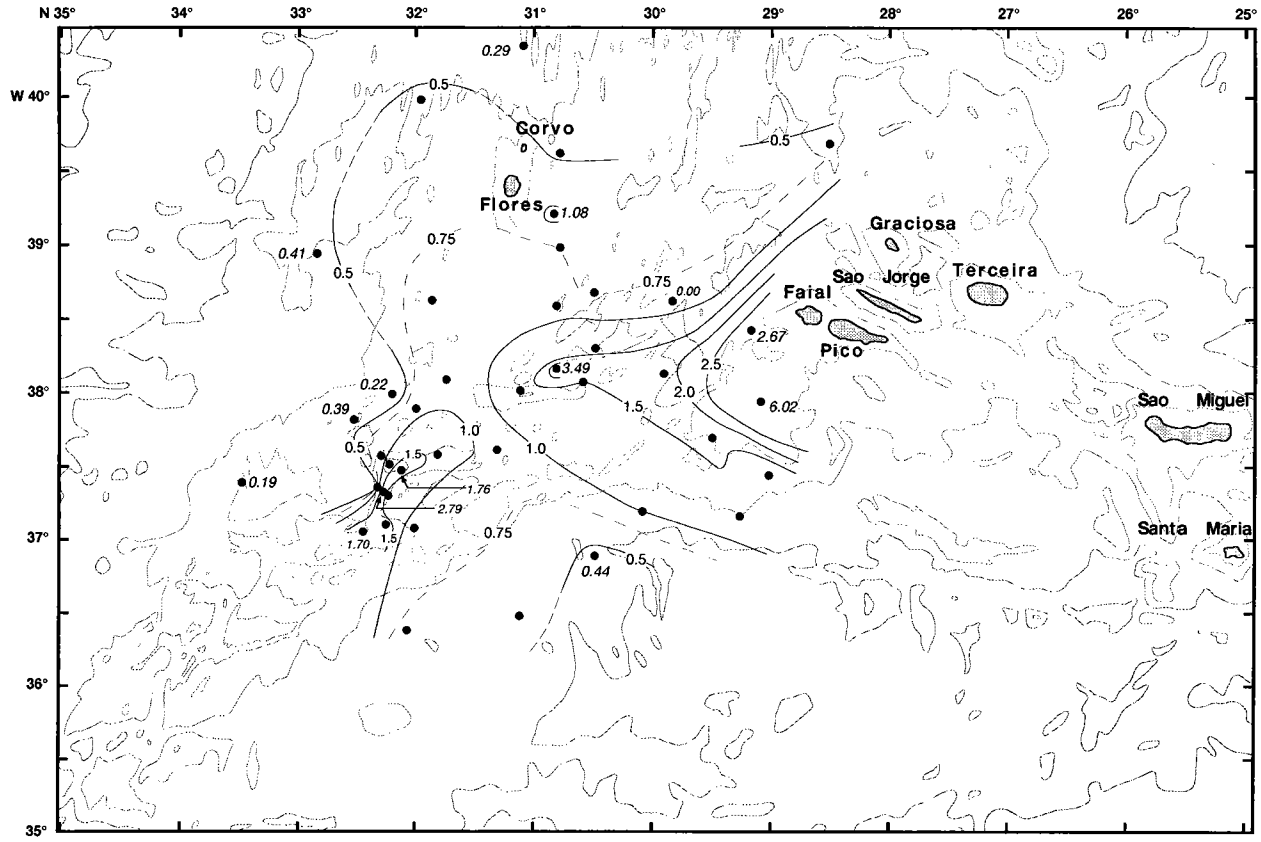


***Fig. II-22**: Teneurs en spicule de spongiaire des sédiments de surface sur le plateau des Açores, déterminé d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en spicules pour l'Holocène (0-10 ka) et du Stade isotopique 1 (0-12 ka).*

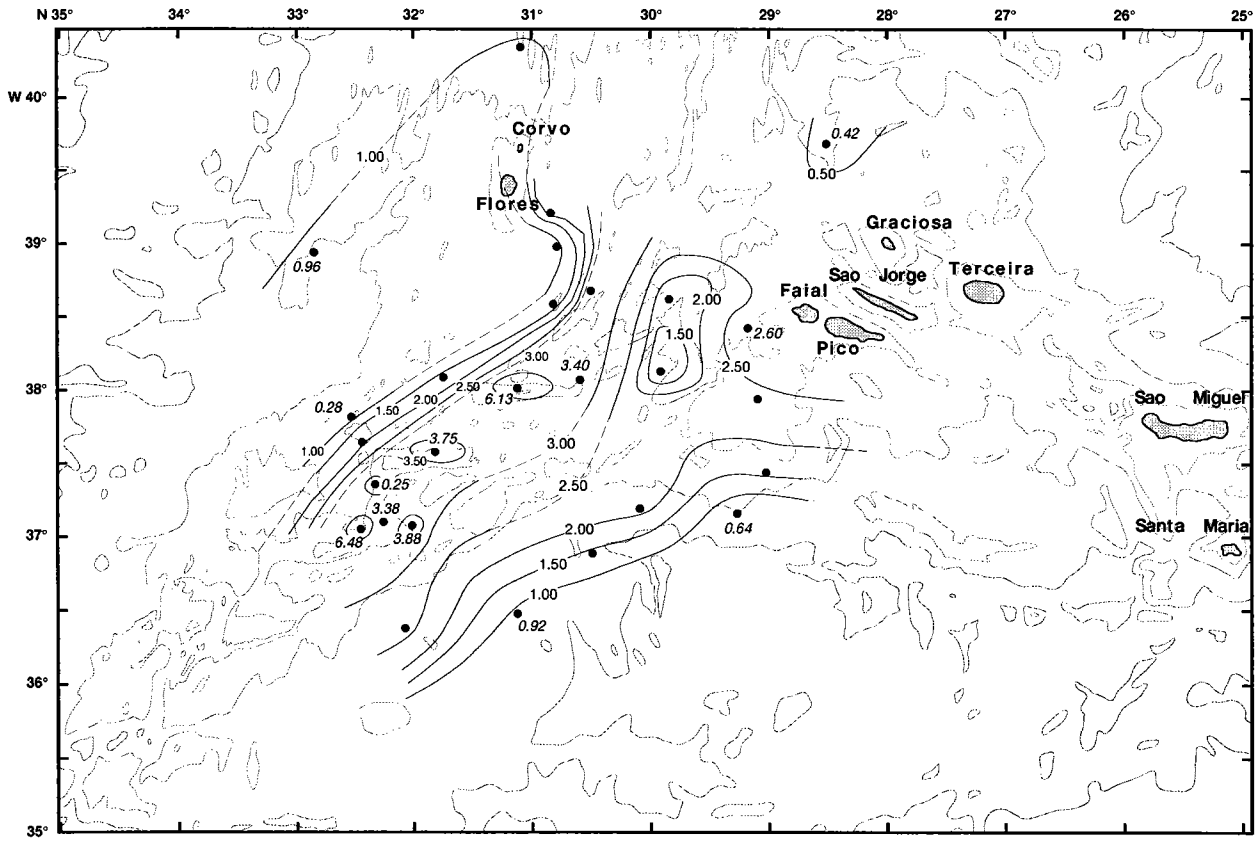


***Fig. II-23**: Teneurs en spicule de spongiaire des sédiments au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores, déterminée d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka).*

plus fortes teneurs se situent à proximité des îles et au niveau des monts sous-marins. La plus forte valeur se situe au niveau à la carotte GEOFAR-KG24, sur une ride sédimentaire au sud de Faial. Elle se détache du reste du plateau des Açores autres car les deux plus fortes teneurs suivantes sont de 3.5% et 2.8%, elles se situent respectivement au sud de Menez Gwen et sur Lucky Strike. Ces tendances n'apparaissent pas non plus sur les graphes en fonction de la profondeur et de la distance aux îles pour les mêmes raison (Fig. II-20 et II-21). La carte (Fig. II-22) montre une bonne continuité entre la zone à proximité de Faial et celle de Menez Gwen. Il est en fait possible de déterminer une vaste région comprenant les abord de Faial-Pico, et les segments de dorsale Menez Gwen et Lucky Strike où les teneurs en spicules sont supérieures à 1%. Le contraste des teneurs entre cette région et le reste du plateau sont moins marqués que pour le plancton siliceux.

Sédiment LGM (Fig. II-23)

Les teneurs sont en moyennes plus élevées qu'en surface: 1.9% avec un maximum à 6.5%, un minimum à 0.3% et un écart-type à 1.6%. Les plus fortes teneurs se situent aux mêmes endroits qu'en surface mais le contraste est plus fort avec le reste du plateau. Le maximum se situe néanmoins cette fois dans les zones de fracture à 37°N et 38°N. Ceci se traduit par une plus grande richesse des sédiments les plus profonds (Fig. II-20). Par contre il n'y pas de relation avec la distance aux îles (Fig. II-21). Les variations entre le LGM et la surface se traduisent par une plus forte augmentation des teneurs pour ces sédiments profonds (jusqu'à 5%) et une quasi stabilité des teneurs hors axe (Fig. II-20). On enregistre même une forte baisse à proximité de Faial (GEOFAR-KF21 et KS15: -3.6% et -5.4%). Les variations de teneur ne sont par contre pas liées à la distance aux îles (Fig. II-21). Les variations sur les volcans sous-marins sont inconnues par manque de données, seule la carotte GEOFAR-KS06, près du Lucky Strike est connue et montre une baisse de teneur (-1.1%).

2.2. Composante volcanique

La Plateau des Açores de part la présence d'un archipel volcanique et de la dorsale médio-atlantique est un lieu privilégié pour la contribution du matériel volcanique dans la composition du sédiment. Celle-ci peut être déterminée en estimant la proportions de certains éléments lithiques ne pouvant provenir que des îles ou de la dorsale. Ces éléments sont les feldspaths et le verre. Si l'origine du verre est indiscutable, celle des feldspaths peut être continentale, mais notre estimation étant effectuée à partir de frottis sur la fraction supérieure à 6.3 µm, il raisonnable, compte tenu des conditions géographiques, de considérer les apports continentaux comme négligeables. Une estimation de l'abondance des feldspaths dans la phase >63 µm, et de la composition argileuse dans la fraction <2 µm a également été faite à partir de la diffraction X [Grousset *et al.*, 1994]. Dans les frottis le feldspath a été déterminé sur sa transparence en lumière naturelle, sa couleur grise avec extinction en polariseurs croisés, et

éventuellement la présence de macles. Le verre volcanique a été identifié sur sa transparence, sa morphologie, sont caractère isotrope, l'absence de relief et sa couleur brune (éventuellement) en lumière naturelle.

2.2.1. Teneurs en feldspath

Sédiment de surface (Fig. II-24)

Les feldspaths consistent exclusivement en plagioclases [Grousset *et al.*, 1994], ce qui confirme leur origine volcanique. Les teneurs déterminées par diffraction X sont sensiblement inférieures à celles déterminées sur les frottis. Cependant la précision de la mesure par diffraction X n'excédant pas 15% les valeurs obtenues ne sont utiles que pour distinguer les zones riches des zones pauvres. Dans cette limite les résultats obtenus par les deux méthodes sont sensiblement les mêmes.

Sur les frottis les teneurs sont comprises entre 0% et 17.6% avec une moyenne de 4.8% et un écart-type de 3.5%. Elles montrent une assez grande variabilité, mais on remarque que les plus fortes teneurs se situent à proximité des îles (Fig. II-27) et dans les zones de fractures. On distingue une décroissance du nord-ouest vers le sud-est en partant des îles. La teneur évolue de 13% à 1% sur une distance d'environ 350 km, soit un gradient de -3.4%/100 km. A cette tendance se surimpose une signature liée à la dorsale qui semble déconnectée du gradient régional. Au niveau de Menez Gwen et dans la zone de fracture de 38°N (GEOFAR-KG14) les teneurs sont inférieures aux teneurs hors axe, tandis que au niveau de Lucky Strike elles sont supérieures aux teneurs hors axe. Les teneurs dans les zones de fracture sont très variables, dans la zone de fracture de 37°30N elles passent de 3.4% (GEOFAR-KG07) à 8.8% (GEOFAR-KG10) sur une distance de seulement 18 km. Il ne se dégage pas de tendance par rapport à la profondeur (Fig. II-26).

Sédiment LGM (Fig. II-25)

Les teneurs sont comprises entre 0% et 13.3% avec une moyenne de 5.7% et un écart-type de 3.3%. Elles varient beaucoup, le schéma de distribution des teneurs est complexe. Le gradient observé à l'Actuel n'est pas visible. La tendance grande profondeur-forte teneur observée pour les autres composants est ici nettement moins marquées (Fig. II-26). La distance aux îles ne détermine pas la variation des teneurs (Fig. II-27). Le point le plus riche correspond à la carotte 90-1-KS01 située à un peu plus de 43°N, soit à l'intérieur de la zone de délestage d'icebergs. Les teneurs sont largement supérieures à celles de l'Actuel (jusqu'à +13%), mais là non plus ni la profondeur ni la distance aux îles ne semble contrôler les variations (Fig. II-26 et II-27).

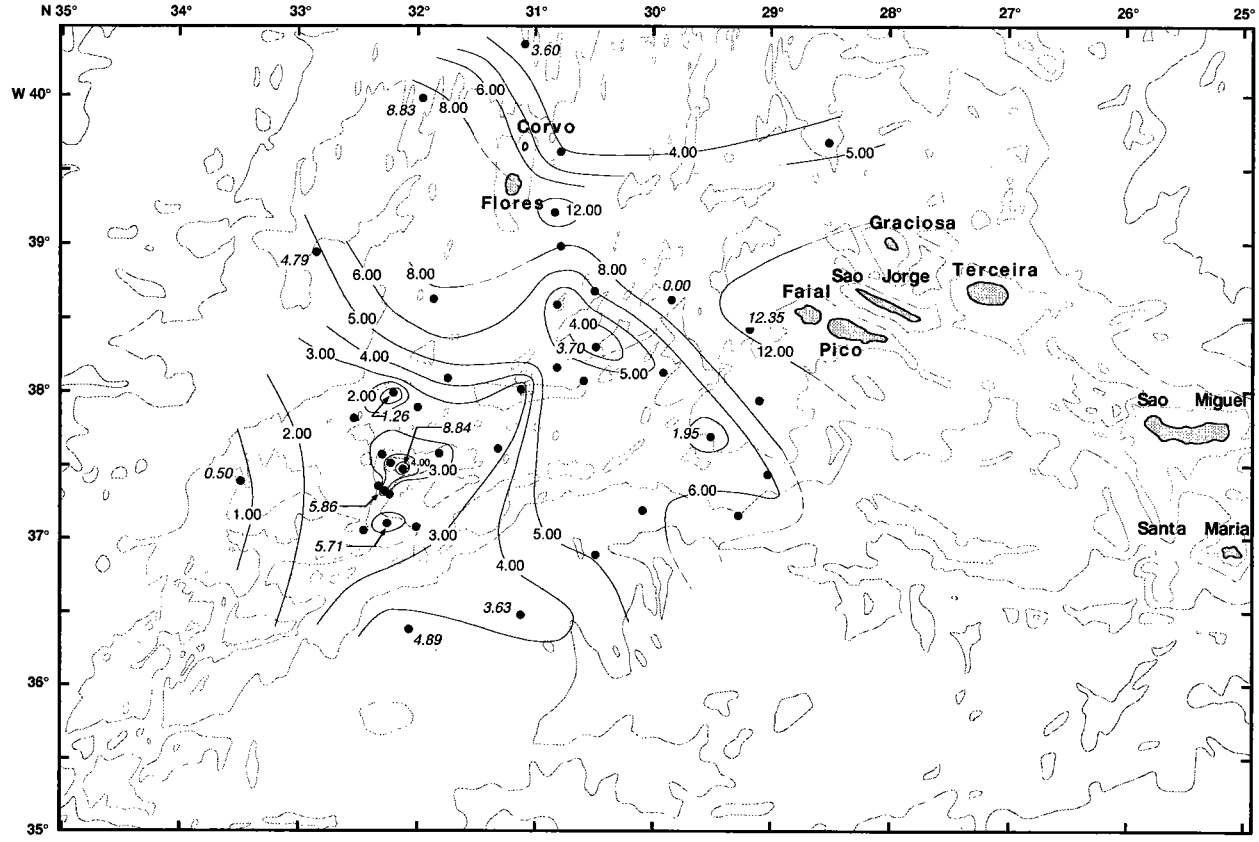


***Fig. II-24**: Teneurs en feldspath des sédiments de surface sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en feldspath pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

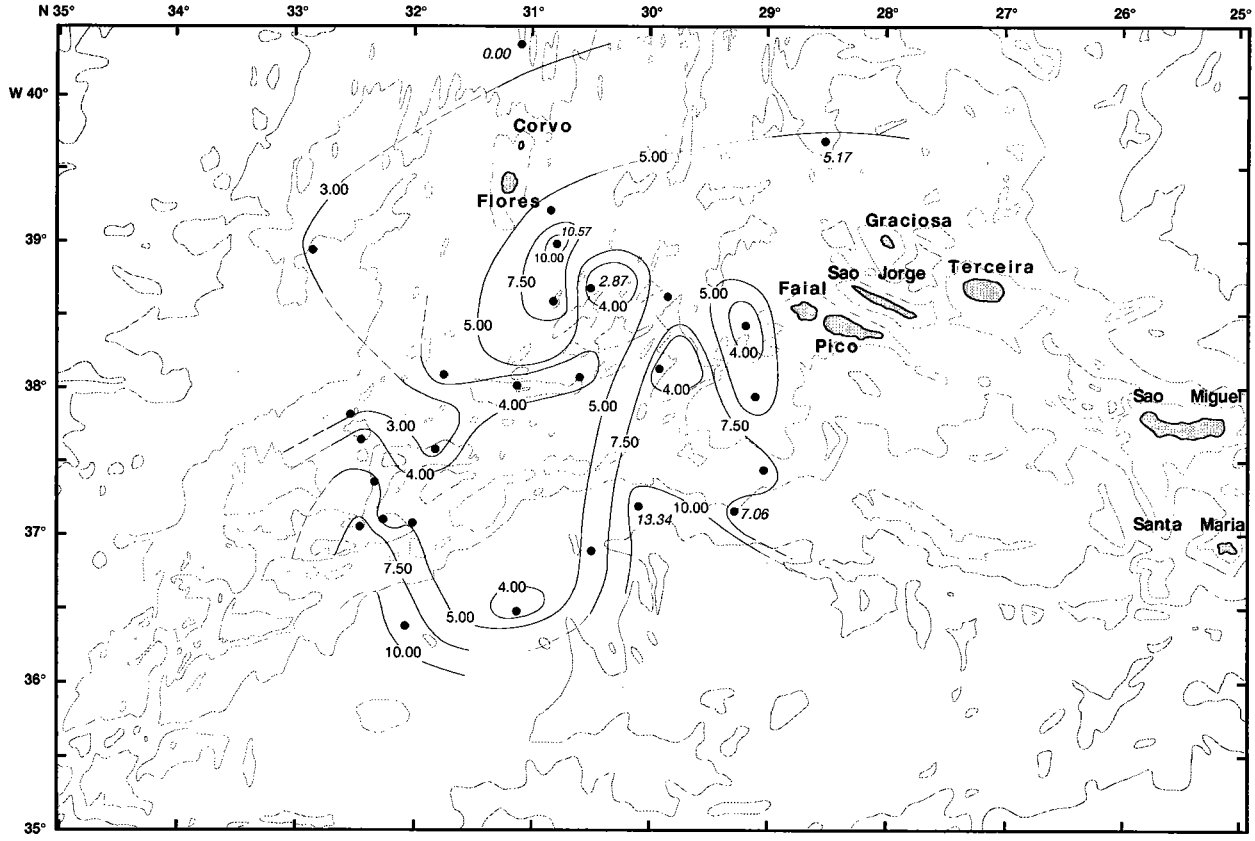


***Fig. II-25**: Teneurs en feldspath des sédiments au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonate. Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka).*

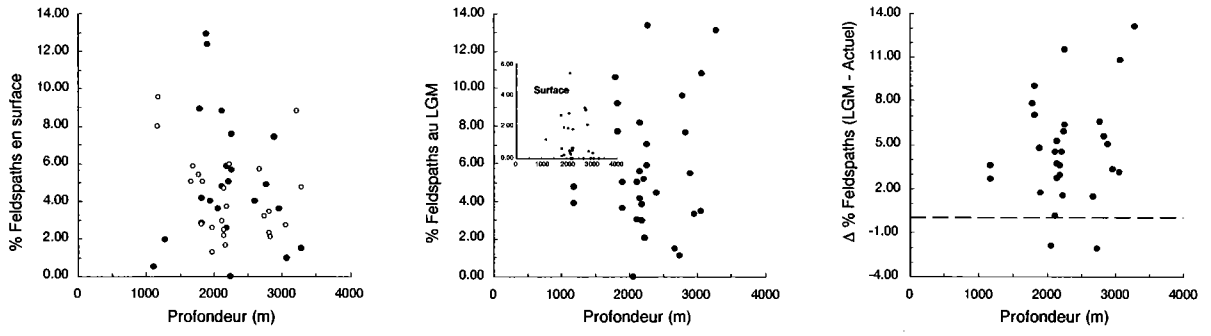


***Fig. II-26**: Variation de la teneur en feldspaths en surface et au LGM en fonction de la profondeur. Les points blancs représentent les échantillons issus des carottiers de surface. Il ne se dégage pas de réelle tendance, même si au LGM les sédiments profonds des zones de fractures tendent à montrer de fortes teneurs. Les sédiments LGM ont des teneurs plus élevées. La différence avec l'actuel tend à être plus grande pour les sédiments profonds.*

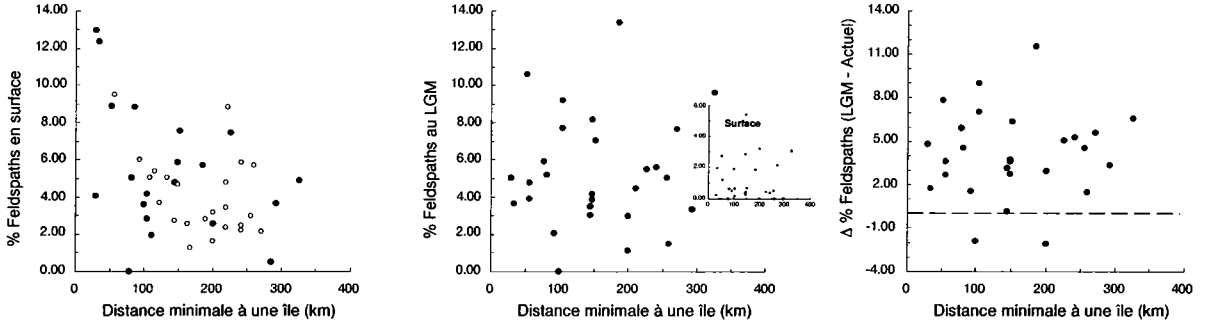


***Fig. II-27**: Variation de la teneur en feldspaths en surface et au LGM en fonction de la distance aux îles. Les sédiments proches des îles tendent à être plus riche en feldspaths, tant à l'actuel qu'au LGM. Par contre la distance aux îles ne conditionne pas les variations entre les deux époques.*

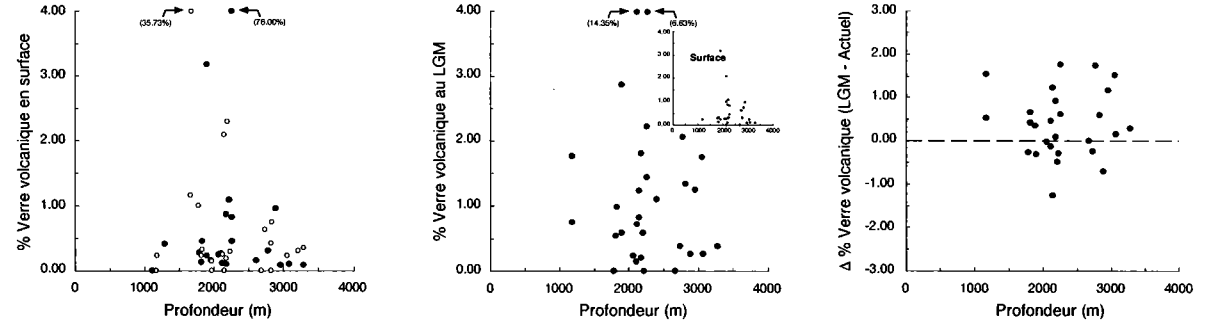


***Fig. II-28**: Variation de la teneur en verre volcanique des sédiments actuels et LGM en fonction de la profondeur. Les points blancs représentent les échantillons issus des carottiers de surface. Il ne se dégage pas de tendance. Les variations entre les deux époques ne sont pas conditionnées par la profondeur. La carte montre les maxima près des îles et sur la dorsale, or ces deux contextes sont situés à des profondeurs différentes.*

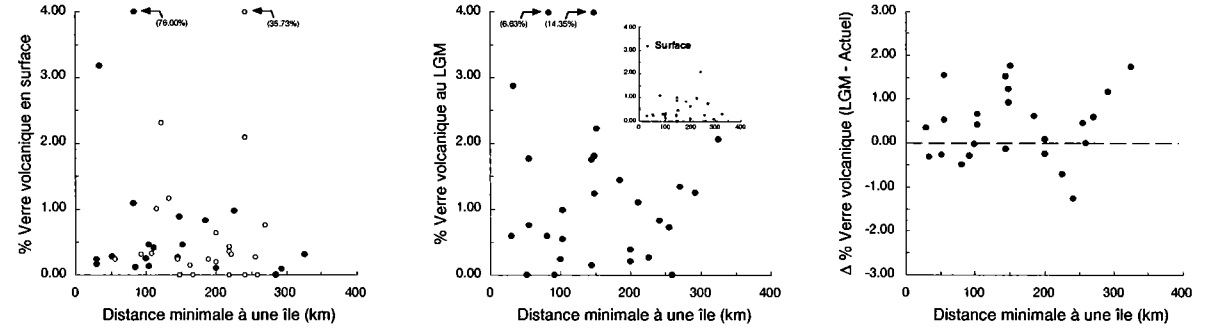


***Fig. II-29**: Variation de la teneur en verre volcanique des sédiments actuels et LGM en fonction de la distance aux îles. Comme pour la profondeur il ne se dégage pas de tendance, même observation pour les variations entre les deux époques. La carte montre les maxima près des îles et sur la dorsale, or ces deux contextes sont situés à des profondeurs différentes.*

2.2.2. Teneurs en verre volcanique

Sédiment de surface (Fig. II-30)

Les teneurs sont comprises entre 0% et 76% avec une moyenne à 2.8% et un écart-type à 12%. Les fortes teneurs se situent près de Faial, et des volcans sous-marins Menez Gwen et Lucky Strike. 67% des teneurs sont inférieures à 0.5% et 15% sont nulles. La valeur maximum correspond à la carotte 91-KS06 où le sédiment consiste en verre volcanique sableux, de couleur brune, transparent et d'aspect très frais. Les faibles valeurs sont hors axe et dans les zones de fractures. Sur la carte on distingue une zone orientée E-W de Faial à Menez Gwen montrant les plus fortes teneurs. Cette zone n'est néanmoins définie que par 3 points (92-KS10, 91-KS06 et GEOFAR-KG23). L'archipel Flores-Corvo est entouré de faibles teneurs (<0.50%). La profondeur et la distance aux îles n'exerce pas de contrôle sur la teneur (Fig. II-28 et II-29)

Sédiment LGM (Fig. II-31)

Les teneurs sont comprises entre 0% et 14.4% avec une moyenne de 1.5% et un écart-type de 2.7%. Le schéma de distribution des teneurs n'est pas fondamentalement différent de celui de la surface. Les maximum se situent toujours sur l'axe Faial-Menez Gwen. Cependant on trouve de fortes teneurs dans la zone de fracture à 38°N. La profondeur et la distance aux îles n'exercent également aucun contrôle sur les teneurs (Fig. II-28 et II-29). Les teneurs sont généralement plus élevées qu'en surface mais une décroissance est enregistrées près de Faial (bien que les teneurs restent parmi les plus élevées). Deux hausses importantes sont enregistrées hors axe (GEOFAR-KS16 et 92-KS02). Les différences LGM-Surface ne sont également pas contrôlées ni par la profondeur ni la distance aux îles (Fig. II-28 et II-29).

2.3. Composition de la fraction argileuse des sédiments de surface

Les teneurs en argiles (smectites, illites, kaolinites et chlorites) ont été déterminées par diffraction X sur la fraction décarbonatées <2µm [Grousset *et al.*, 1994]. La smectite peut trouver son origine dans l'altération des basaltes et a déjà permis de mettre en évidence les apports détritiques "basiques" en provenance de l'Islande dans l'Atlantique nord [Grousset & Chesselet, 1986], elle peut donc être utilisée comme traceur de la source "volcanique". Les chlorites et les illites sont par contre caractéristiques des apports détritiques "acides" en provenance des continents [Grousset & Chesselet, 1986].

Les smectites représentent entre 21% et 64% avec une moyenne de 44% et un écart-type de 13%. Ces valeurs sont relativement élevées (environ 10%), et supérieures aux valeurs enregistrées un peu plus au nord par [Grousset, 1985]. Ces valeurs élevées déjà notées par

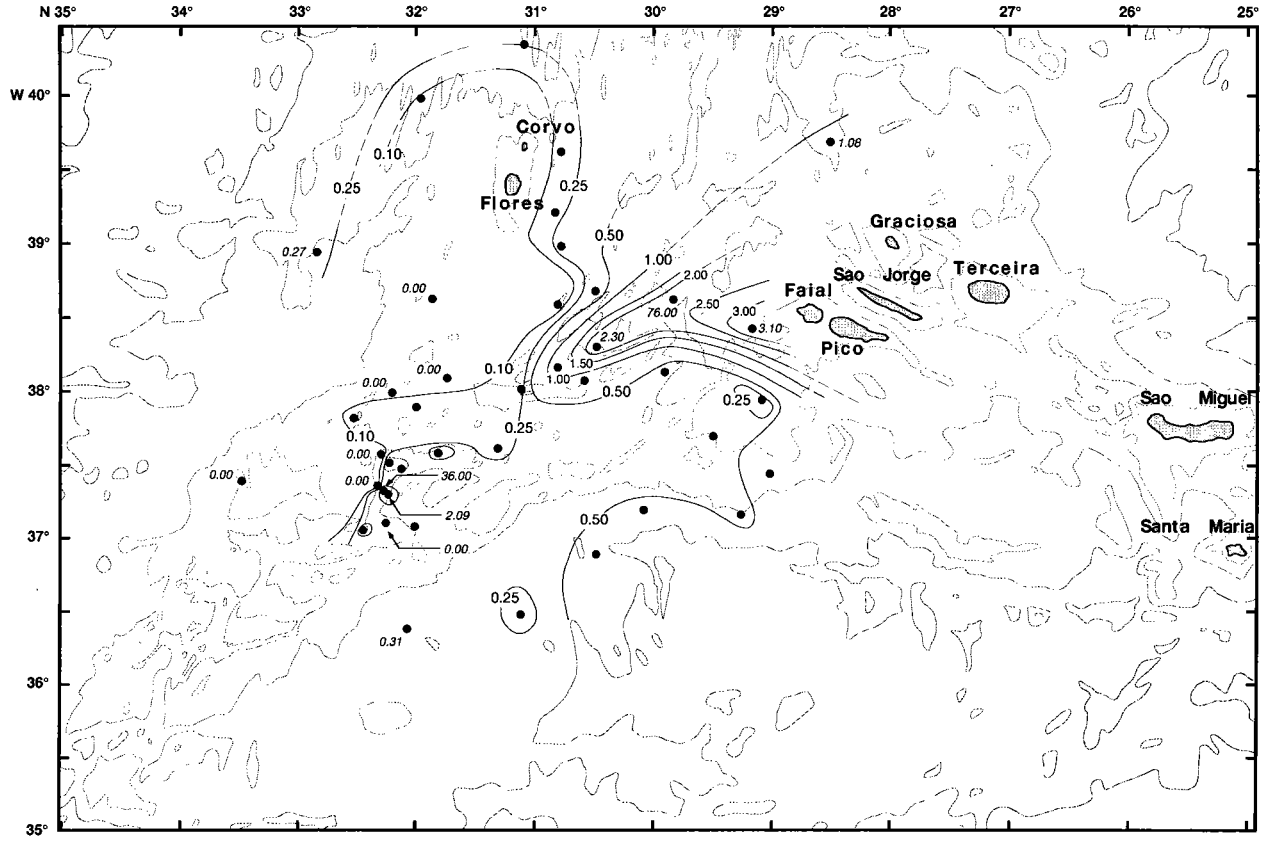


***Fig. II-30**: Teneurs en verre volcanique du sédiment de surface sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonate. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en verre volcanique pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

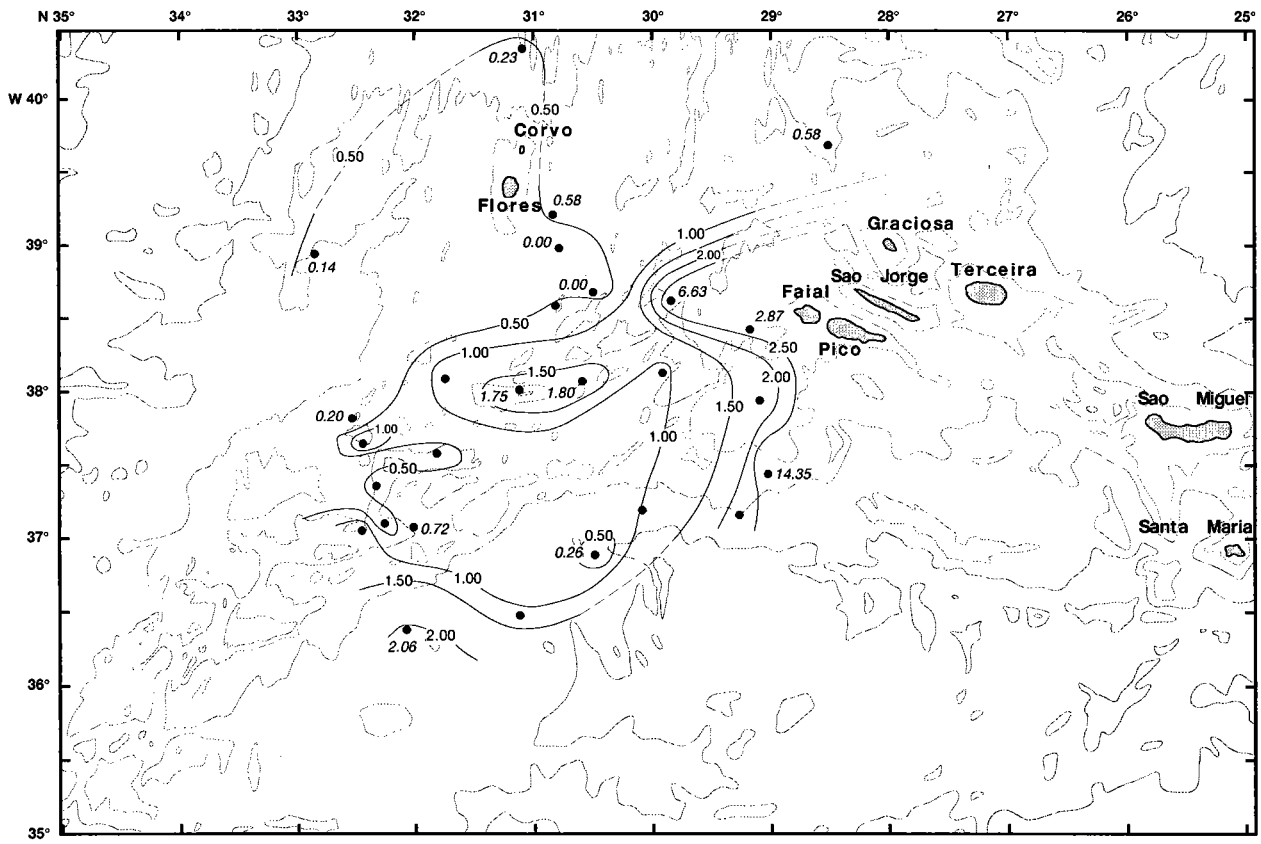


***Fig. II-31**: Teneurs en verre volcanique du sédiment au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonate. Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka).*

[Grousset, 1985] pour le plateau des Açores font apparaître les maxima au niveau de la dorsale, et spécialement sur le volcan Lucky Strike (Fig. II-32). [Hoffert, 1973] a montré une forte abondance de montmorillonite dans la Fosse de l'Hirondelle, à 30 km au NW de São Miguel, ce qui montre bien une forte contribution de la dorsale et des îles dans les minéraux argileux.

Les chlorites, de part le bouclage à 100% des l'abondance des 4 types d'argiles, apparaissent anti-corrélées aux smectites. Les teneurs sont comprises entre 5% et 30% avec une moyenne de 15% et un écart-type de 8%. Le schéma de variation montre de faibles teneurs au niveau de la dorsale et spécialement sur Lucky Strike, et de faibles teneurs près des îles (Fig. II-32). Les valeurs sont dans la moyenne notée par Grousset [1985] pour l'océan Atlantique nord. Ce dernier note un gradient EW avec les fortes teneurs à l'ouest du bassin atlantique. Le gradient observé sur le plateau est supérieur au gradient régional et met à nouveau en évidence une dilution par les smectites.

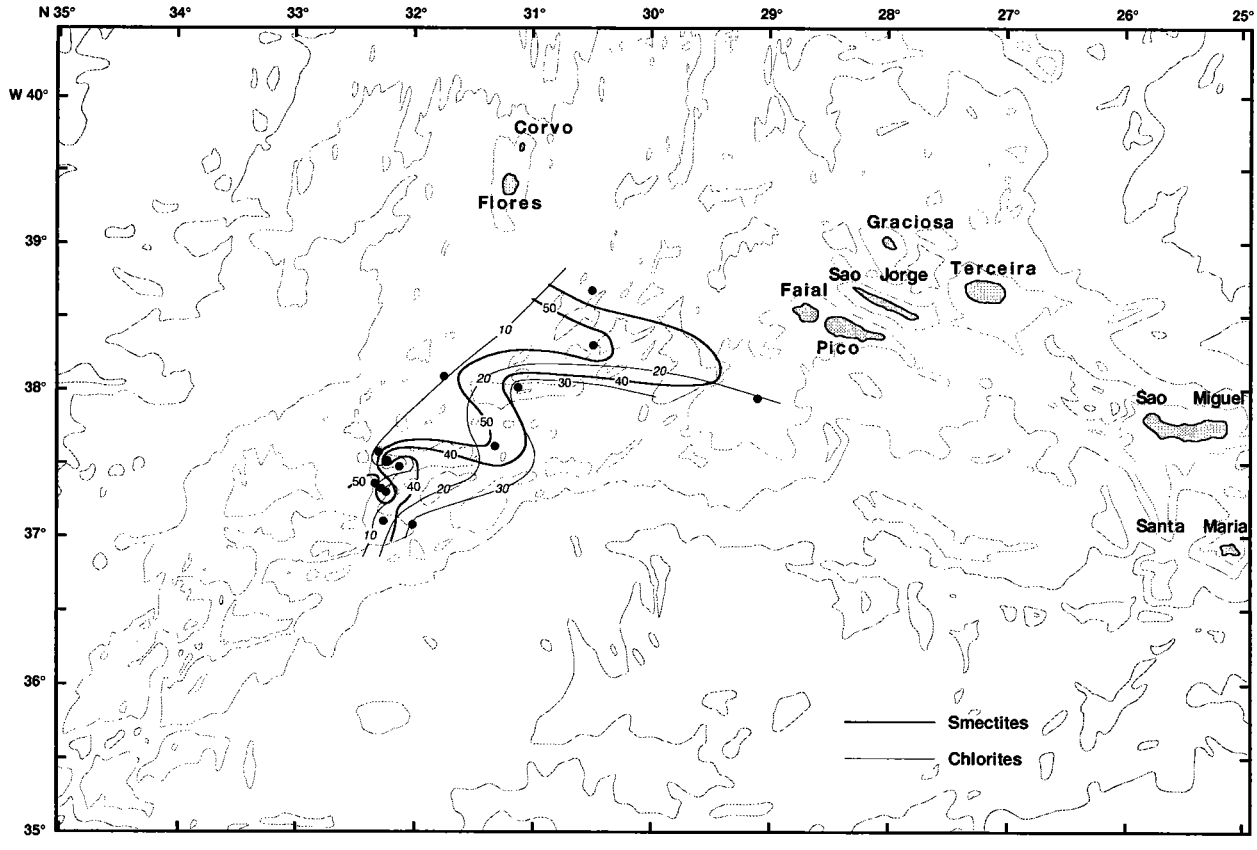


Fig. II-32: Teneur en smectites (trait épais, nombres droits) et en chlorites (trait fin, nombres en italiques) de la fraction décarbonatée <2 µm des sédiments de surface sur le plateau des Açores, d'après Grousset et al. [1994]. Les fortes teneurs en smectiques à l'axe de la dorsale et particulièrement sur le volcan Lucky Strike soulignent la forte contribution de la ride pour la phase minérale argileuse. Les teneurs en chlorites sont anti-corrélées aux teneurs en smectites.

2.4. Teneurs en sables

Compte tenu de la richesse du sédiment en carbonates, la teneur en sable est le reflet de l'abondance des foraminifères. Les variations trouvent leurs origine dans les variations temporelles de productivité et dans divers processus sédimentaires permettant de trier les particules en fonction de leur taille. La teneur en sables, et d'une manière générale la texture du sédiment nous servira ultérieurement à déterminer l'importance spatio-temporelle de l'hydrodynamisme sur le plateau des Açores et d'identifier des dépôts gravitaires (cf. chapitre IV). La teneur en sables est exprimée en % volumique du sédiment total. Compte tenu des caractéristiques physiques et morphologiques des carbonates ceci aboutit à une sous-évaluation par rapport aux % massiques. Une méthode de conversion est donnée dans le chapitre I.

Sédiment de surface (Fig. II-33)

La teneur en sable montre une plus grande variabilité que la teneur en carbonate. Celle-ci est comprise entre 5% et 77%, avec une moyenne de 22% et un écart-type de 14%. Le facteur qui semble contrôler la teneur en sable est la profondeur d'eau car la distribution est contrôlée par la morphologie (Fig. II-33), ainsi la courbe de teneur 15% suit grossièrement l'isobathe 2000 mètres. Ce contrôle se confirme si l'on tient compte de la totalité des échantillons (Fig. II-35), on constate alors que les fortes teneurs en sables caractérisent les faibles profondeurs et *vice versa*. Si on ne considère que les échantillons des carottiers de surface cette tendance est encore plus nette (Fig. II-35). La distance aux îles ne montre par contre aucune influence (Fig. II-35).

Sédiment LGM (Fig. II-34)

Les variations sont remarquablement similaires à celles observées pour les sédiments de surface. Les teneurs sont en moyenne plus élevées qu'à l'Actuel de 12%. La différence est de 30% pour les sédiments les moins profonds et seulement de 5% pour les sédiments les plus profonds (Fig. II-36). L'anti-corrélation entre la teneur en sables et la profondeur d'eau est de ce fait encore plus nette. On observe une anti-corrélation avec la distance aux îles, mais elle est artificielle car liée à une meilleure corrélation entre la profondeur et la distance pour les échantillons LGM (Fig. II-36).

Les derniers 400 ka [1](Fig. II-37 et Fig. II-38)

Le schéma de distribution des teneurs en sables a peu varié pour les derniers 186 ka (Fig. II-37) et les variations correspondent généralement à la diminution des points avec l'âge croissant. La dorsale reste globalement la zone ou les teneurs en sables sont les plus faibles et d'une manière générale les grandes profondeurs restent pauvres en sables et les faibles profondeurs riches en sables. Lors du dernier cycle climatique les sédiments interglaciaires (stade 5) étaient en moyenne plus pauvres de 6% que les sédiments glaciaires (stades 2, 3 et 4) (Fig. II-36) ce qui représente un contraste plus faible que celui observé entre le récent et le LGM. Cette augmentation glaciaire générale peut être attribuée à une augmentation de la productivité des foraminifères vis à vis des nannofossiles calcaires, une telle évolution a été observée dans l'atlantique nord à 48°23'N-25°05'W [van Kreveld-Alfane, 1996]. Quelques sites particuliers se dégagent néanmoins à certaines époques comme la carotte GEOFAR-KF21 qui tend à être beaucoup plus sableuse durant la dernier Glaciaire. Les graphes Latitude, longitude et profondeur en fonction de l'âge (Fig. II-38) montrent la faible amplitude des variations temporelles durant les derniers 400 ka. Le stade 5 se caractérise par des sédiments appauvris en sables. Le sédiment situé à l'ouest de 32°W et au dessus de 1500 mètres est le plus sableux (>30%), mais pour la même raison que la teneur en carbonates (cf. § 2.1.3) seule la profondeur exerce un réel contrôle sur la teneur en sables. Ces sédiments peu profonds et riches en sable correspondent à 5 carottes: 90-2-KS03, 91-KS01, 91-KS07 et GEOFAR-KF21 et KS15. Une cinquième carotte, 92-KS08, à 2600 mètres de profondeur est également très riche en sable.

2.5. Lithologies particulières

Des lithologies particulières sont à noter:

• Des dépôts gravitaires de trois types. Les turbidites pélagiques, très riches en sables et granoclassées, elles font jusqu'à 268 cm d'épaisseur. Les turbidites volcaniques, plus ou moins grossières et granoclassées, elles font au maximum quelques centimètres d'épaisseur. Les coulées de débris, d'une dizaine de centimètres d'épaisseur, très mal triée, se situent à l'est des îles Corvo et Flores, le matériel provenant probablement de niveaux peu profonds.

• Des dépôts d'explosions volcaniques sous-marines au niveau des monts sous-marins de 38°20N, Menez Gwen et Lucky Strike [Fouquet *et al.*, Submitted].

Ces dépôts, leur lithologie et les processus de dépôts associés seront développés dans le chapitre IV.

[1] Les cartes semblent différentes de celles établies pour la surface et le LGM, mais elles sont seulement plus moyennées et contiennent moins de points. Les valeurs les plus basses dans les zones de fractures apparaissent ainsi comme des valeurs faibles suivant le tracé de la dorsale.

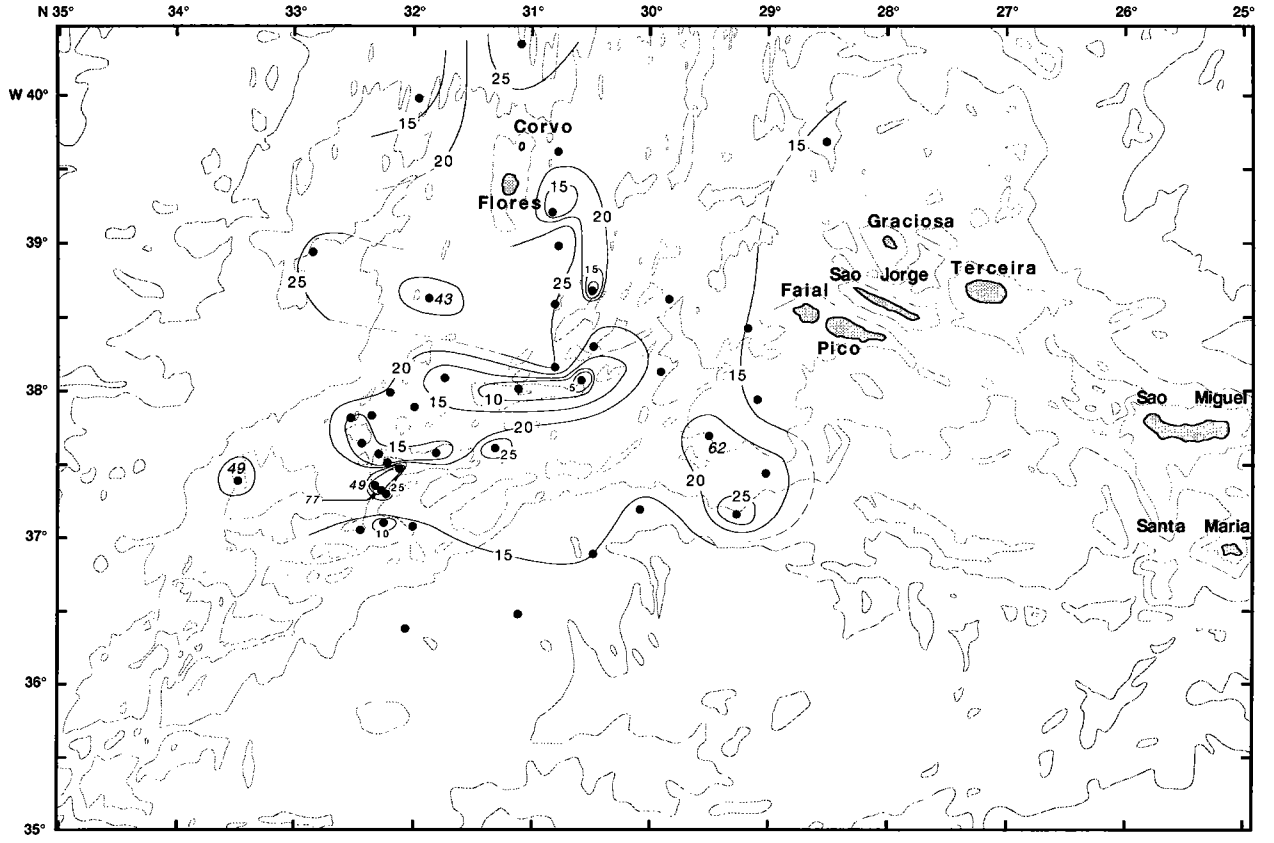


***Fig. II-33**: Teneurs en sable (fraction >64.2 µm) des sédiments de surface sur le plateau des Açores. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en sable pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

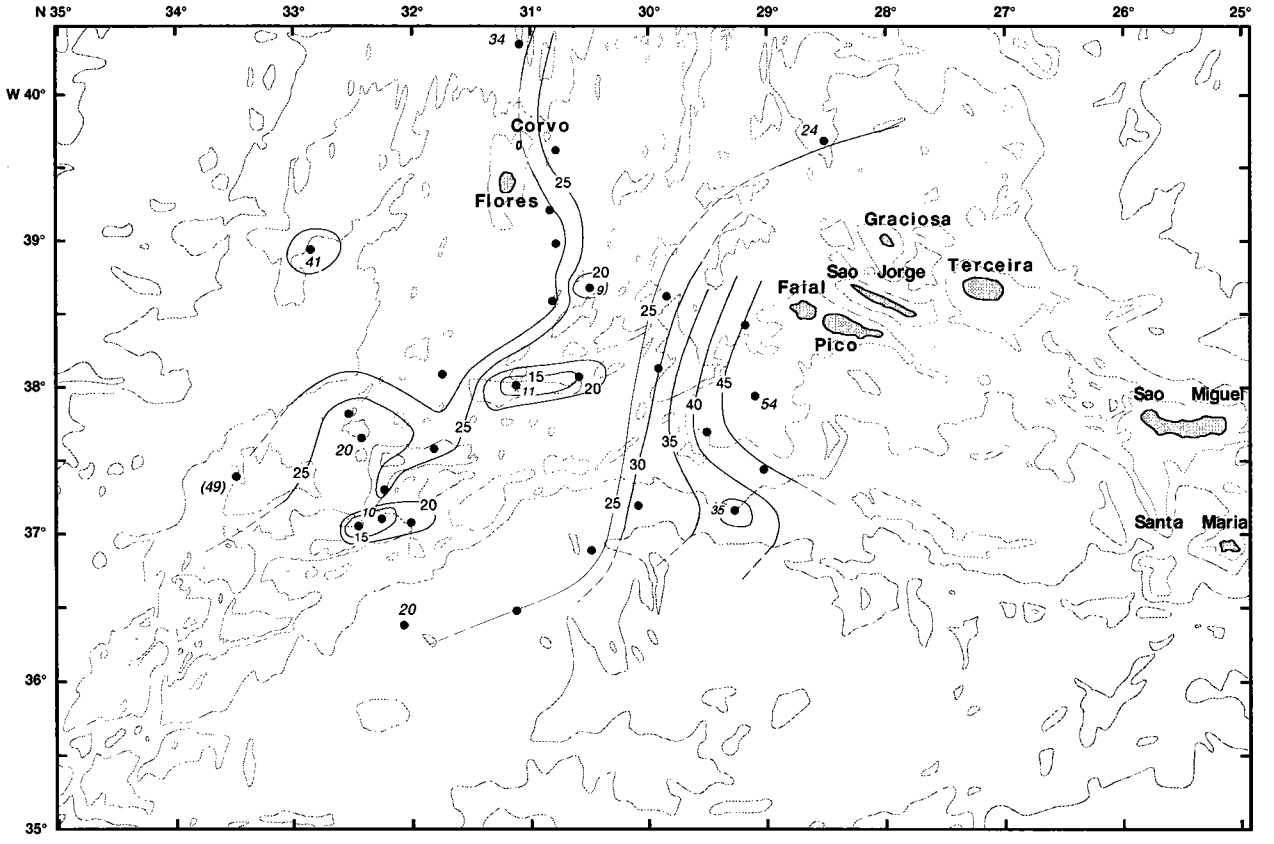


***Fig. II-34**: Teneurs en sable des sédiments au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores. Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka). Les valeurs entre parenthèses correspondent au sommet de la carotte soit parce que le taux de sédimentation est extrêmement faible soit parce que le LGM manque.*

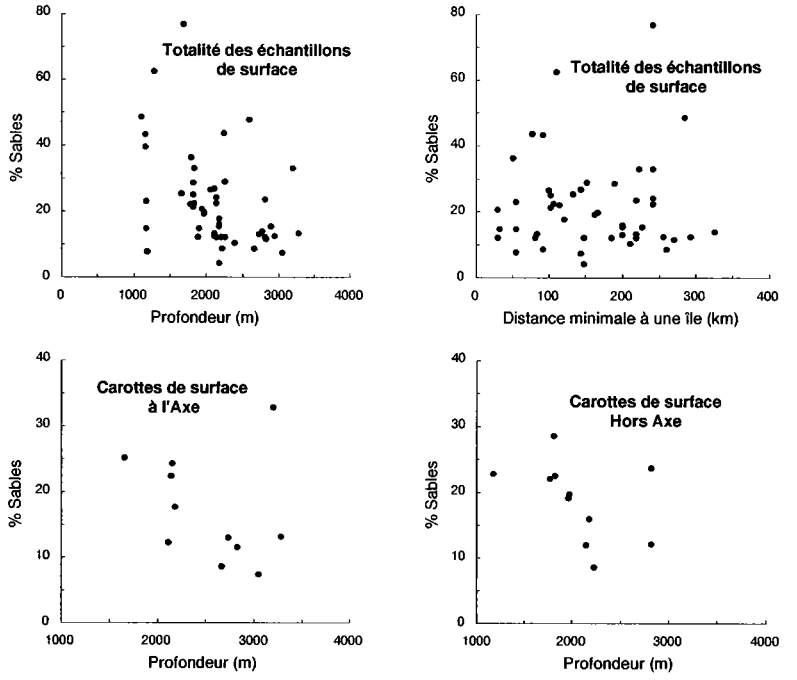


Fig. II-35: Variation des teneurs en sable du sédiment de surface en fonction de la profondeur et de la distance aux îles. La totalité des échantillons de surface (carottes de surface et sommets de carottes Küllenberg) montre que les points les moins profonds tendent à être plus riches en sable. La distance à l'île la plus proche ne détermine absolument pas la teneur en sable. Si on ne conserve que les échantillons provenant des carottes de surface, c'est à dire réellement à l'interface eau-sédiment, on constate tant à l'axe que hors axe la même relation entre la profondeur et la teneur en sable. Les zones profondes correspondent aux limites extérieures du plateau et aux bassins transformants de la dorsale. La relation semble plus nette a l'axe que hors axe.

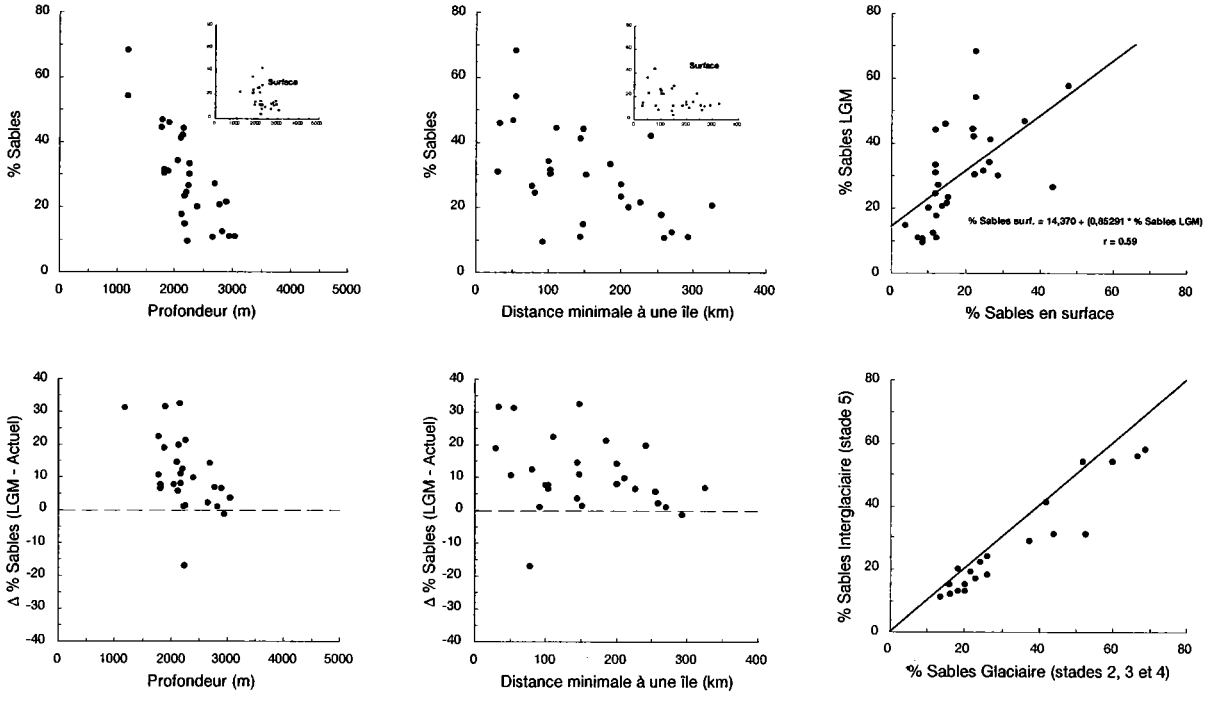


Fig. II-36: Variation des teneurs en sable durant le Dernier Maximum Glaciaire (LGM). Elles tendent à être plus importantes à proximité des îles, mais la profondeur d'eau exerce un meilleur contrôle. Les petits graphes représentent la tendance à l'actuel avec les même points de carottage. La différence entre le LGM et l'actuel se traduit par une plus forte teneur au LGM d'environ 12% en moyenne. La différence est nettement plus importante pour les carottes à faible profondeur d'eau (jusqu'à 30%) et moindre pour les carottes profondes (< 5%). Cette tendance est également visible par rapport à la distance aux îles car il y a une bonne corrélation entre la profondeur et l'éloignement des îles. Les sédiments Interglaciaires (stade 5) sont en moyenne plus pauvres que les sédiments Glaciaires (stade 2, 3 et 4).

% Sable
(> 64.2 μm)

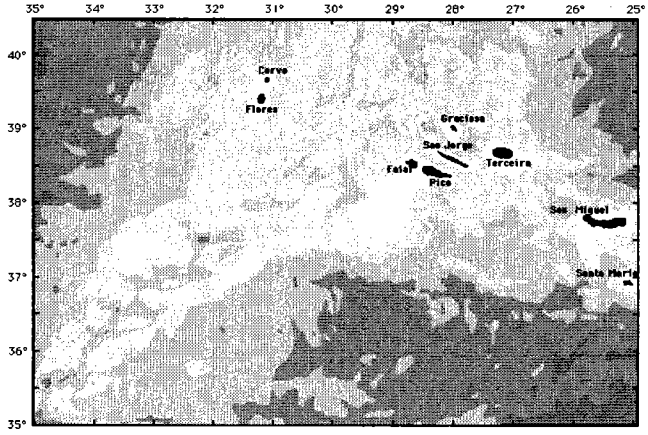
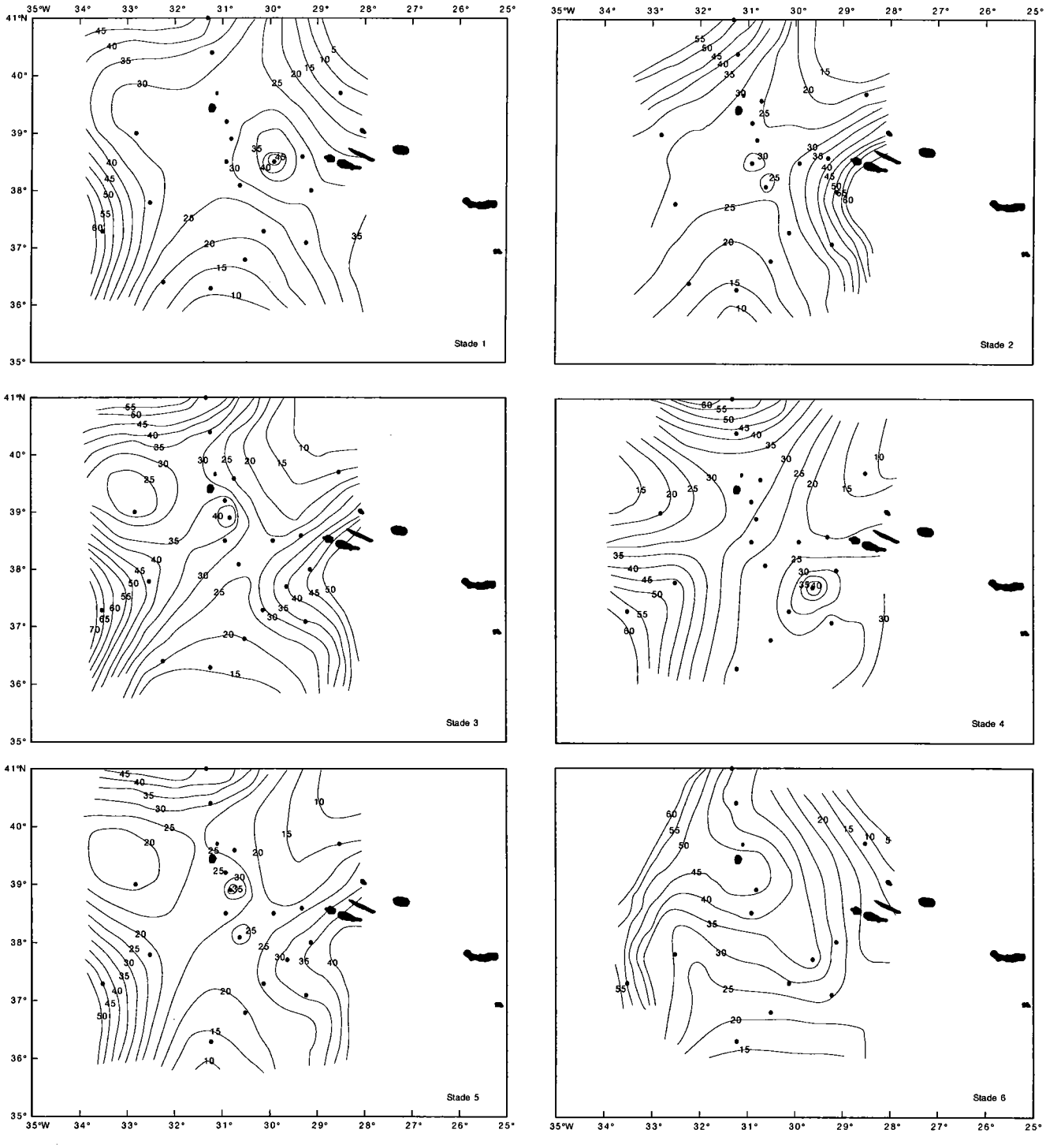


***Fig. II-37**: Teneurs en sable du sédiment pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.*



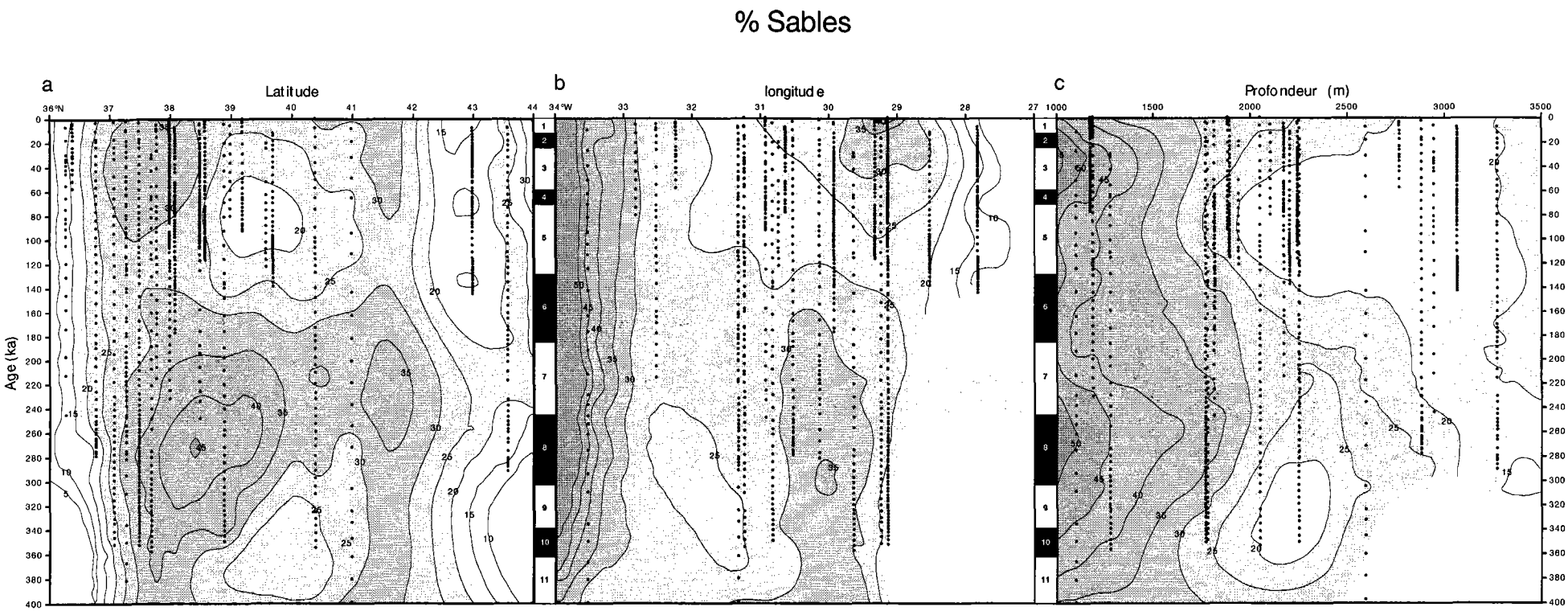


***Fig. II-38**: Variations de la teneur en sable durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41 °N. Le stade 5 (Interglaciaire) tend à montrer des teneurs plus faibles que le dernier Glaciaire (stades 2, 3 et 4). Seule la profondeur semble exercer un réel contrôle sur la teneur en sable Les carottes les moins profondes sont beaucoup plus riches que les carottes profondes. Les carottes situées à l'ouest de la région sont également très riches en sables, mais elles sont en fait des carottes de faible profondeur, seule la profondeur exerce en fait un contrôle sur les teneurs en sable.*

3. Densité humide

La densité humide a été calculée d'après la mesure de γ-densité, corrigée de l'erreur crée par l'absence de l'eau dans la calibration du de la mesure (cf. chapitre I). La densité du sédiment est fonction de sa teneur en eau (densité 1.024) et éventuellement de la nature des minéraux. Elle est, dans un deuxième temps, sensible à la compaction, et à la diagénèse qui tend à précipiter des minéraux dans les pores. La densité des sédiments de surface n'a pas pu être déterminée par γ-densimétrie car le sommet de la carotte est généralement perturbé et impropre à la mesure. Néanmoins nous avons évalué la densité humide en surface en mesurant la teneur en eau du sédiment et en faisant l'hypothèse d'une densité de grain de 2.70. La densité humide des sédiments LGM et pour les différents stades isotopiques proviennent de la γ-densité corrigée.

Sédiment de surface (Fig. II-39)

La densité humide est comprise entre 1.41 et 1.88 avec une moyenne de 1.55 et un écart-type de 0.09. La carte montre que les faibles densités se situent à l'axe de la dorsale et spécialement dans les zones de fractures. Au niveau de l'axe elles sont comprises entre 1.45 et 1.50, et hors axe elles sont supérieures à 1.55. Les valeurs les plus basses correspondent également avec les grandes profondeurs (Fig. II-41), ce qui confirme que ce sont bien les zones de fractures qui contiennent les sédiments peu denses (Fig. II-39). Les sédiments les moins profonds tendent à être les plus denses. La densité est faiblement anticorrélées à la distance aux îles (Fig. II-42), mais cette tendance est moins nette que pour la profondeur. Le sédiment le plus dense (1.88-carotte 91-KS06) correspond à un sable constitué de verre volcanique.

Sédiment LGM (Fig. II-40)

La densité humide est comprise entre 1.20 et 1.67, avec une moyenne de 1.45 et un écart-type de 0.11. Les valeurs les plus basses se trouvent, comme en surface, au niveau de la dorsale, et spécialement dans les zones de fractures. Au niveau de l'axe elles sont comprises entre 1.20 et 1.40, tandis que hors axe elles sont comprises entre 1.45 et 1.65. Cette tendance se traduit également par une anti-corrélation avec la profondeur, mais la dispersion est beaucoup plus grande qu'en surface (Fig. II-41). On observe la même dispersion avec la distance aux îles (Fig. II-42). Les densité LGM sont plus basses que celles de la surface de 0.10 en moyenne. Il semble que la densité les sédiments les plus profonds tend à décroître plus au LGM et que les sédiments les moins profonds tendent à être légèrement plus denses (Fig. II-41). Par contre la distance aux îles ne joue aucun sur les variations entre les deux époques (Fig. II-42).

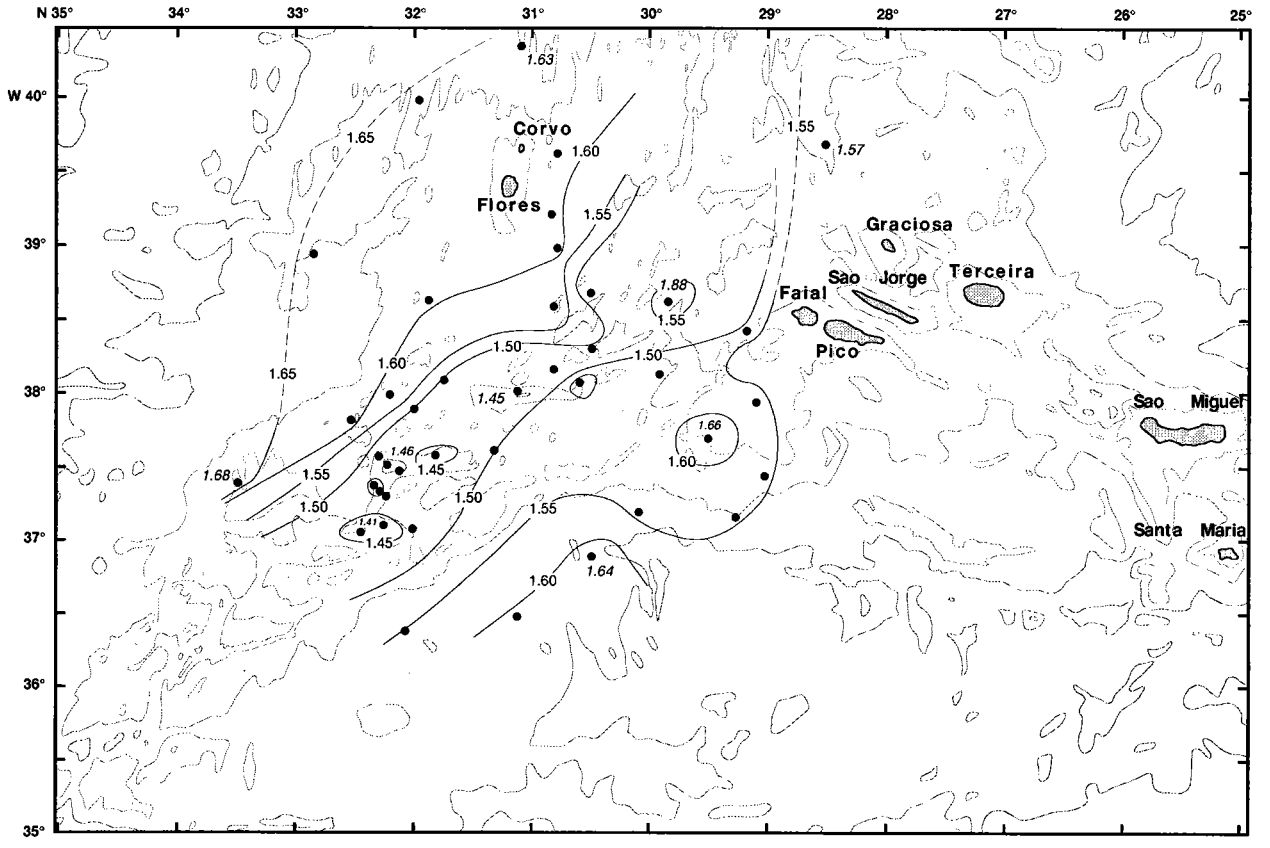


***Fig. II-39**: Densité humide des sédiments de surface. Les densités sont nettement plus faibles sur la dorsale et dans les zones de fractures. Par contre elles sont plus élevées hors axe. Les fortes densités correspondent soit à un sédiment sableux, soit à un sédiment riche en verre volcanique (91-KS06, et également sableuse).*

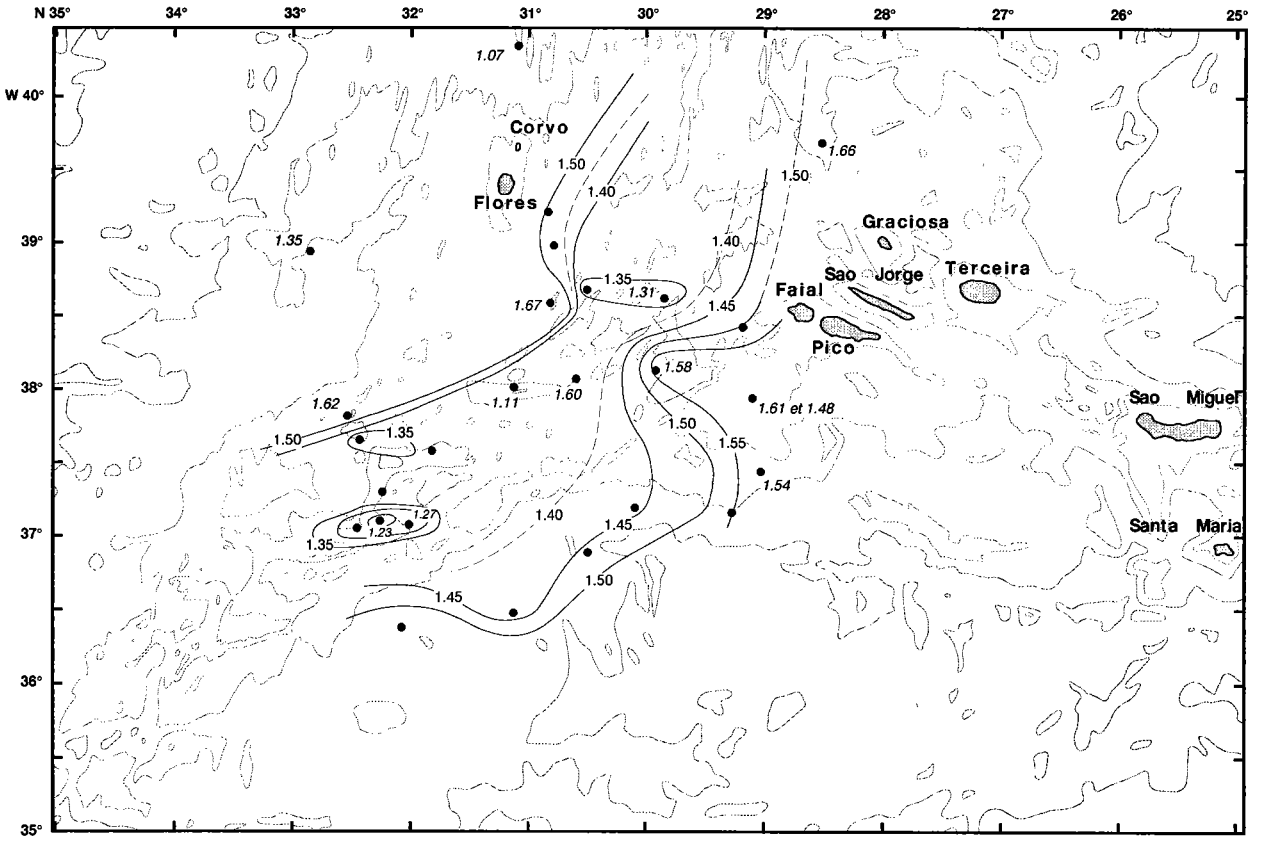


***Fig. II-40**: Densité humide des sédiments pour le dernier maximum glaciaire (LGM). Les faibles densités se situent sur la dorsale et dans les zones de fractures. Les densités sont plus faibles que celles des sédiments de surface.*

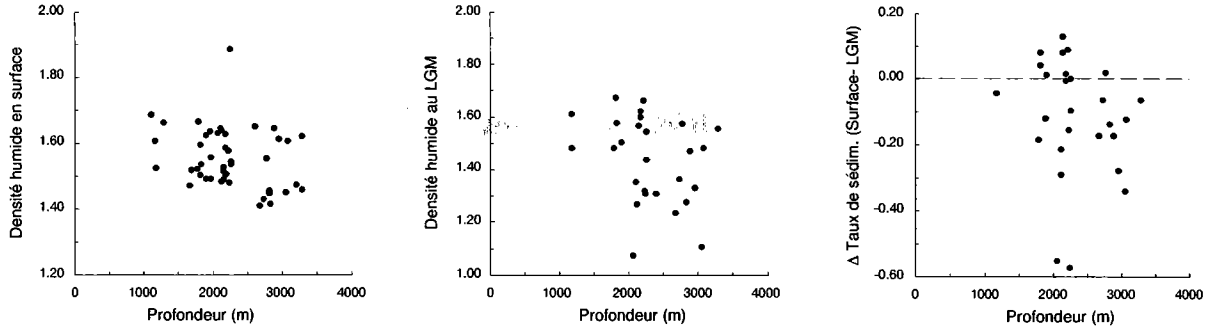


***Fig. II-41**: Variation de la densité humide en surface et au LGM, en fonction de la profondeur. Les grandes profondeurs, correspondant aux zones de fractures, se caractérisent par les densités les plus basses. Au contraire les sédiments les moins profonds montrent les plus fortes densités. Cette tendance est marquée aux deux époques mais les densités du LGM sont plus dispersées. Les densités LGM sont plus basses en moyenne de 0.16. La baisse LGM tend à être plus importante pour les sédiments profonds.*

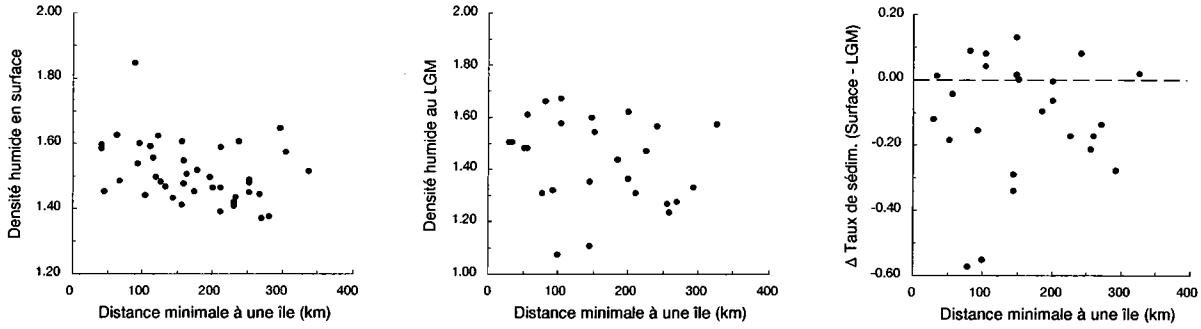


***Fig. II-42**: Variation de la densité humide en surface et au LGM en fonction de la distance aux îles. En surface les faibles densités tendent à être loin des îles. La distance aux îles ne contrôle en rien les variations entre la surface et le LGM.*

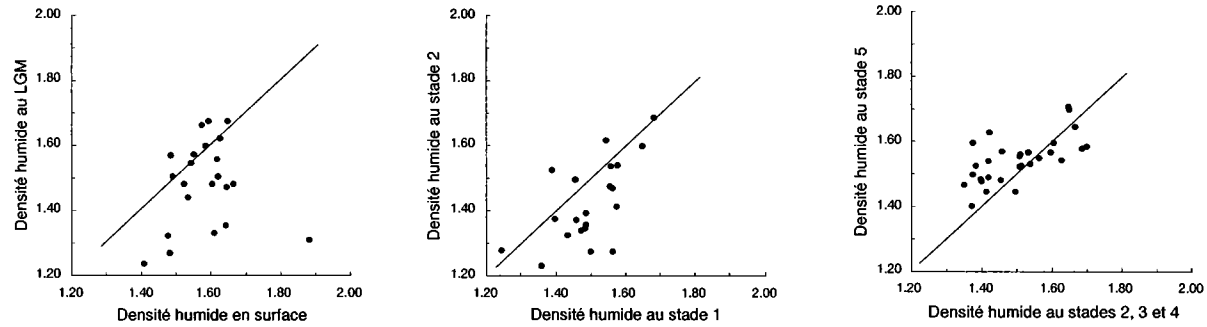


***Fig. II-43**: Comparaison des densités humides entre l'Interglaciaire actuel (stade 1), le dernier Glaciaire (stades 2, 3 et 4) et le dernier Interglaciaire (les droites indiquent la position des variations nulles entre les 2 époques). Le sédiment tend nettement à être moins dense durant le Glaciaire. Néanmoins les sédiments les moins denses tendent à devenir encore moins dense, et les plus denses tendent à être stables voir à devenir légèrement plus denses (surtout entre le dernier Glaciaire/Interglaciaire).*

Densité Humide (g/ cm3)

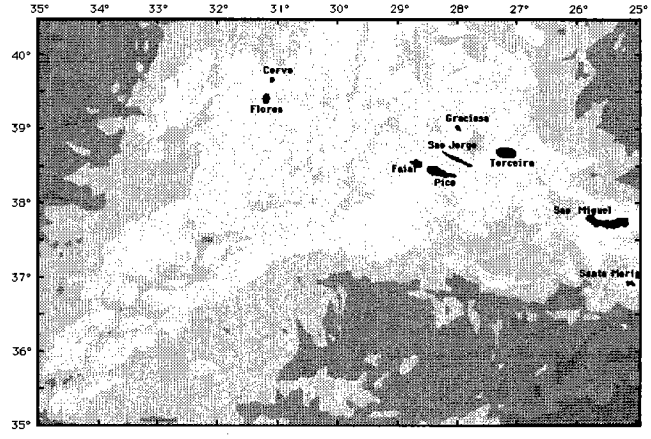
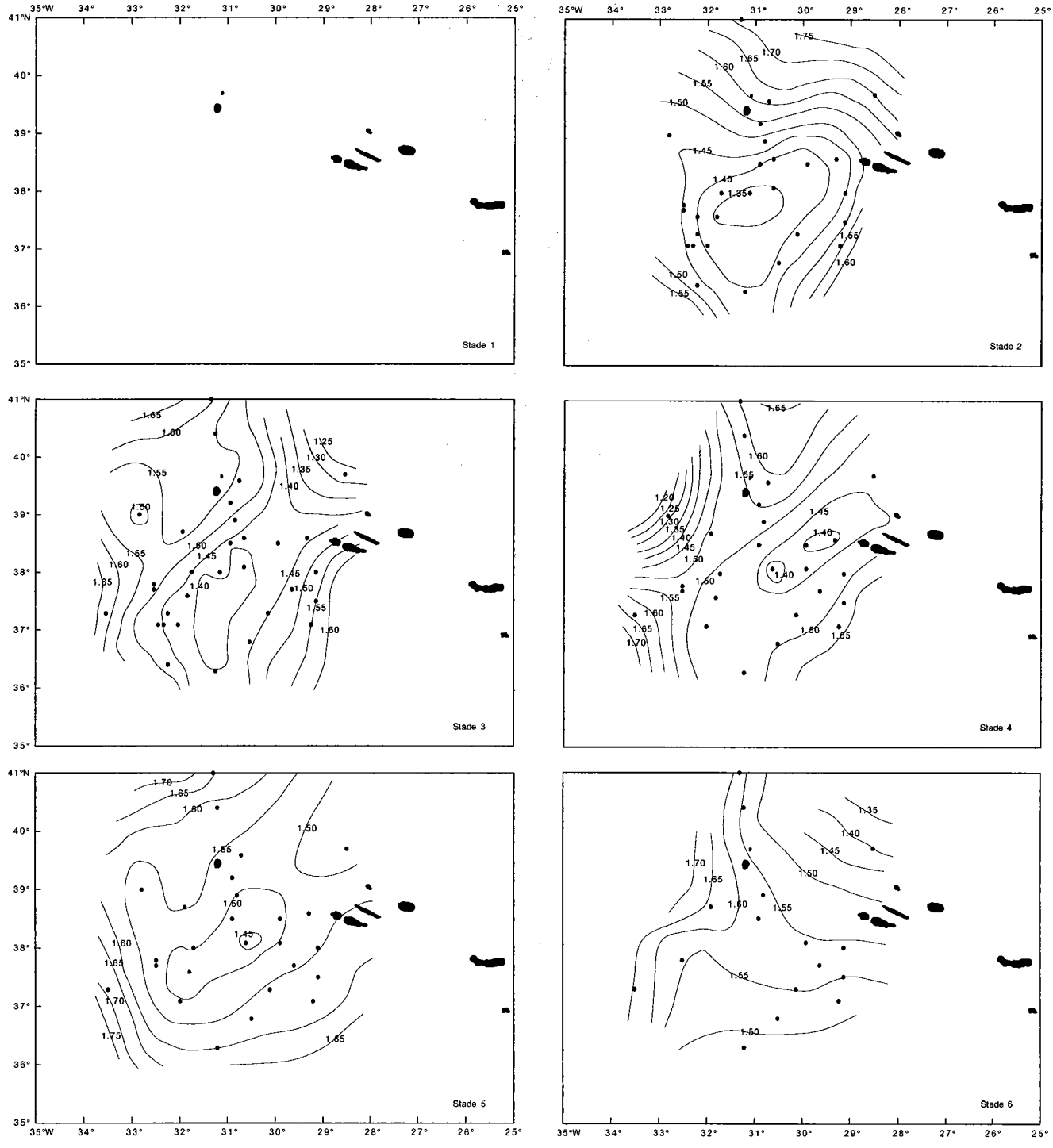


***Fig. II-44**: Densité humide du sédiment pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.*



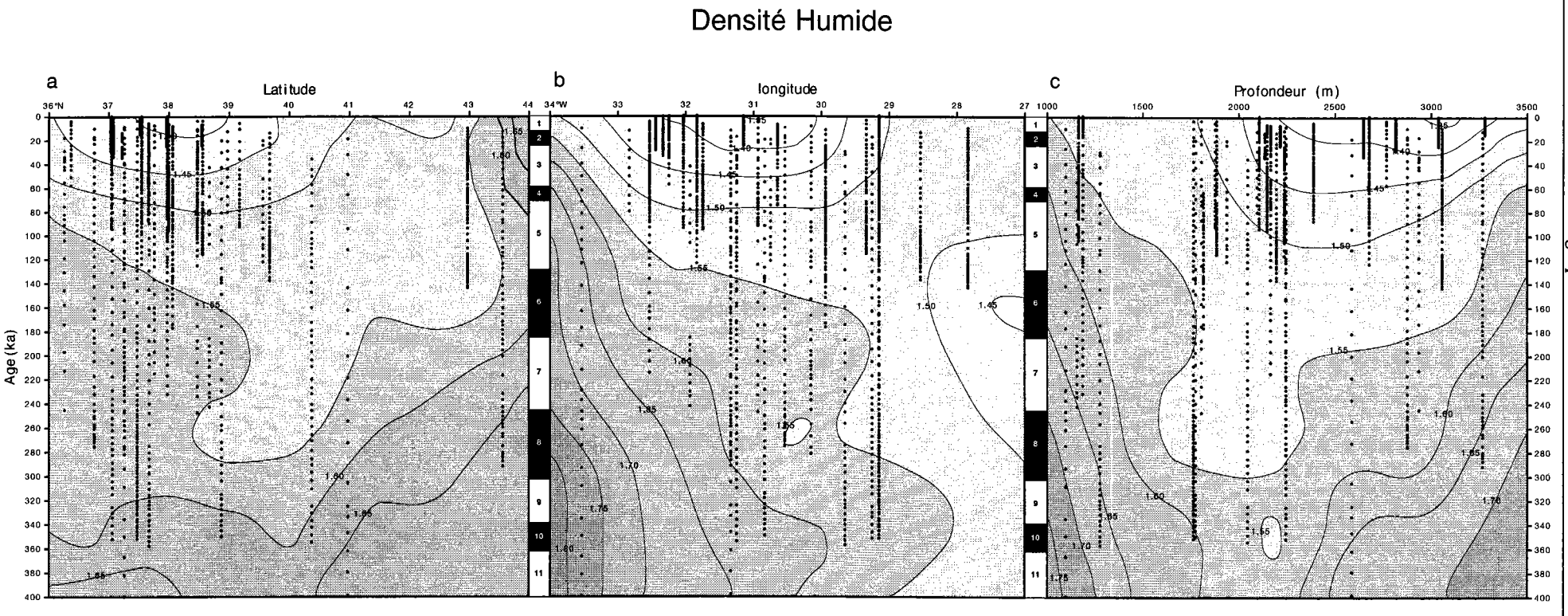


***Fig. II-45**: Variations de la densité humide des sédiments durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. On ne distingue pas de variations significatives dans l'espace car les faibles densités se situent dans les zones de fracture qui ne se cantonnent pas à des latitudes ou des longitudes spécifiques. Par contre les sédiments les moins profonds tendent à être plus denses. Cette observation n'est pleinement valable que pour le sédiment entre 0 et 100 ka car les faibles densités correspondent aux forts taux de sédimentation et ne sont pas représentés aux âges >100 ka.*

Les derniers 400 ka (Fig. II-44 et Fig. II-45)

Il n'est possible de mettre en évidence une contrainte géographique comme la Latitude, la longitude et la profondeur. Les cartes montrent que durant les derniers 200 ka (jusqu'au stade 6) le sédiment le moins dense se situe constamment au niveau de la dorsale, dans les zones de fractures (Fig. II-44). Les variations, d'un stade isotopique à l'autre, sont au maximum de 0.10. Ces variations temporelles sont trop faibles pour être marquées, et les variations observées sur les graphes montrant les variations temporelles en fonctions des paramètres géographiques sont plutôt liées à l'hétérogénéité spatio-temporelle de l'échantillonnage (Fig. II-45). Néanmoins des graphes montrent que le sédiment glaciaire tend à être moins dense que le sédiment interglaciaire (Fig. II-43).

4. Stratigraphie: les taux de sédimentation

Nous avons calculé, à partir de la stratigraphie, des taux moyens pour les stades isotopiques 1 à 6, ils sont exprimés en $cm.ka^{-1}$. Les taux de sédimentation se révèlent très variables, de 0.40 $cm.ka^{-1}$ à 41.40 $cm.ka^{-1}$ suivant la localisation et l'époque. Les cartes présentées sur la Fig. II-52 sont basées sur une interpolation qui moyenne les valeurs et tend à atténuer la variabilité des taux. Par exemple les valeurs caractérisant la périphérie de la zone échantillonnées sont voisines de zéro alors qu'elles sont en réalité seulement très faibles (<1.5 $cm.ka^{-1}$). Ces isovaleurs permettent de mettre en évidence les tendances spatiales mais s'écartent des valeurs locales. Nous avons donc également dressé deux cartes (stades 1 et 2), contourées manuellement, qui préservent mieux la vérité terrain. Les taux présentés sont des taux "pélagiques", les dépôts turbiditiques ne sont pas pris en compte.

Stade 1 (<=> Surface) (Fig. II-46)

Les taux varient entre 0.40 $cm.ka^{-1}$ et 26.30 $cm.ka^{-1}$ avec une moyenne de 6.82 $cm.ka^{-1}$ et un écart-type de 7.45 $cm.ka^{-1}$. Les taux sont très variables, on constate que les forts taux se situent à grande profondeur, par contre la distance aux îles ne conditionne pas les variations (Fig. II-48 et II-49). Il est possible de distinguer 3 type de taux de sédimentation correspondant à 3 contextes morphologiques:

- les taux faibles (< 1 $cm.ka^{-1}$), situés à des profondeurs < 1500 mètres
- les taux moyens (entre 1 et 2 $cm.ka^{-1}$) situés hors axe, à des profondeurs $>$ 1500 mètres
- les taux forts (> 5 $cm.ka^{-1}$) situés à l'axe, de préférence dans les zones de fracture c'est à dire à grande profondeur.

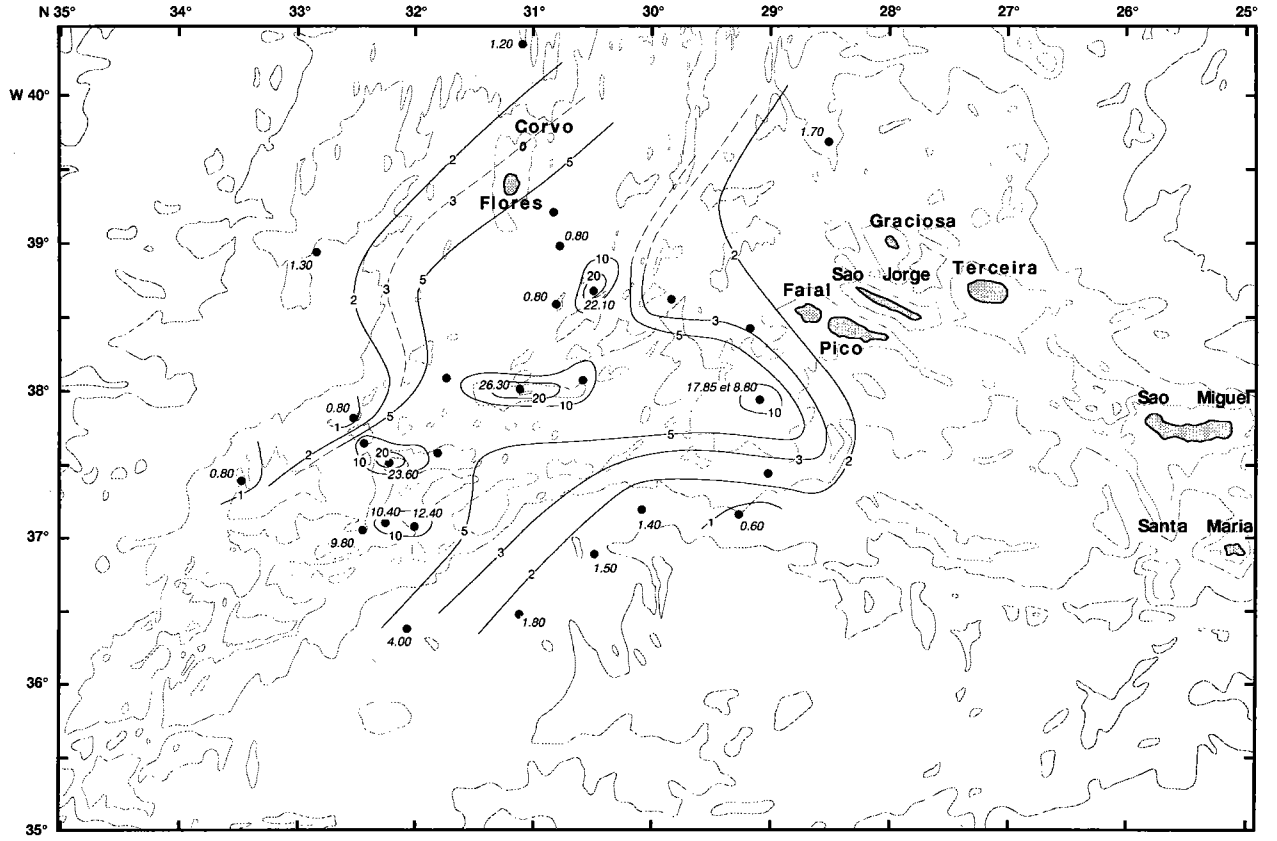


***Fig. II-46**: Taux de sédimentation moyens (cm/ka) durant le stade isotopique 1 sur le Plateau des Açores. Le taux moyen hors axe se situe entre 1.5 et 2 cm/ka, mais les taux à l'axe, et spécialement dans les zones de fracture sont élevés (10 à 26 cm/ka). Des taux faibles (inférieurs à 1 cm/ka) sont enregistrés sur des points hauts, à des profondeurs inférieures à 1500 mètres.*

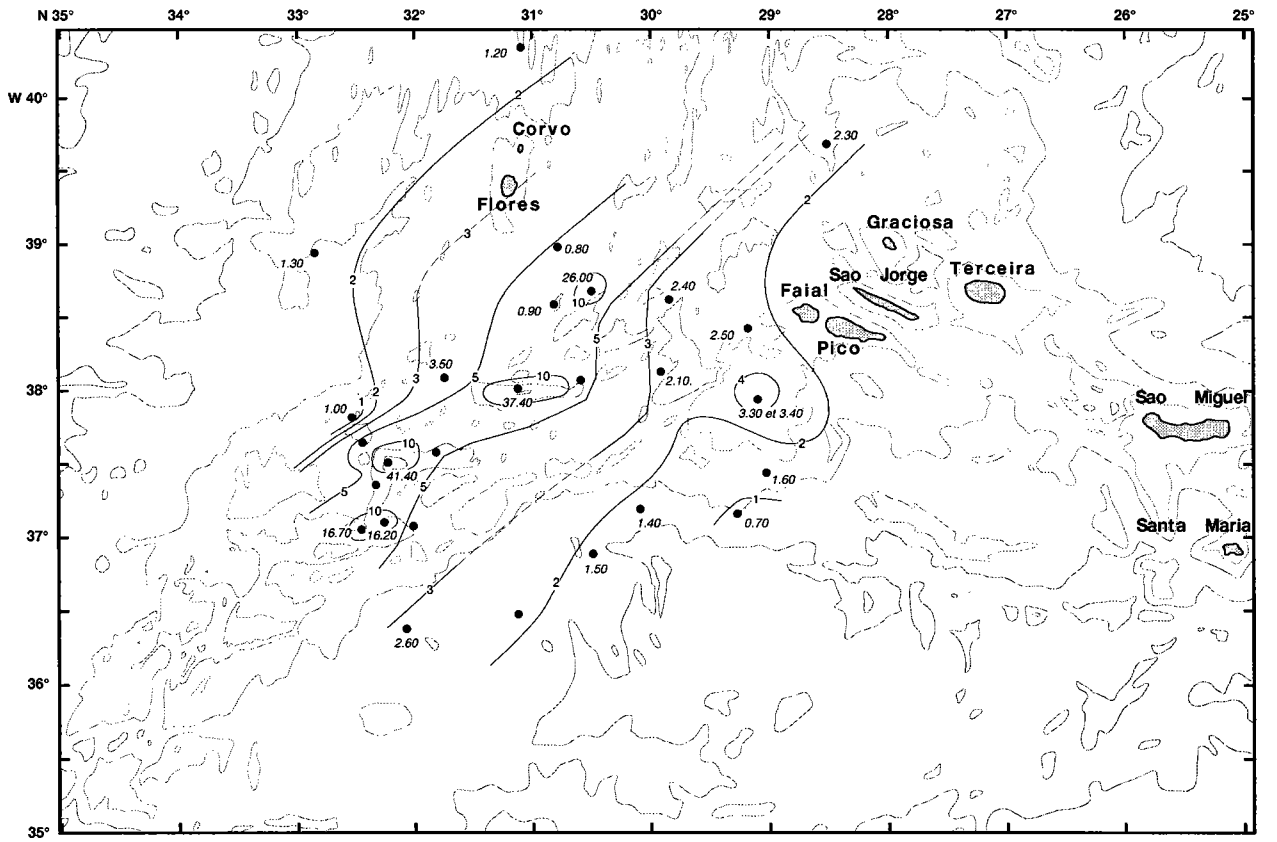


***Fig. II-47**: Taux de sédimentation moyens (cm/ka) durant le stade isotopique 2 sur le plateau des Açores. Le taux moyen hors axe se situe entre 1.5 et 2 cm/ka. Les taux à l'axe, et spécialement dans les zones de fracture sont élevés (5 à 41 cm/ka). Des taux faibles (inférieurs à 1 cm/ka) sont enregistrés sur des points hauts, à des profondeurs inférieures à 1500 mètres.*

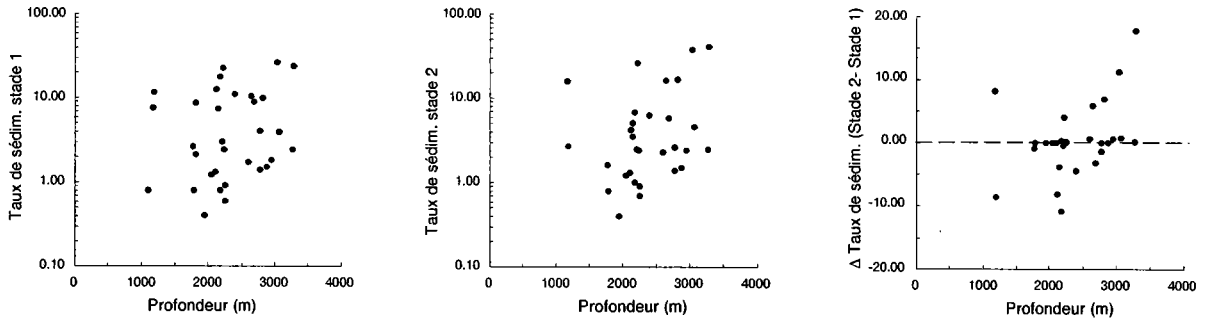


***Fig. II-48**: Variation des taux de sédimentation durant le stade 1 et le stade 2 en fonction de la profondeur. La tendance aux forts taux pour les grandes profondeurs correspond aux failles transformantes. Les taux sont plus forts au stade 2 pour les grandes profondeurs, par contre ils sont plus faibles pour les faibles profondeurs.*

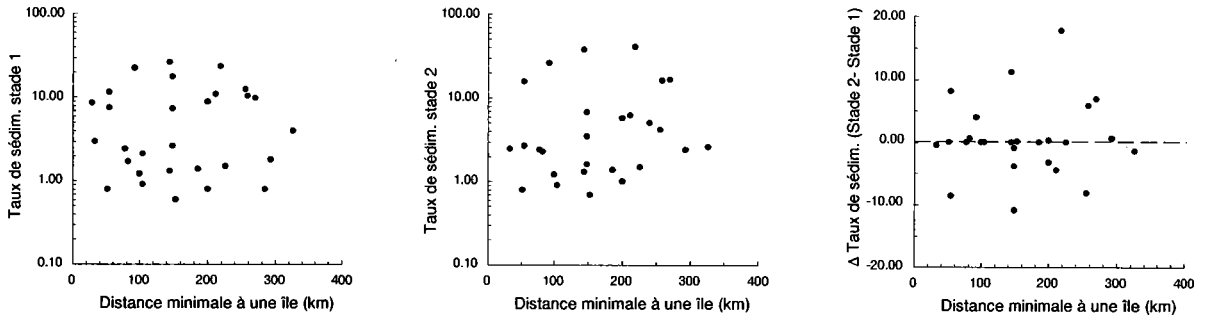


***Fig. II-49**: Variation des taux de sédimentation durant le stade 1 et le stade 2 en fonction de la distance aux îles. Ce facteur ne contrôle ni les taux, ni les variations de taux entre les stades.*

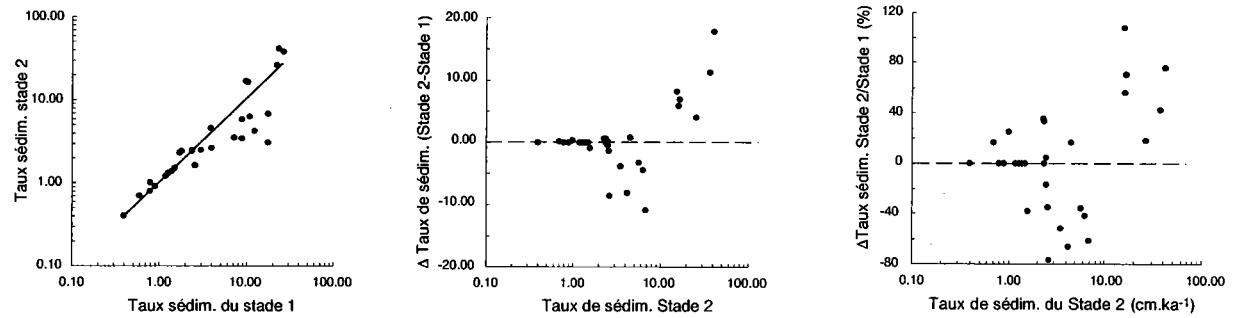


***Fig. II-50**: Comparaison des taux de sédimentation du stade 1 et du stade 2. Les plus forts taux tendent à augmenter durant le stade 2, tandis que les taux intermédiaires diminuent. Les taux les plus faibles restent stables, mais cela peut provenir d'un manque de résolution. Plus un taux est élevé plus les variations sont élevées, les variations en pourcentage permettent de ne considérer que les variations relatives.*

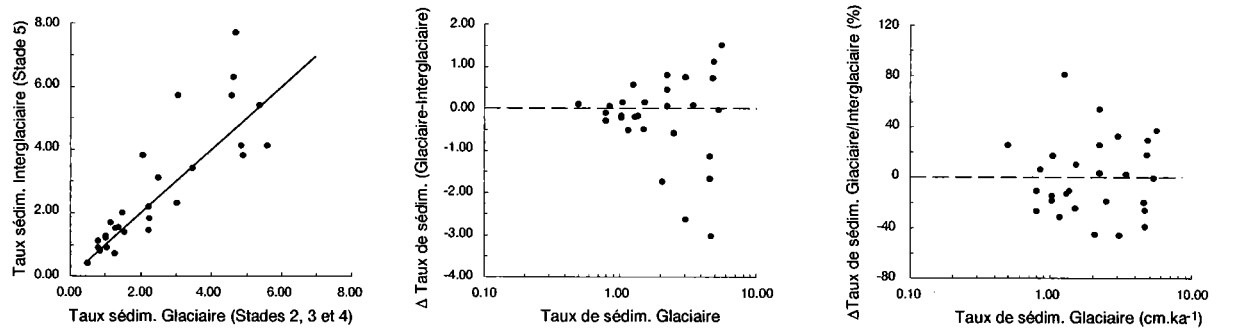


***Fig. II-51**: Comparaison des taux de sédimentation entre l'époque Glaciaire et l'époque Interglaciaire du dernier cycle climatique. Les taux tendent à être plus important durant l'Interglaciaire. On ne distingue pas de différence de tendance suivant que les taux sont forts ou faibles, comme on l'observe entre le stade 2 et le stade 1. Plus les taux sont forts plus les variations sont fortes. Plus un taux est élevé plus les variations sont élevées, les variations en pourcentage permettent de ne considérer que les variations relatives.*

Les forts taux enregistrés pour les carottes GEOFAR-KF21 et KS15, à environ 1100 mètres de profondeur sont atypiques pour un contexte hors axe et une si faible profondeur. Ces carottes se situent dans un corridor de 10 km de large et 1 km de profondeur. Le contexte morphologique est dans ce cas comparable aux failles transformantes de la dorsale. La carotte 92-KS10, à l'ouest de Faial montre un taux de 3 $cm.ka^{-1}$, supérieur aux taux moyens hors axe.

Les forts taux qui prévalent dans les zones de fracture traduisent le schéma de distribution hétérogène observé en surface (§ 1.). Dans l'hypothèse d'une productivité homogène en surface, l'hétérogénéité de la distribution et les forts taux de sédimentation associés mettent clairement en évidence la fonction de piège à sédiment joué par les bassins de la dorsale et l'importance des apports latéraux.

Stade 2 (<=> LGM) (Fig. II-47)

Les taux varient entre 0.40 $cm.ka^{-1}$ et 41.40 $cm.ka^{-1}$ avec une moyenne de 6.83 $cm.ka^{-1}$ et un écart-type de 10.48 $cm.ka^{-1}$. Le schéma de variation est sensiblement le même qu'au stade 1. La moyenne est la même, mais l'écart-type est beaucoup plus élevé, ce qui implique une plus grande variabilité. La tendance à l'association des forts taux avec les grandes profondeurs s'affirme et la distance aux îles ne joue encore aucun rôle (Fig. II-48 et II-49). Les taux enregistrés pour les faibles profondeurs tendant à être plus faibles qu'au stade 1 tandis que les taux enregistrés à grande profondeur tendent à être plus élevés (Fig. II-48). La distance aux îles ne contrôle pas les variations (Fig. II-49). D'une manière générale les forts taux sont plus forts que pour les stade 1, les taux intermédiaires sont plus faibles et les faibles taux ne varient pas (Fig. II-50). La constance des faibles taux est vraisemblablement à une résolution insuffisante pour déterminer des variations entre les 2 stades. La distance aux îles ne contrôle pas les variations entre les deux stades.

Variations spatio-temporelles (Fig. II-52 et II-53)

Les cartes de distribution des taux pour les stades 4, 5 et 6 ne sont pas comparables à celles des stades 1, 2 et 3, les points de contrôles utilisés sont moins nombreux car les carottes à forts taux de sédimentation n'atteignent pas ces stades. On constate cependant que le contraste axe-hors axe persiste. A proximité de Faial les taux sont supérieurs à la moyenne hors axe. Les graphes des variations temporelles en fonction de la Latitude, longitude et profondeur (Fig. II-53) sont fortement marqués par le contraste axe-hors axe qui masque les autres variations. On ne met pas en évidence de contraste entre les taux de sédimentation Glaciaires et les taux Interglaciaires (Fig. II-51). Les forts taux varient plus que les faibles taux, mais les variations relatives (en %) sont les mêmes (Fig. II-50), les taux ont le même comportement Glaciaire/Interglaciaire sur la totalité du plateau des Açores. Par comparaison entre le stade 2 et

le stade 1 les taux montrent une différence de comportement tant en absolu (cf. plus haut et Fig. II-50) qu'en relatif (Fig. II-50).

De 30 ka à l'actuel à haute résolution

Les forts taux de sédimentation observés dans les zones de fracture autorisent une étude plus détaillée des variations. Une stratigraphie isotopique et des datations ^{14}C réalisées sur les carottes 91-KS04, GEOFAR-KF09, KF13, KF16 [Richter, 1996], et sur la carotte MD95-2037 [Boelaert, In prep.] permettent une bonne estimation des taux de sédimentation avec une résolution atteignant jusqu'à 2 ka. Les taux sont fortement dépendant de l'échelle d'âge utilisée, et certaines fluctuations peuvent trouver leur origine dans la conversion des âges ^{14}C en âges calendaires [Richter, 1996]. Les fluctuation déterminées que par seulement deux points de contrôle doivent donc être interprétés avec prudence.

Les taux montrent un grande disparité tant dans l'espace que dans le temps (Fig. II-54). Les taux moyens pour les derniers 18 ka sont par ordre décroissant: 26.8 $cm.ka^{-1}$ (KF16), 25.8 $cm.ka^{-1}$ (MD-2037), 13.1 $cm.ka^{-1}$ (KF09), 11.8 $cm.ka^{-1}$ (KF13) et 9.2 $cm.ka^{-1}$ (91-KS04). En plus du contraste axe-hors axe on constate donc qu'il existe également des contrastes à l'intérieur des failles transformantes. Les carottes KF16 et 91-KS04 situées dans le même bassin (à 38°N, respectivement au centre et à l'extrémité) montrent variation d'un facteur 2.9 du centre à la périphérie. Les carottes KF09 et MD-2037 situées dans un même bassin (à 37°N, respectivement vers le centre et à l'extrémité est) montrent un taux supérieur d'un facteur 2 de l'extrémité au centre. Il semble que le facteur déterminant le taux de sédimentation en un point donné soit la pente locale car la carotte KF09 est localisée sur une pente supérieure à celle de MD-2037 et que la carottes 91-KS04 semble être sur une pente légèrement inférieur à celle de KF16. Chaque carotte montre un taux de sédimentation élevé durant la terminaison IA et le Younger Dryas (de 18.3 ka à 12.4 ka) puis un taux plus faible durant la terminaison IB et l'Holocène. Les carottes dont l'enregistrement s'étend à des âges plus anciens que 18.3 ka montrent que les forts taux existent déjà à partir de 22 ka (MD-2037) et 25.65 ka (KF09). Par contre KF13 montre un taux légèrement plus faible antérieurement à 18.3 ka (Tab. II-1) et chose importante, ce taux est remarquablement constant (5 points de contrôles) [Richter, 1996].

	Holocène-Terminaison IB	Younger Dryas-Terminaison IA	Ante LGM
KF16	20.2	40.7	
MD-2037	22.6	28.8	35.1
KF09	11.2	16.9	25.9
KF13	7.6	18.8	12.9

***Tab. II-1**: Taux de sédimentation ($cm.ka^{-1}$) à 3 époques, d'après les données de Richter [1996] et Boelaert [In prep.]*

Taux de sédimentation (cm/ ka)

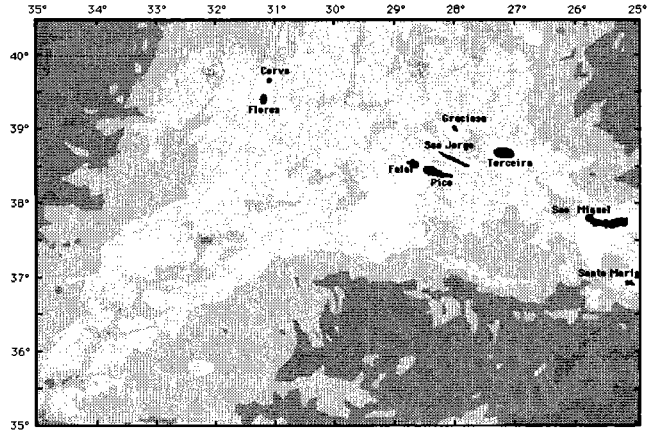
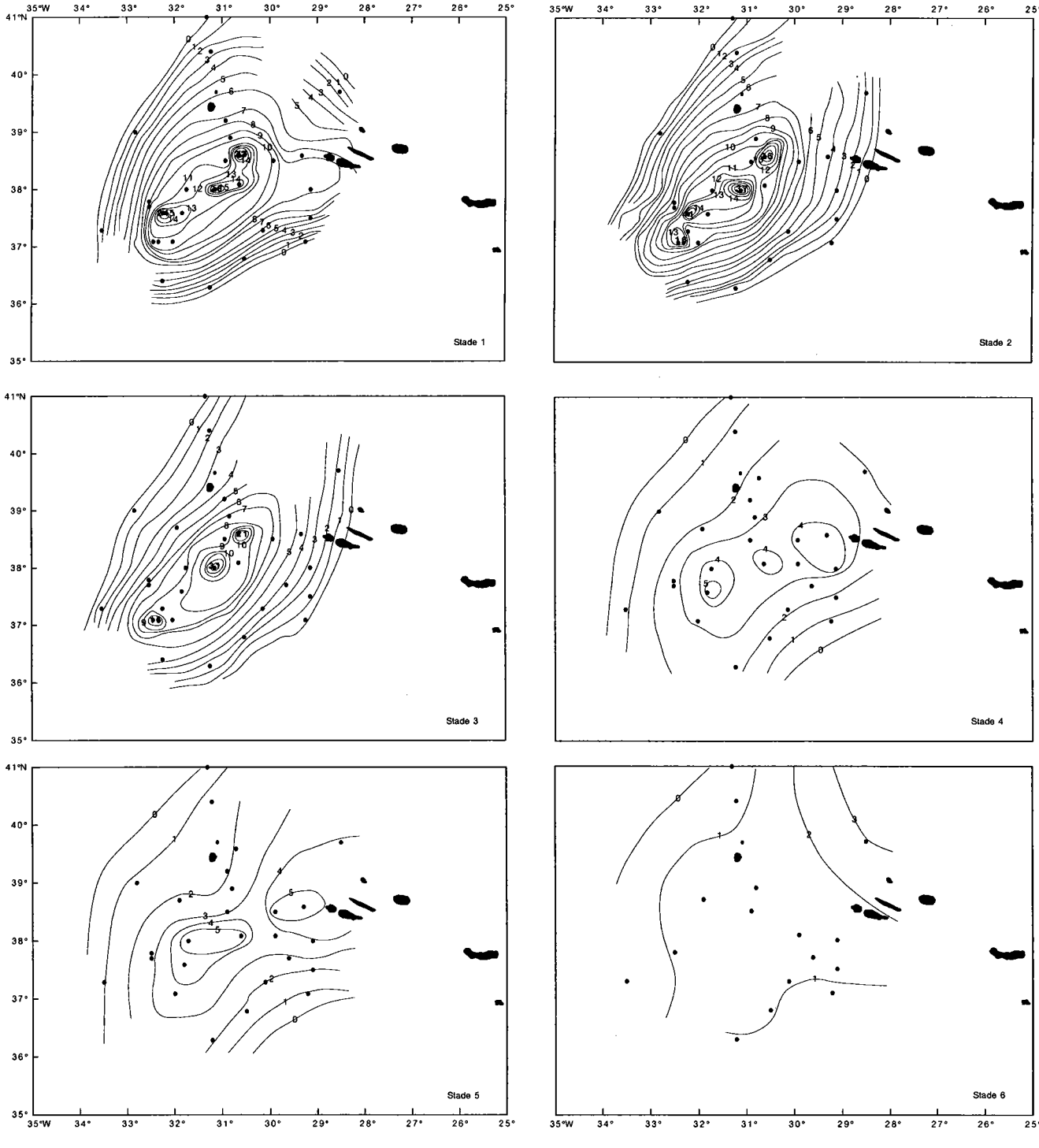


***Fig. II-52**: Taux de sédimentation pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique. Les taux faibles observés à partir du stade 4 sont liés au fait que les carottes à taux de sédimentation élevé et faible densité n'atteignent pas ces âges.*



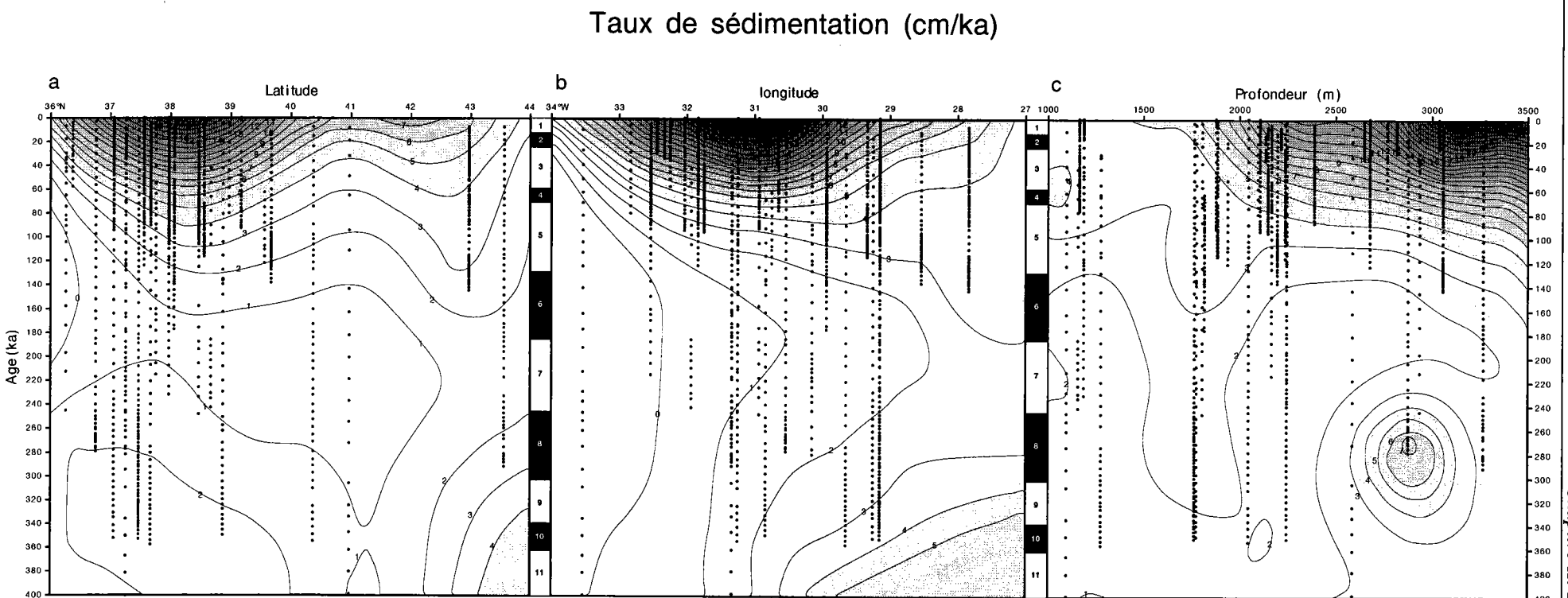


***Fig. II-53**: Variation des taux de sédimentations durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Les variations montrent peu de lien entre ces 3 paramètres car les forts taux enregistrés dans les failles transformantes masquent les faibles valeurs hors axe. De même les variations temporelles sont biaisées par le fait que les carottes à forts taux de sédimentation concernent des âges plus jeunes que les autres carottes. La baisse des taux observée pour les âges supérieurs à 100 ka est une conséquence de ce biais.*

La valeur des taux de sédimentation étant essentiellement liée à la morphologie locale, les fortes variations spatiales rendent plus difficile l'étude de leur variation temporelle et il serait agréable de déterminer un facteur permettant d'appréhender ces variations en s'affranchissant des disparités spatiales. Pour cela il est nécessaire d'examiner les variations relatives des taux de sédimentation. Les variations relatives s'expriment sous la forme d'un rapport entre le taux pour une période données et le taux de la période suivante, la période de calcul devant être constante. Cependant il est impossible de dégager de réelles similitudes de comportement dans les variations car les "ancres" datées, soit par stratigraphie isotopique, soit par ^{14}C, ont des positions stratigraphiques variables d'une carotte à l'autre. La solution consisterait à ne garder que les "ancres" communes à toute les carottes, mais dans ce cas il ne reste que 2 points ce qui ne permet pas de déterminer une tendance. La solution consiste à déterminer un "modèle" pour la relation "Niveau dans la carotte = f(Age)", c'est à dire indirectement un modèle de variation des taux de sédimentation. Ce "modèle" s'obtient en cherchant le meilleur ajustement "simple" et si possible commun aux 5 carottes des failles transformantes. Ce meilleur "modèle" commun est une équation du second degré qui donne des coefficients de corrélation supérieurs à 0.99 (Fig. II-55). Les coefficients des équations diffèrent d'une carotte à l'autre et reflètent les différences de taux liées à la morphologie locale (Fig. II-55). La dérivée des équations est une droite de la forme $f(x) = ax + b$ dont la pente (a) décrit la variation constante des taux de sédimentation et s'exprime en $cm.ka^{-2}$ et correspond à une accélération (ou décélération) des taux de sédimentation (Fig. II-56). x est l'âge en ka. Les équations ainsi déterminées sont (le signe positif correspond à une pente positive signifiant une augmentation des taux de l'actuel vers l'ancien):

GEOFAR-KF16:	$f(x) = 1.71x + 10.49$	(a = 1.71 $cm.ka^{-2}$, et b = 10.49)
MD-2037:	$f(x) = 1.42x + 7.37$	(a = 1.42 $cm.ka^{-2}$ et b = 7.37
GEOFAR-KF09:	$f(x) = 0.96x + 4.25$	(a = 0.96 $cm.ka^{-2}$ et b = 4.25)
GEOFAR-KF13:	$f(x) = 0.48x + 4.94$	(a = 0.48 $cm.ka^{-2}$ et b = 4.94)
91-KS04:	$f(x) = -0.09x + 10.42$	(a = -0.09 $cm.ka^{-2}$ et b = 10.42)

Cette dérivée permet ensuite de calculer les taux de sédimentation à un pas régulier de 1 ka (par exemple) puis de déterminer les variations relatives des taux en prenant de proche en proche le rapport du taux récent sur le taux ancien afin d'obtenir les variations relatives dans le sens stratigraphique (de l'ancien vers le récent)[2]. Les variations relatives nous affranchissent de la valeur des taux de sédimentation et montrent que les courbes correspondant aux carottes KF16, KF09 et MD-2037 sont quasiment superposées (Fig. II-57) ce résultat signifie que l'on observe une décroissance régionale des taux de sédimentation au niveau de la dorsale et que l'importance

---

[2] L'expression mathémathique de ce calcul est de la forme $f(x) = \frac{a(x-t)+b}{ax+b}$ ou bien encore $f(x) = 1 - \frac{at}{ax+b}$. Ceci implique que lorsque l'age (x) tend vers l'infini $f(x)$ tend vers 1 et lorsque l'âge est égal à zéro, $f(x)$ est égal à $1 - \frac{at}{b}$

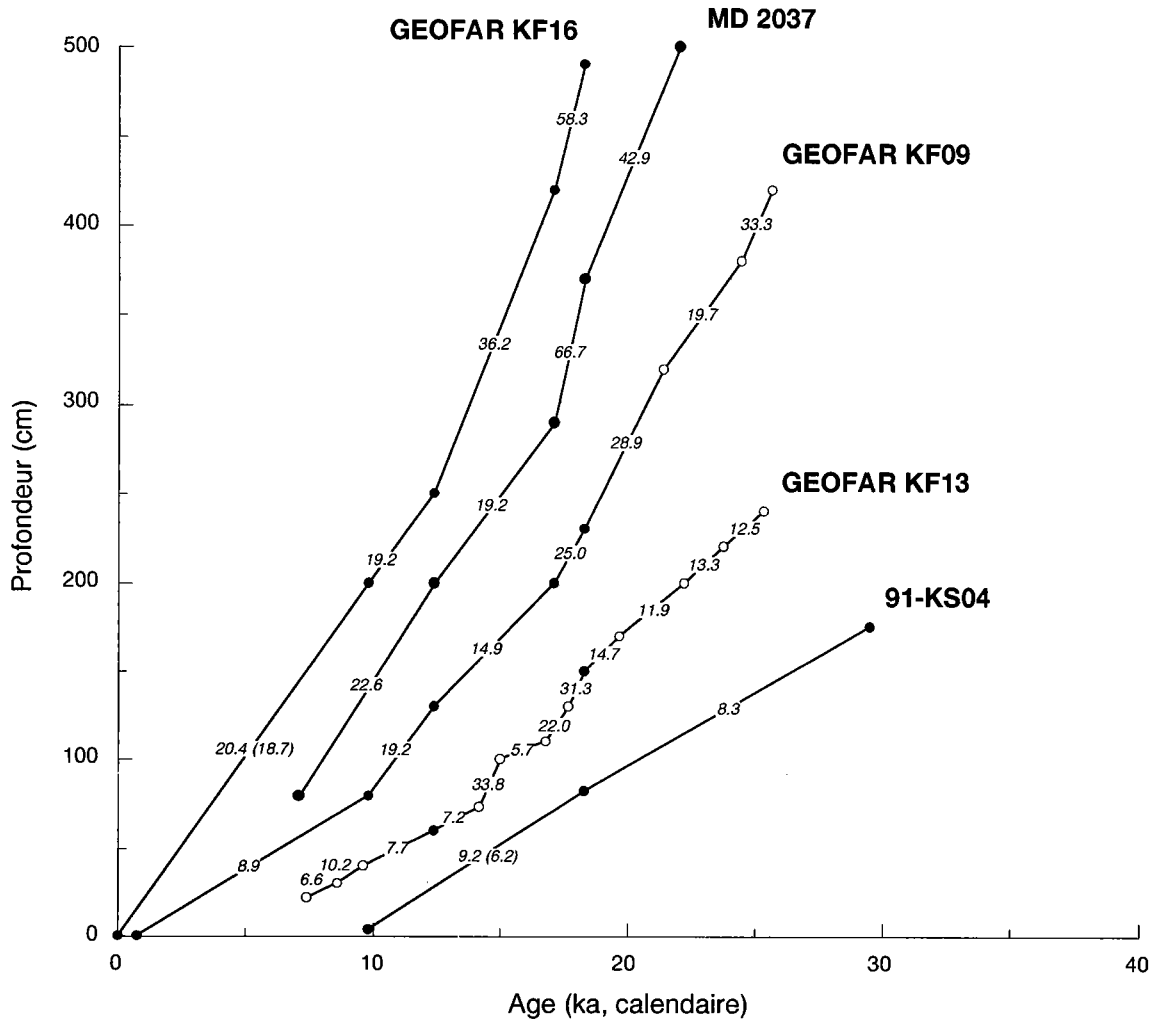
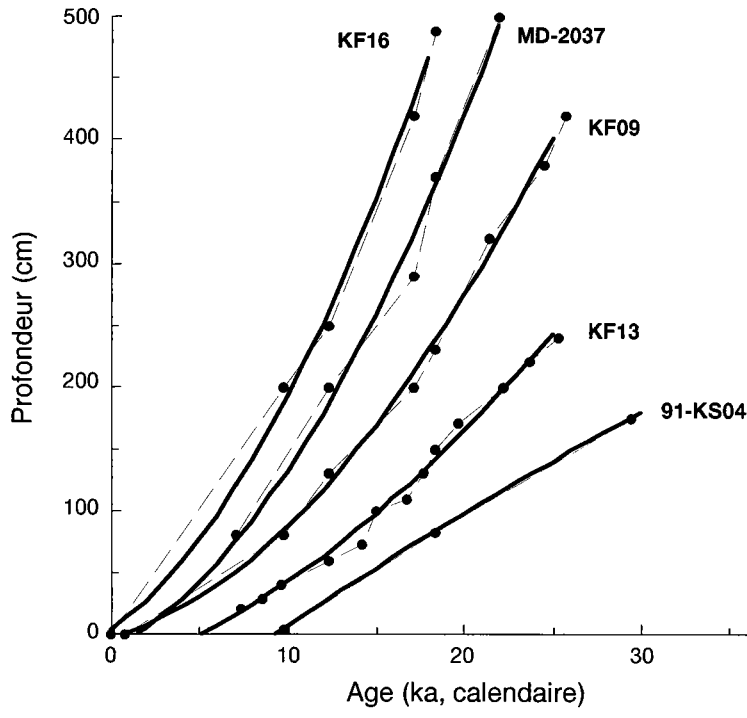


***Fig. II-54**: Taux de sédimentation pour les carottes des failles transformantes. La stratigraphie repose sur les isotopes de l'oxygène. Les cercles blancs indiquent les points pour lesquels il existe une datation ^{14}C. Les âges sont exprimés en ka calendaires. Origine des données: 91-KS04, GEOFAR-KF09-KF13-KF16 Richter [1996] et MD 2037 Boelaert [in prep.]. Les chiffres entre parenthèses indiquent les taux de sédimentation sans les dépôts gravitaires.*



91-KS04: (r=1.00)
Prof. = $-4.43*10^{-2}(Age)^2 + 10.42(Age) - 93.88$

KF13: (r=0.99)
Prof. = $0.24(Age)^2 + 4.94(Age) - 31.89$

KF09: (r=0.99)
Prof. = $0.48(Age)^2 + 4.25(Age) - 3.96$

MD-2037: (r=0.99)
Prof. = $0.71(Age)^2 + 7.37(Age) - 13.21$

KF16: (r=0.99)
Prof. = $0.85(Age)^2 + 10.49(Age) + 1.59$

***Fig. II-55**: La modélisation la plus simple correspond à un ajustement du second degré.*

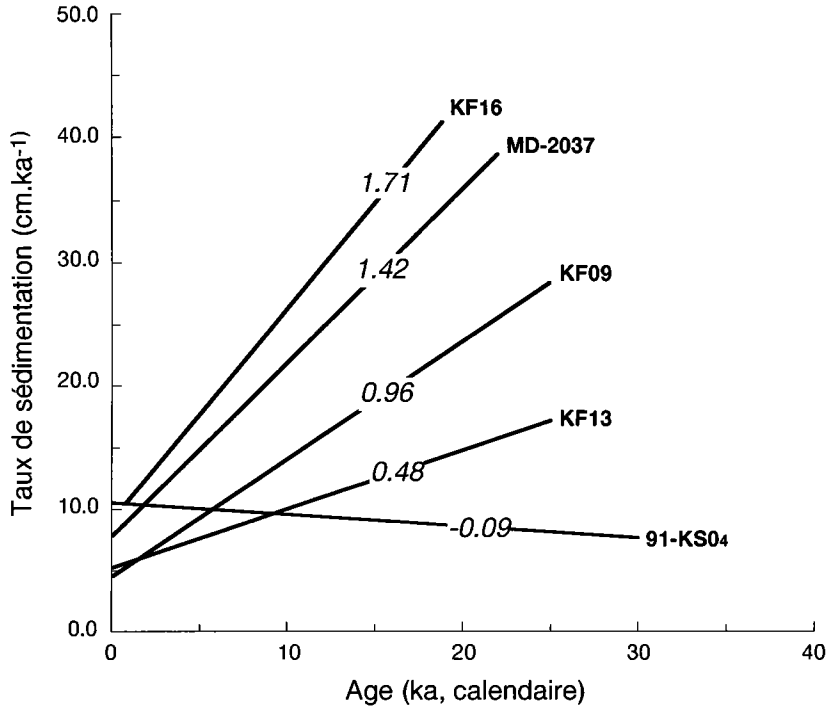


***Fig. II-56**: La modélisation permet d'obtenir la courbe des taux de sédimentation à l'aide de la dérivée des ajustements. Les taux de sédimentation augmentent de façon régulière, la pente donne le taux d'augmentation en cm.ka^{-2} (chiffre entre italique).*

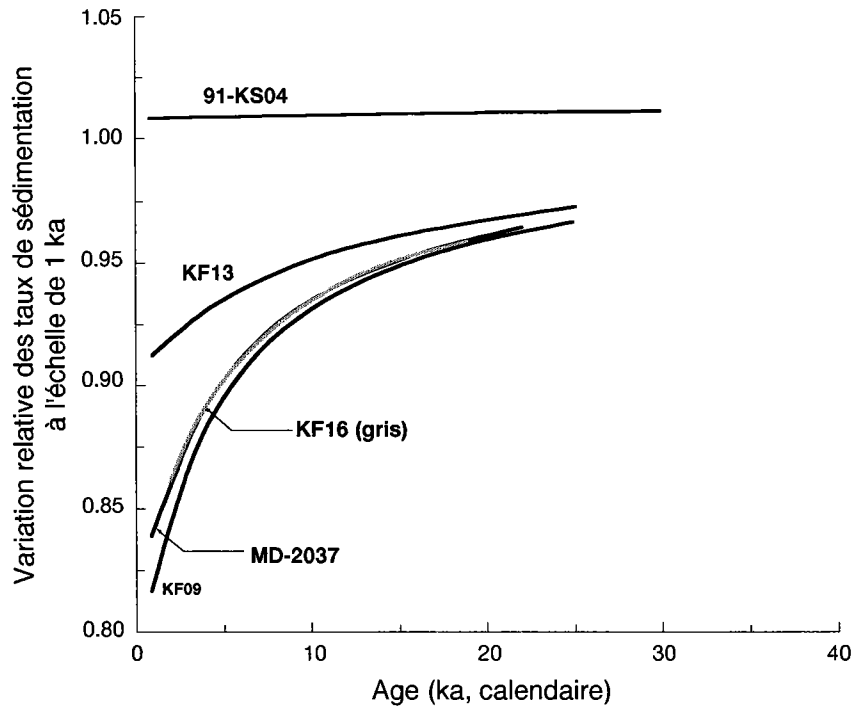


***Fig. II-57**: La variation relative des taux de sédimentation à l'échelle de 1 ka pour les 5 carottes. Cette façon d'exprimer les variations permet de s'affranchir des effets de la morphologie locale sur les taux de sédimentation. On constate ainsi que les carottes KF09, KF16 et MD-2037, bien qu'ayant des taux de sédimentation différents suivent la même tendance.*

de cette décroissance est liée à la morphologie du site. Par contre la décroissance exprimée en pourcentage du taux de sédimentation est la même d'un site à l'autre et permet de mettre en évidence que ces 3 sites ont enregistré le même phénomène d'augmentation des taux. La carotte KF13 montre une schéma de variation différent des trois autres carottes, la décroissance vers l'actuel est moins importante. Cette différence provient probablement du fait que l'ajustement obtenu pour KF13 est contraint par un nombre de datations nettement supérieur à celui des autres carottes. Cela permet de mettre en évidence la forte variabilité des taux entre 14.2 ka et 18.3 ka et notamment une forte augmentation entrecoupée d'une chute de 15 ka à 16.75 ka. [Richter, 1996] estime cependant que cette chute peut être un artefact lié à la conversion des âges ^{14}C en âges calendaires. La carotte KF13 montre néanmoins un taux de sédimentation moyen élevé de 14.2 ka à 18.3 ka (18.8 $cm.ka^{-1}$) et le taux le plus élevé de 17.1 ka à 18.3 ka (31.3 $cm.ka^{-1}$) est probablement réel (Fig. II-54). Le taux extrême observé au début de la déglaciation est nettement moins marqué dans les autres carottes que KF13, peut-être à cause de la plus faible densité des datations. La constance des taux de sédimentation entre 25.3 ka et 18.3 ka est une particularité qui se traduit par une différence entre les modèles. Une modélisation réalisée uniquement sur la période 0 ka-18.3 ka donne un résultat similaire, les différentes périodes de temps d'une carotte à l'autre ne gênent donc pas réellement la modélisation. La modélisation effectuée reste en accord avec l'observation des taux de sédimentation entre les points datés, qui montre des forts taux de 18.3 ka à 12.4 ka et des taux plus faible de 12.4 ka à l'actuel. Elle offre l'avantage de décrire le comportement des taux et d'obtenir un critère "visuel" pour déterminer la similitude de comportement des taux de sédimentation (Fig. II-57).

5. Synthèse litho-stratigraphique

Il est possible de déterminer 6 domaines sédimentologiques définis par un ou plusieurs des paramètres décrits plus haut. Ces domaines se distinguent essentiellement par le taux de sédimentation, la teneur en sables, la densité humide et la teneur en silice (Fig. II-58):

- *Axe de la dorsale et failles transformantes*
  - Forts taux de sédimentation (> 5 $cm.ka^{-1}$)
  - Faible densité
  - Faible teneur en sables
  - Forte teneur en silice biogène (spicules + plancton siliceux)
  - Teneur en CaCO3 moyenne (entre 75% et 85%)

- *Les monts sous marins à l'axe type Lucky Strike*
  - Faibles taux de sédimentation
  - Forte teneur en sables
  - Forte teneur en verre volcanique

Forte teneur en silice
Teneur en CaCO3 moyenne

• *Hors axe "faible profondeur" (profondeurs <1500 mètres:)*
Faibles taux de sédimentation
Forte teneur en sables
Forte densité
Forte teneur en CaCO3

• *Hors axe "profond" (profondeurs >1500 mètres)*
Taux de sédimentation moyens (entre 1 et 4 $cm.ka^{-1}$)
Teneur en sable moyenne
Densité variable
Teneur en CaCO3 variable

• *Ride sédimentaire de Faial*
Fort taux de sédimentation
Teneur en sable très variable
Densité moyenne
Teneur en CaCO3 généralement forte

• *La "zones à turbidites"*
accumulation de séries granoclassées
lithologie variable, de très carbonaté à riche en matériel volcanique

Il est possible de visualiser ces domaines sur les graphes Profondeur-Taux de sédimentation-Paramètre lithologique car la profondeur et le taux de sédimentation sont les facteurs qui déterminent le mieux les variations lithologiques (Fig. II-59). Les forts taux de sédimentation sont directement liés à la forte rugosité des fonds et se situent donc au niveau des bassins transformants de la dorsale. Ceux-ci agissent comme des pièges à sédiment et concentrent les particules en provenance des reliefs (cf. chapitre III). Les pentes supérieures à 10% (4.5°), à l'échelle de notre étude, peuvent être considérées comme dépourvues de sédiment. Les "forts" taux de sédimentation dans les bassins transformants peuvent être considérés comme proportionnels à la fréquence des pentes >10%. Le piégeage des sédiments agit préférentiellement sur les particules fines car les teneurs en sables sont plus faibles dans les bassins transformants. Les sédiments situés à une profondeur <1500 mètres montrent un déficit en particules fines, associé à de faibles taux de sédimentation (<1 $cm.ka^{-1}$). Ceci peut être interprété comme le résultat d'un vannage des particules fines à faible profondeur et est probablement à mettre en relation avec l'accumulation des particules fines dans les bassins

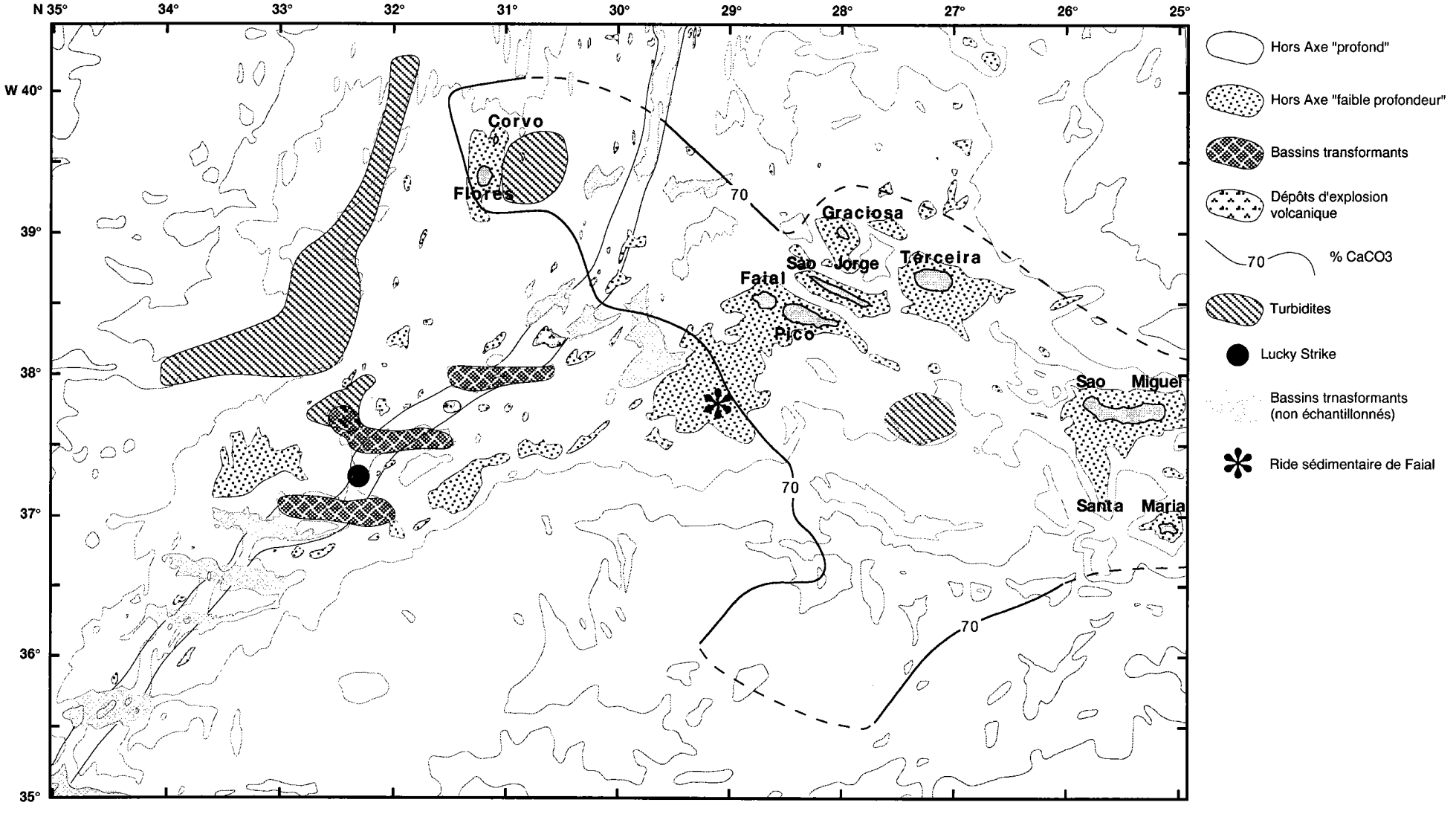


***Fig. II-58**: Faciès lithologiques sur le plateau des Açores. La morphologie, la présence des îles et de la dorsale sont les facteurs qui déterminent la lithologie du sédiment. L'influence des îles sur la teneur en carbonates (<70% en surface) se fait sentir sur environ 100 km au SW.*

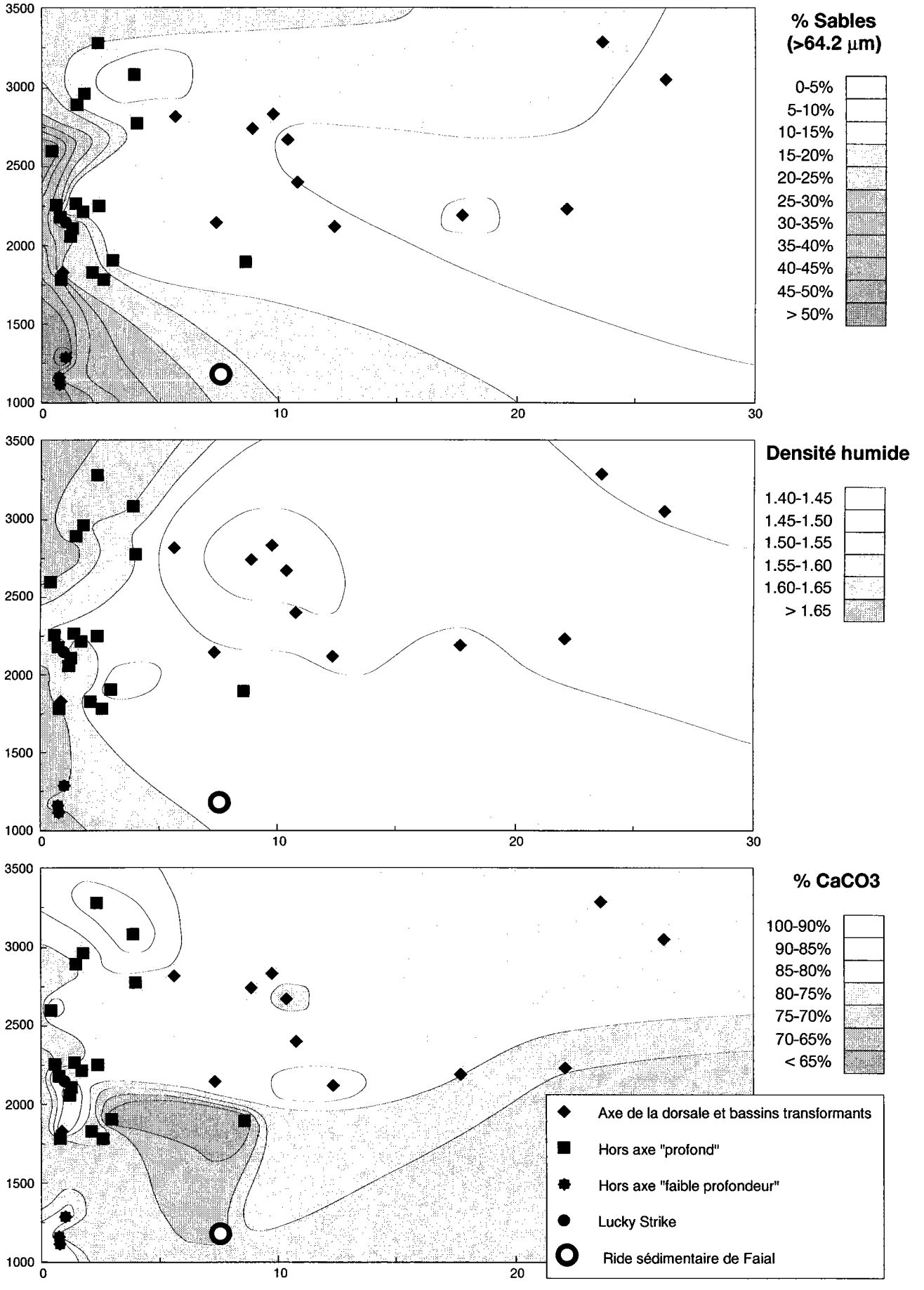


***Fig. II-59**: Variations de la teneur en sable, de la densité humide et de la teneur en carbonate en fonction de la profondeur d'eau et des taux de sédimentation. Cinq domaines sédimentaires se détachent. Le facteur discriminant le plus important est le taux de sédimentation suivi de la densité humide et de la teneur en sables. Les deux grandes provinces à distinguer sont les failles transformantes, plateau hors axe "grande profondeur" et "faible profondeur", Lucky Strike et la ride sédimentaire de Faial.*

transformants (cf. chapitre IV). Les faibles taux de sédimentation tendent à être associés aux plus fortes densités tandis que les forts taux sont associés aux faibles densités.

Au delà de ces traits dominants, liés à morphologie du fond, viennent se superposer les caractéristiques liées à la proximité des îles et à la nature volcano-magmatique de la dorsale. On constate que les teneurs en verre volcanique et en feldspaths se rencontrent essentiellement près des îles et au niveau de la dorsale. Les teneurs en verre et en feldspath ont néanmoins une faible covariance qui peut s'expliquer par des vecteurs différents pour leur mise en place. Les verres volcaniques sont un produit du volcanisme explosif et on remarque une plus grande variabilité de leurs teneurs (fortes à proximité de Menez Gwen, Lucky Strike et de Faial). Par contre les feldspaths peuvent être considérés comme un produit de l'érosion des dépôts volcaniques, apportés par les vents et les courants. Les fortes teneurs sont moins variables et les maxima se rencontrent près de l'archipel et au niveau de la dorsale. Les teneurs en feldspath sont nettement supérieures aux teneurs en verre volcanique et sont suffisamment fortes pour diluer les carbonates à proximité des îles. Ce phénomène de dilution ne se traduit néanmoins pas par des taux de sédimentation plus élevés. Les teneurs en spicules et en plancton siliceux covarient, et d'une manière générale les teneurs en silice biogène montrent une bonne covariance avec la teneur en verre volcanique. Cette relation peut être vue comme une plus forte productivité siliceuse localement liée à l'apport de silice dans l'eau par le biais de l'érosion des îles où des éruptions volcaniques. D'autres facteurs comme le vannage peuvent tendre à augmenter les teneurs en silice et verre volcanique car ces particules peuvent être sableuses. Ces variations seront discutées plus amplement dans le chapitre III.

L'observation des frottis montre l'absence de quartz dans la fraction >6.3 µm au sud de 42°N et la diffraction X [Grousset *et al.*, 1994] ne montre que des traces dans la fraction <63 µm. [Richter, 1996] mentionne également la présence de quartz, sans la quantifier. L'essentiel de la phase non carbonatée est représentée par les phases amorphes [Grousset *et al.*, 1994] composées de spicules de spongiaires, de plancton siliceux et de verre volcanique.

Ces domaines lithostratigraphiques montrent une certaine variabilité temporelle. Une première conclusion est que localement les même caractéristiques sédimentologiques persistent au cours du temps. Les variations temporelles sont relativement faibles et ne bouleversent pas la dynamique sédimentaire du plateau des Açores. Ces variations sont conditionnées par les variations climatiques. La faible résolution de la plupart de nos carottes ne permet de mettre en évidence que les variations Glaciaire/Interglaciaire (cycle de 100 ka). Les tendances observées sont, durant le Glaciaire:

- Une baisse de la teneur en carbonates (10%), caractéristique de l'océan Atlantique [Kenneth, 1982]

- Une hausse de la teneur en sables pour les profondeurs <1500 mètres et une baisse dans les bassins transformants
- Une hausse de la teneur en plancton siliceux correspondant à la présence de diatomées (1%)
- Une hausse de la teneur en spicules (2%)
- Une hausse de la teneur en feldspaths (5%)
- Une hausse de la teneur en verre volcanique (1%).

Le plus grand changement est la diminution de 50% des taux de sédimentation du stade 1 par rapport au stade 2 dans les bassins transformants. Richter [1996] signale que les forts taux Glaciaires se situent surtout durant la déglaciation et atteignent jusqu'à 58.6 $cm.ka^{-1}$ entre 18.3 et 17.1 ka, dans la carotte GEOFAR-KF16 (zone de fracture de 38°N), pour chuter à 18.7 $cm.ka^{-1}$ à l'Holocène.

6. Situation dans l'océan Atlantique

Les lithologies sont conditionnées par la proximité des îles, la présence de la dorsale et la morphologie du plancher océanique. L'importance de la morphologie a déjà été mentionnée pour la dorsale Médio-Atlantique entre 43°N et 56°N sur les zones de Chaucer-Faraday et de sud-Reykjanes-Charlie Gibbs [Faugères *et al.*, 1982; Grousset *et al.*, 1981]. Les teneurs en carbonates en surface y sont en moyenne nettement plus élevées que partout ailleurs dans l'Atlantique, à l'exception de l'Atlantique sud [Biscaye *et al.*, 1976]. Néanmoins la zone de Chaucer, à 43°N, montre des teneurs similaires (entre 70% et 90%) [Grousset *et al.*, 1981], la faible profondeur d'eau (entre 2000 et 3000 mètres) en est la raison principale. Au Glaciaire les teneurs Açoriennes affichent une stabilité relative (baisse de 10% environ) tandis les teneurs au nord de 42°N baissent de 30 à 40% [Grousset *et al.*, 1981], voir même 60% [van Kreveld-Alfane, 1996], (cf. § 2.2.1.). Les fortes teneurs en carbonate sont attribuables à l'absence de dissolution en raison des faibles profondeur [Biscaye *et al.*, 1976] et à l'éloignement des sources continentales. La faible baisse Glaciaire est due à la localisation du plateau au sud de l'extension maximale du front polaire et de la zone de délestage des icebergs. La dorsale du plateau des Açores se caractérise par des teneurs en carbonate légèrement plus faibles (5%) que pour le plateau *s.s.*. Cette tendance non visible sur la ride entre 43°N et 56°N [Grousset *et al.*, 1981], tient probablement au fait que les teneurs y sont trop faibles pour y percevoir une influence de la dorsale.

Les faibles teneurs en quartz (2% maximum dans la phase décarbonatées [Grousset *et al.*, 1994]) tant en surface que durant le Glaciaire s'accordent avec l'observation à l'échelle de l'Atlantique [Kolla *et al.*, 1979]. Ces auteurs notent des teneurs <5% dans la phase non-carbonatée, sans en préciser la valeur. Durant le LGM les teneurs restent similaires. L'origine du quartz açorien, à l'époque actuelle ne peut être qu'éolienne, or le plateau des Açores se situe

loin des sources (continents, et Sahara en particulier) et en dehors des vents dominants (alizés) susceptibles d'acheminer du quartz de façon significative. Durant le LGM le plateau des Açores se situe au sud d'une zone de forts enrichissement en quartz (45°N) [Kolla *et al.*, 1979]. Cette limite (42°N dans notre étude) marque la limite d'extension des icebergs et des délestages associés, dont le quartz. Le magmatisme açorien étant dépourvu de quartz (dorsale, type MORB et îles, constitué essentiellement des basaltes riches en potassium, In: Richter [1996]), le plateau des Açores est en permanence hors apports significatifs en quartz, tant éoliens que par vêlage.

Les taux de sédimentations du stade 1 (≈ Holocène) sont remarquablement similaires à ceux calculés par Grousset [1981] entre 43°N et 46°N pour la même époque. Les points communs remarquables sont les taux inférieurs à 5 $cm.ka^{-1}$ hors axe et supérieurs à 5 $cm.ka^{-1}$ à l'axe. Au nord de 53°N (la zone de fracture Charlie Gibbs) les taux deviennent systématiquement supérieurs 5 $cm.ka^{-1}$ et augmentent progressivement vers le nord [Grousset *et al.*, 1981]. Ces auteurs ne décrivent pas les taux extrêmes (jusqu'à 26 $cm.ka^{-1}$) observés dans les bassins transformants, ni les taux très faibles (<1$cm.ka^{-1}$) observés à des profondeurs inférieures à 2000 mètres. Ils montrent un changement radical de la distribution des taux au glaciaire et n'observent plus le contraste axe-hors axe à cette époque, les taux varient alors latitudinalement du nord vers le sud de 10 à 3.5 $cm.ka^{-1}$. Sur le plateau des Açores le schéma de variation des taux sédimentation est au contraire constant du stade 2 au stade 1. Les taux ne changent pas fondamentalement hors axe mais sont multipliés par 1.5 à 2 pour atteindre jusqu'à 41 $cm.ka^{-1}$ dans les bassins transformants. Ce contraste glaciaire extrême n'est pas décrit par [Grousset *et al.*, 1981]. [Van Andel & Komar, 1969] mentionnent bien de fortes accumulation dans les bassins de la dorsale vers 22°N, mais ils ne donnent pas de taux de sédimentation.

7. Relation entre la texture et la composition du sédiment

Nous avons montré que le sédiment peut-être décomposé en diverses composantes. Chacune de ces composantes se cantonne dans quelques classes de tailles qui peuvent être approximativement déterminées (Fig. II-60). La distribution granulométrique d'un sédiment est la somme des courbes élémentaires propres à chaque composante et il serait satisfaisant de pouvoir déconvoluer une distribution granulométrique en ses courbes élémentaires. On pourrait notamment en tirer des conclusions sur la nature et l'abondance des composantes. La difficulté dans cette opération est le nombre élevé de composantes (11 déterminées sur le plateau des Açores) et que ces composantes occupent généralement plusieurs classes de tailles. Nous disposons dans ce cas de 11 inconnues "de nature" (les proportions de chacune des composantes) et d'une centaine d'inconnues "granulométriques" (les classes granulométriques propres à chacune des composantes). La distribution granulométrique de chaque composante peut être simplifiée en une courbe gaussienne qui peut être décrite par 2 ou 3 paramètres: la classe dominante, l'écart-type pour décrire l'étalement de la courbe, et éventuellement un

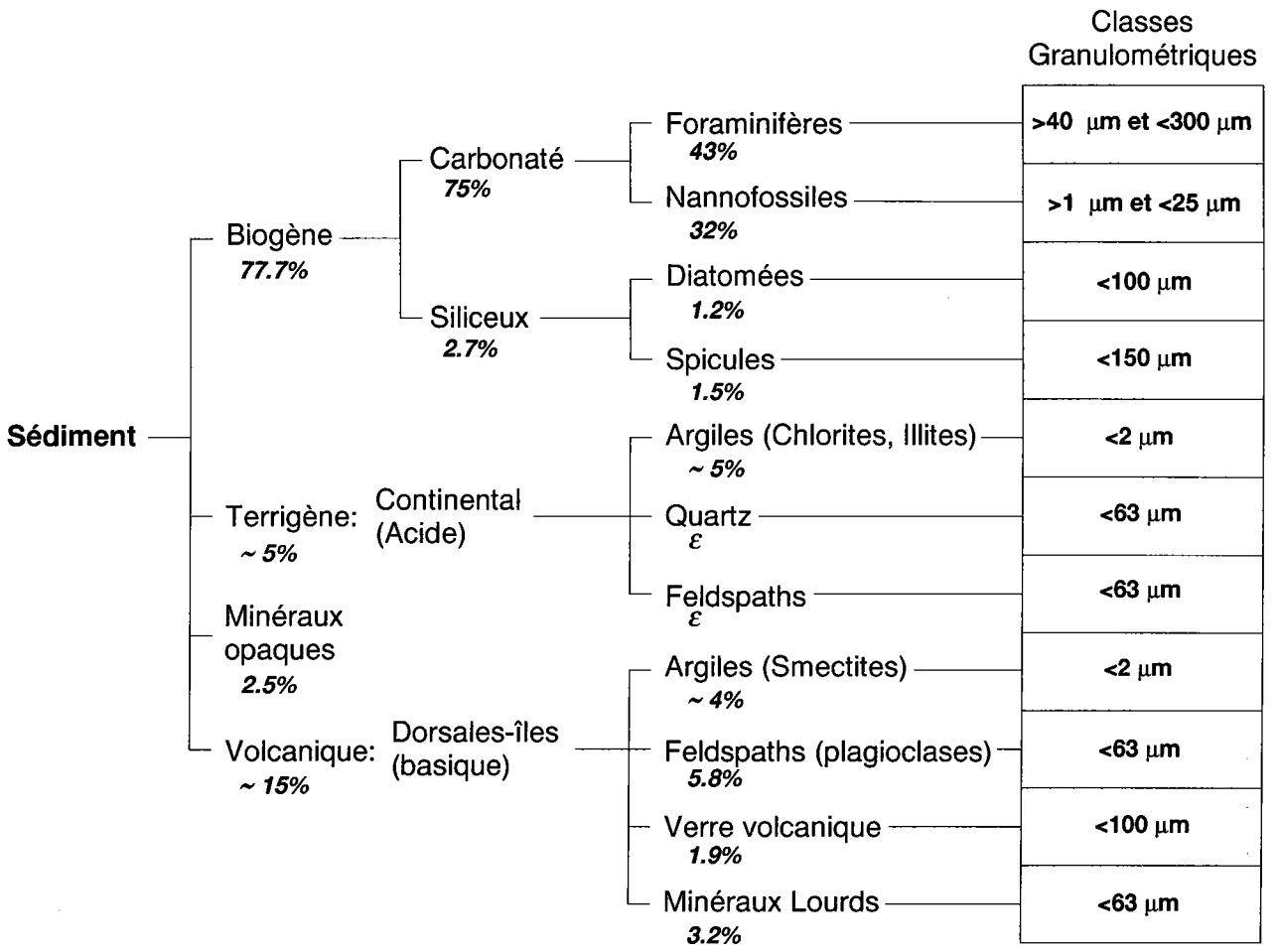


***Fig. II-60**: Composition moyenne du sédiment sur le plateau des Açores et la gamme de classes granulométriques couvertes par chaque composant.*

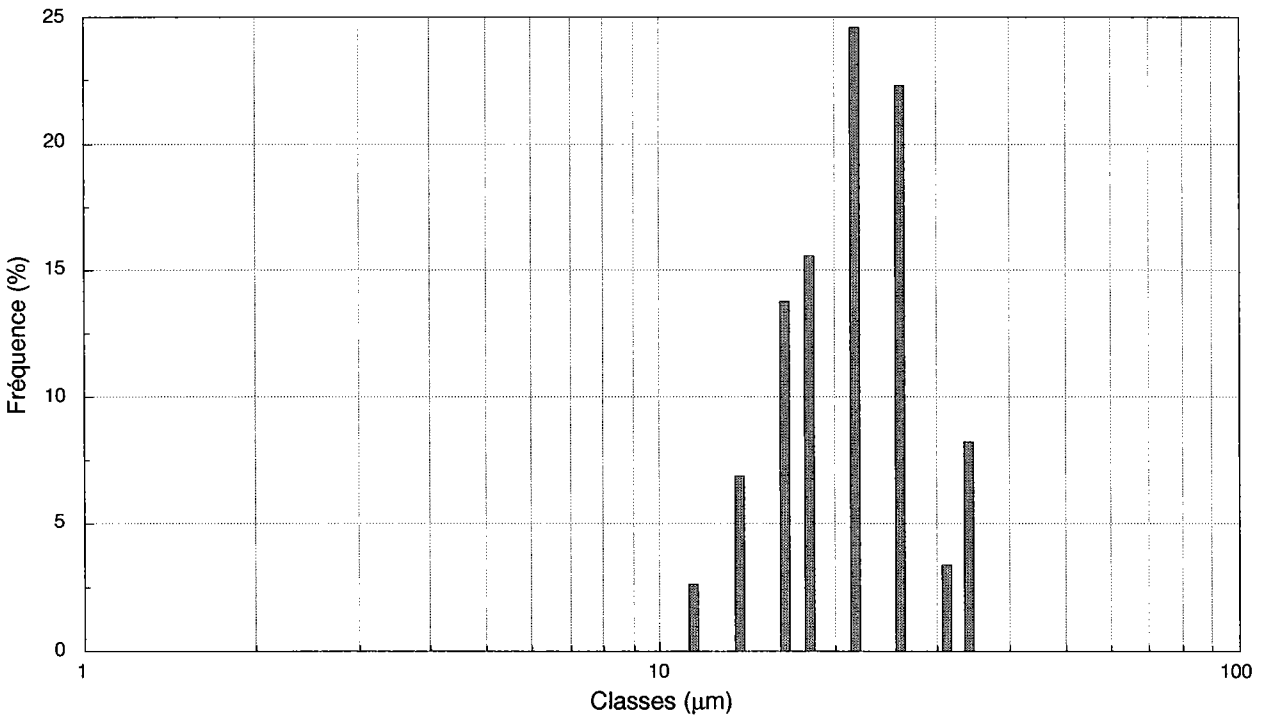


***Fig. II-61**: Fréquence des modes dans la phase résiduelle du sédiment pélagique des carottes GEOFAR-KF21 et KS15. Le mode est généralement compris entre 21.52 µm et 25.82 µm. La phase résiduelle contient la composante terrigène (argiles), volcanique (argiles, feldspaths, verre et minéraux lourds) et la composante biogène siliceuse (spicules et diatomées).*

coefficient d'asymétrie. Le nombre d'inconnues "granulométriques" est dans ce cas réduit à 3 par composantes. Néanmoins le nombre possible de combinaison des courbes élémentaires est élevé car les composantes ont un "recouvrement granulométrique" important.

Nous allons cependant essayer d'interpréter la signature texturale du sédiment en le déconvoluant à l'aide de statistiques sur les modes, puis en construisant une courbe granulométrique synthétique. Cette opération qui semble "tourner en rond" a pour but d'expliquer l'origine de la forme des courbes granulométriques et de montrer par le calcul qu'elles correspondent réellement à la somme d'une multitude de petites gaussiennes.

Statistiques sur les modes

Les modes d'une distribution granulométrique sont les maxima de la courbe. Leur nombre peut varier mais généralement seuls les 3 premiers sont significatifs. Une courbe granulométrique "simple" ne comporte qu'un seul mode, mais dans la région des Açores la quantité et la complexité des sources abouti généralement au moins à 3 modes. Cette complexité est liée à la source biogène carbonatée qui se décompose en foraminifères et nannofossiles. Ces derniers se décomposent eux-mêmes en plusieurs espèces dont les caractéristiques granulométriques sont voisines (Fig. II-60). Les proportions des composants des sédiments pélagiques varient dans le temps et l'espace. Les variations spatiales ont leur origine dans les processus sédimentaires eux mêmes liés à la morphologie du fond (pièges à sédiment sur la dorsale), la profondeur (vannage des sédiments les moins profonds) et à l'instabilité des sédiments (dépôts gravitaires). Les variations temporelles sont également liées aux processus sédimentaires (apparition d'un vannage à certaines époques), mais surtout aux changements de productivité et à la variabilité des associations des espèces, et à la variabilité des apports terrigènes. La signature texturale des dépôts gravitaires et du sédiment vanné est donc déterminée par un processus et non par la source, pour cette raison ils ne peuvent être pris en compte dans des statistiques dont le but est de relier la signature texturale du sédiment à ses composantes pélagiques élémentaires. L'hypothèse sera faite que la signature texturale d'une composante élémentaire est constante et que seule l'abondance relative des composantes varie.

Pour chaque échantillon pélagique (environ 700 au total) nous avons déterminé la valeur et le pourcentage des 3 premiers modes, puis nous avons sommés classe à classe les pourcentages des modes, et enfin ramené à 100% pour obtenir la fréquence des classes. Nous disposons grâce à cette opération un histogramme de l'abondance relative des modes dans la région des Açores entre 43°N-35°N et 35°W-25°W, ce pour une période de temps comprise entre 0 et 350 ka. Chaque échantillon possède le même poids et aucune correction liée à l'âge ou la position géographique n'a été faite. Il en résulte une certaine hétérogénéité spatio-temporelle car le pas moyen d'échantillonnage des carottes est approximativement de 10 cm. Les zones à forte

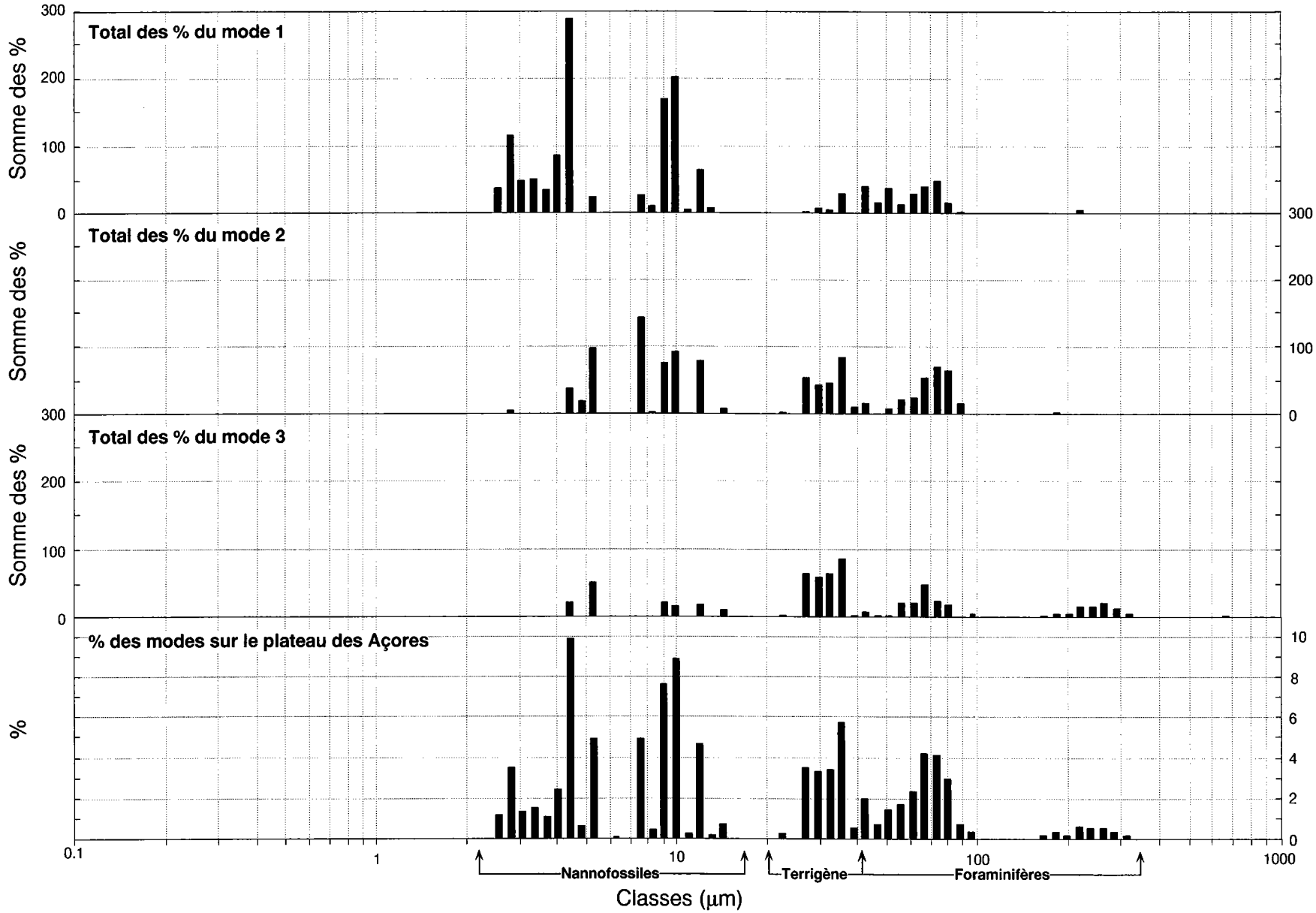


Fig. II-62: Statistiques sur les modes des courbes granulométriques du sédiment du plateau des Açores. Les modes correspondent aux classes majoritaires, la fréquence des modes montre une distribution centrée sur quelques classes. Ces classes correspondent aux composants élémentaires du sédiment: foraminifères, nannofossiles (plusieurs espèces) et apports terrigènes.

densité de carottage ou contenant une carotte longue sont en conséquence mieux représentées. De même les sédiments récents sont mieux représentés que les sédiments anciens.

Les statistiques (Fig. II-61 et II-62) montrent que les modes les plus fréquents se situent à 2.90 µm, 4.18 µm, 8.66-9.49 µm, 33.94 µm, 64.19-70.31 µm et 209.60-251.50 µm. Ces pics de fréquence peuvent être identifié d'après la Figure II-60. Ils correspondent aux nannofossiles (2.90 µm, 4.18 µm et 8.66-9.49 µm), à la phase terrigène (33.94 µm) et aux foraminifères (64.19-70.31 µm et 209.60-251.50 µm). Les statistiques effectuées sur les distributions granulométriques de la phase non carbonatée montre que les modes les plus fréquents se situent à 21.52 µm et 25.82 µm (Fig. II-61). Ces classes bien qu'importantes dans les statistiques sur le sédiment total le sont moins que la classe 33.94 µm. Cette dernière peut donc être considérée comme représentative de la phase terrigène car les statistiques sur la phase résiduelle ne sont réalisées que sur 18 échantillons.

Nous avons également calculé l'abondance moyenne relative des espèces de nannofossiles d'après les estimations de Müller [1991; 1992; 1994; 1995] sur la totalité du sédiment pélagique (498 échantillons) (Tab. II-2). Nous avons ensuite déterminé la taille caractéristique des espèces à l'aide des travaux de Bréheret [1977], la taille choisie correspond à la moyenne arithmétique entre la taille la plus petite et la taille la plus grande pour chaque espèce (Tab. II-2). Si on compare ces valeurs aux abondances moyennes des espèces de nannofossiles sur la totalité des sédiments pélagiques, en fonction de la taille moyenne de chaque espèce on constate une bonne correspondance entre les modes les plus fréquents et les espèces de nannofossiles les plus abondantes (Fig. II-63). On peut ainsi postuler que les modes à 2.90 µm ont pour origine *Gephyrocapsa ericsonii*, que les modes à 5.02 µm ont pour origine *Gephyrocapsa oceanica*, *Umbilicosphaera mirabilis* et *Rhabdosphaera clavigera* et que les modes à 9.49 µm ont pour origine *Helicosphaera carteri* et *Cyclococcolithus leptorus A*. La correspondance n'est cependant pas très bonne pour les modes à 4.18 µm, mais il est possible que l'abondance de l'espèce à l'origine du mode n'est pas été estimée, ou bien encore qu'il n'y ait réellement pas d'espèce de cette taille moyenne, mais que le mode déterminé par le microgranulomètre corresponde au chevauchement de la distribution des espèces *Gephyrocapsa oceanica*, *Umbilicosphaera mirabilis* et *Rhabdosphaera clavigera*, d'une part et des espèces *Gephyrocapsa sp. B* et *Gephyrocapsa sp. A*, d'autre part. Un tel mode "virtuel" peut apparaître si deux "stocks" à distribution gaussienne sont suffisamment proches. Si on simule la situation observée par l'abondance des nannofossiles par le mélange d'un stock centré à 3.48 µm et d'un autre stock, deux fois plus important, centré à 5.02 µm, et tout deux affecté d'un écart-type égal à 50% de la valeur de la classe centrale (c'est à dire respectivement 1.74 µm et 2.56 µm), on obtient un courbe granulométrique quasi-gaussienne dont le mode est à 4.18 µm (Fig. II-64).

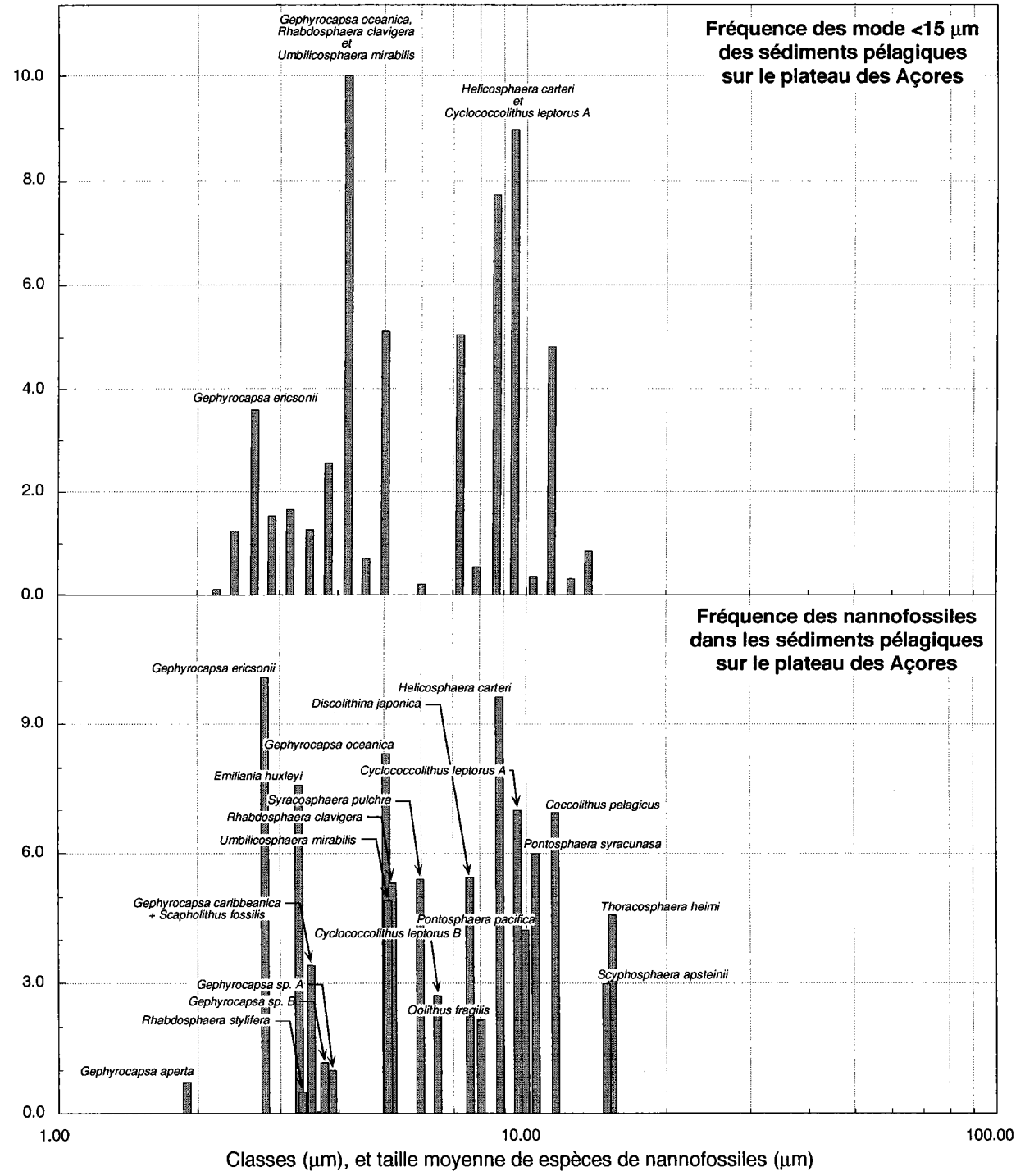


***Fig. II-63**: Comparaison entre les modes les plus fréquents <15 µm des sédiments pélagiques, et l'abondance relative des espèces de nannofossiles en fonction de la taille moyenne de l'espèce, d'après Müller [1991; 1992; 1993; 1994]. Seuls les sédiments pélagiques non perturbés par des processus gravitaires ou de vannage ont été pris en compte. On remarque une bonne correspondance qui permet d'identifier les espèces de nannofossiles responsables des modes principaux visibles sur les courbes granulométriques.*

Genre et *espèce* des nannofossiles	Taille (µm)	%
Gephyrocapsa *aperta*	1.90	0.72
Gephyrocapsa *ericsonii*	**2.80**	**10.06**
Emiliania *huxleyi*	3.30	7.54
Rhabdosphaera *stylifera*	3.35	0.45
Gephyrocapsa *caribbeanica*	3.50	1.28
Scapholithus *fossilis*	3.50	2.13
Pseudoemiliania *lacunosa*	3.65	0.05
Gephyrocapsa *sp. B*	3.75	1.17
Gephyrocapsa *sp. A*	3.90	0.95
Gephyrocapsa *oceanica*	**5.05**	**8.35**
Umbilicosphaera *mirabilis*	**5.10**	**4.89**
Rhabdosphaera *clavigera*	**5.20**	**5.33**
Syracosphaera *pulchra*	5.95	5.41
Cyclococcolithus *leptorus B*	6.45	2.70
Discolithina *japonica*	7.60	5.43
Oolithus *fragilis*	8.00	2.16
Helicosphaera *carteri*	**8.70**	**9.62**
Cyclococcolithus *leptorus A*	**9.60**	**7.02**
Pontosphaera *pacifica*	9.95	4.22
Pontosphaera *syracunasa*	10.50	6.01
Coccolithus *pelagicus*	11.60	6.94
Scyphosphaera *apsteinii*	14.85	2.99
Thoracosphaera *heimi*	15.30	4.58

***Tab. II-2**: Taille et abondance relative des espèces de nannofossiles dans le sédiment pélagique du plateau des Açores. Les tailles sont d'après Bréheret [1977], et les abondances d'après Müller [1991; 1992; 1994; 1995]. Les espèces correspondant aux modes les plus fréquents sur les courbes granulométriques sont indiquées en gras.*

Modélisation d'une courbe granulométrique

Il est possible de reconstruire une distribution granulométrique en modélisant la distribution des composantes élémentaires et en sommant les courbes élémentaires ainsi obtenues (cf. § plus haut). Les courbes élémentaires peuvent être considérées comme des courbes gaussiennes symétriques centrées sur la taille moyenne du composant élémentaire. Une première option est posée: faut-il choisir une distribution gaussienne linéaire ou logarithmique, en d'autre termes la distribution doit elle être symétrique ou non en échelle des tailles logarithmique? Les distributions en échelle linéaire des tailles des espèces de nannofossiles déterminées par Bréheret [1977] au MEB montrent plutôt une distribution symétrique (en échelle linéaire), mais elles sont parfois asymétrique avec une queue dans les fines ou dans les grossiers. Néanmoins la franche asymétrie (avec une queue dans les grossiers) que donne d'une distribution gaussienne logarithmique transposée en échelle linéaire n'apparaît jamais. La transposition d'une distribution gaussienne linéaire sur une échelle logarithmique abouti à une queue importante dans les fines, or les courbes granulométriques acquises tracées en échelle logarithmique montrent plutôt des courbes symétriques. Le choix n'est pas aisé mais n'est pas en fait primordial à la compréhension et nous testerons les deux possibilités. Une distribution

gaussienne symétrique en échelle linéaire s'exprime par la loi normale centrée (1) tandis que la gaussienne symétrique en échelle logarithmique s'exprime par la loi log-normale (Fig. II-64):

$$y = y_a * \mathrm{Exp}\left[-\left(\frac{(x-x_a)}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1)$$

$$y = y_a * \mathrm{Exp}\left[-\left(\frac{(\log(x) - \log(x_a))}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2)$$

avec:

x_a: la moyenne, correspondant à la classe sur laquelle est centrée le composant considéré
y_a: la fréquence correspondant à la moyenne
σ: l'écart-type

La reconstitution de la distribution granulométrique se fait en utilisant l'abondance relative des modes pour le sédiment pélagique (Fig. II-62) et en affectant à chaque mode une distribution gaussienne dont la moyenne x_a est la valeur du mode et dont y_a est l'abondance relative du mode. Il est également nécessaire que chaque gaussienne élémentaire ait "visuellement" les mêmes proportions, comme la moyenne diffère d'une courbe à l'autre l'écart-type doit également varier et doit être normalisé à la moyenne. Pour la loi normale centrée (1) les proportions "visuelles" seront conservées en ayant un écart-type proportionnel à la moyenne, de la forme:

$\sigma = x_a * C_1$ avec C_1 constant

Dans le cas de la loi log-normale les proportions sont conservées en ayant un écart-type constant qui décrit le rapport entre.

$\sigma = C_2$ avec C_2 constant

La deuxième étape consiste à sommer classe à classe les contributions respectives des distributions centrées sur les modes, puis de ramener le tout à 100% (Fig. II-65) Les courbes synthétiques ainsi obtenues produisent une simulation satisfaisante, les meilleurs résultats sont obtenus pour $C_1 = 0.5$. L'équivalent est obtenu en log-normale pour $C_2 = 0.3$. Si on compare ces courbes avec le stack des courbes granulométriques pélagiques ayant servi au calcul des statistiques sur les modes on constate des différence, mais surtout une grande similitude. La meilleure courbe semble être celle réalisée à l'aide d'une distribution normale car les modes coïncident le mieux avec ceux du stack de courbes granulométriques du sédiment pélagique (Fig. II-65). Une distribution normale semble donc plus logique qu'une distribution

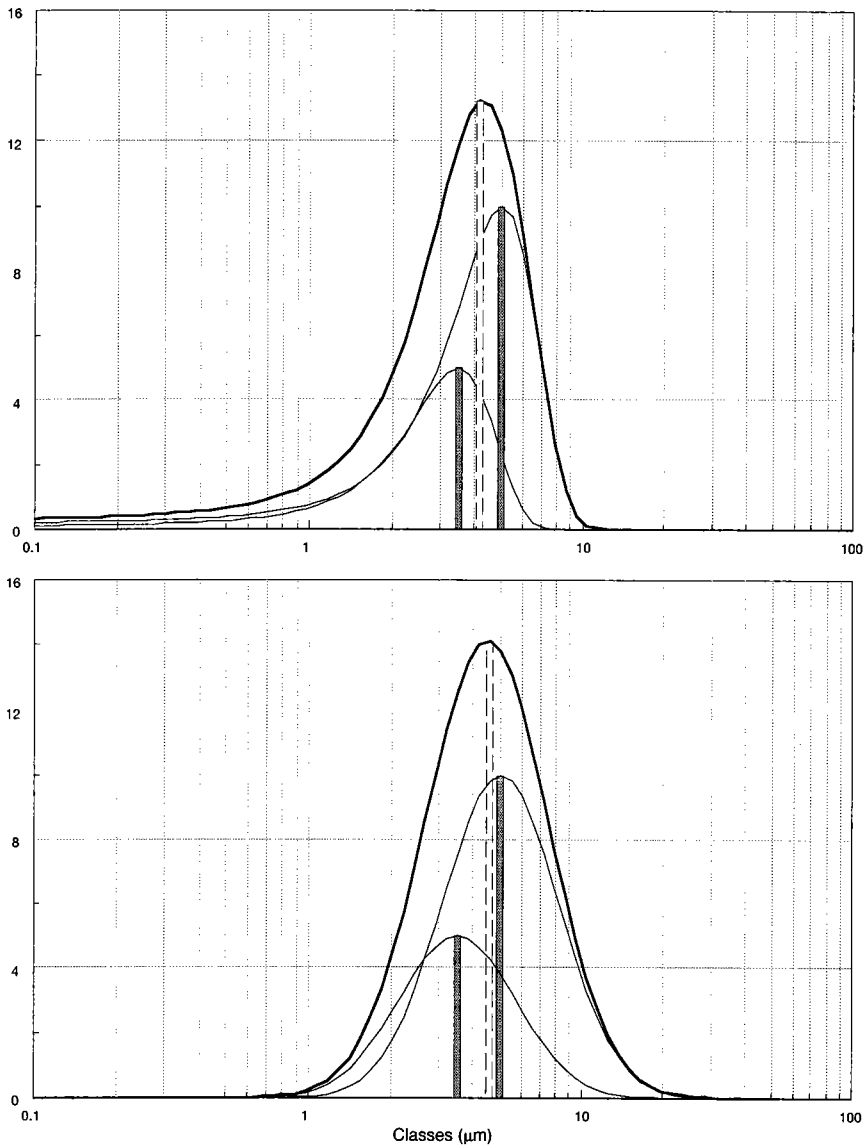


***Fig. II-64**: Combinaison de deux gaussiennes, l'une centrée à 3.48 µm et l'autre à 5.02 µm. La figure du haut montre une distribution normale centrée, celle du bas une distribution log-normale centrée. La résultante montre un mode à 4.18 µm en haut et à 4.58 µm en bas. Cette disposition modélise les pics d'abondance des nannofossiles et les modes observés. Les courbes granulométriques montrent fréquemment un mode à 4.18 µm alors qu'aucune espèce de nannofossile centrée sur cette taille n'est déterminée et qu'un grand nombre est positionné aux classes 3.48 µm et 5.02 µm (environ 2x plus vers 5.02 µm).*

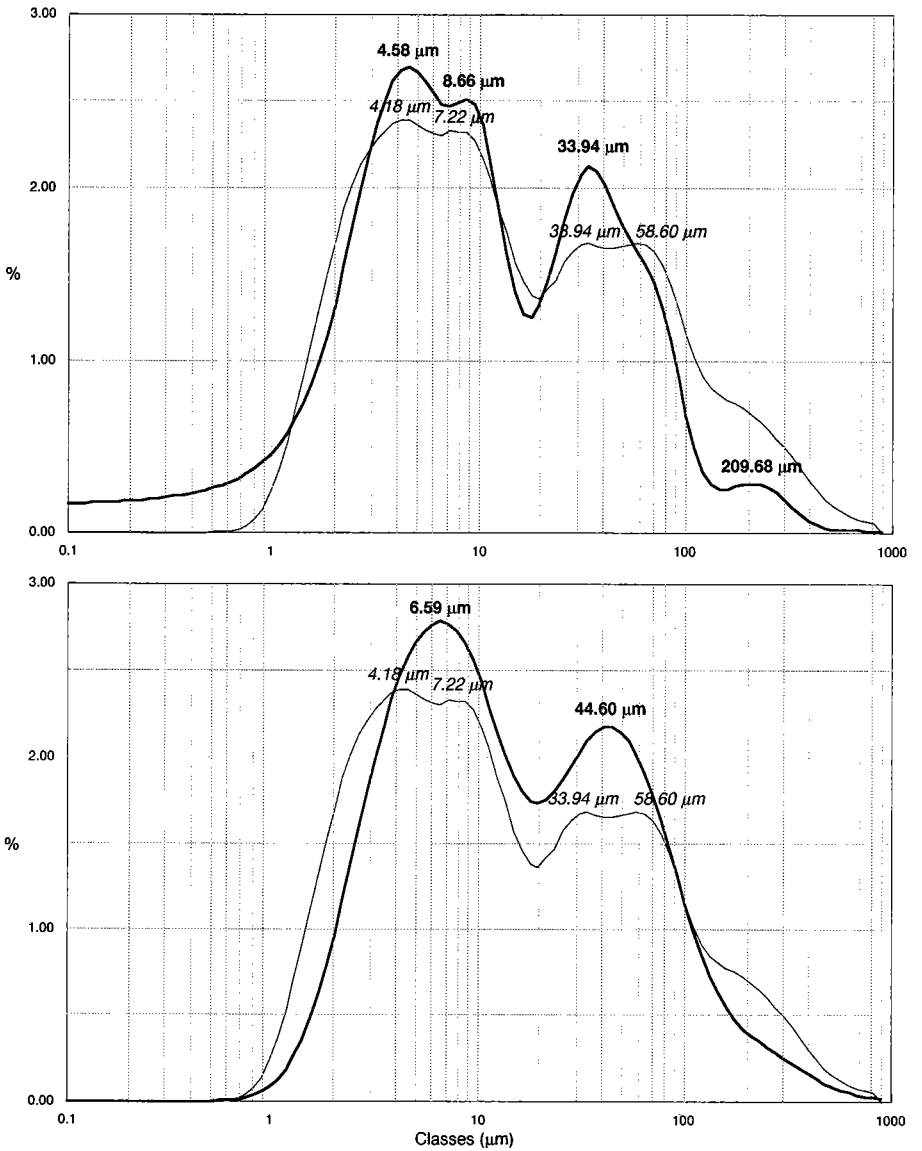


***Fig. II-65**: Courbes granulométriques synthétiques (trait épais) réalisées à partir de l'abondance des modes du sédiment pélagique en utilisant une distribution normale centrée (en haut) ou log-normale centrée (en bas) pour chaque mode. La similitude avec la stack des courbes granulométrique du sédiment pélagique (trait fin) est bonne.*

log-normale. La queue importante dans les fines peut quasiment disparaître si l'on utilise un coefficient $C_1 = 0.4$, les modes seront à ce moment seulement plus marqué et les creux plus importants. L'utilisation des statistiques sur les modes est bien sur biaisée car il peut exister un composante élémentaire importante, systématiquement "masquée" par une autre composante légèrement plus importante, et qui ne s'exprimera jamais sous forme de mode et ne sera pas comptabilisé dans les statistiques.

Conclusion

Cette modélisation nous apporte un élément de réponse sur l'impact textural des composantes élémentaires du sédiment pélagique sur le plateau des Açores. Elle permet d'identifier la contribution des nannofossiles, des foraminifères et de la phase résiduelle (terrigène, volcanique et silice biogène). Les classes principales des nannofossiles se situent de à 2.50 µm à 15 µm, celles de la phase résiduelle de 10 µm à 35 µm, et celles des foraminifères de 40 µm à 300 µm.

La granulométriques de ces composants peut être modélisée par une gaussienne symétrique linéaire dont l'écart-type représente 50% de la taille de la classe centrale. On constate ainsi que la somme des gaussiennes élémentaire est proche du stack des courbes granulométriques du sédiment pélagique.

Nous avons pu mettre en évidence que le mode à 4.58 µm du stack des sédiments pélagiques ne correspond pas à la taille moyenne une espèce de nannofossiles, mais qu'il est virtuel et correspond au chevauchement des espèces dont le maximum est centré entre 3.30 µm et 3.90 µm (*Emiliania huxleyi*, *Gephyrocapsa caribbeanica*, *Scapholithus fossilis*, *Gephyrocapsa A* et *B*), et des espèces dont la maximum est centré entre 5.05 µm et 5.20 µm (*Gephyrocapsa oceanica*, *Umbilicosphaera mirabilis* et *Rhabdosphaera clavigera*). Le mode à 8.66 µm correspond essentiellement aux espèces *Helicosphaera carteri*, et *Cyclococcolithus leptorus A*. Du fait de sa petite taille *Gephyrocapsa ericsonii* n'est pas visible dans la courbe synthétique ni dans le stack pélagique mais elle pourrait correspondre néanmoins à un mode fréquent situé à 2.65 µm.

8. Conclusions

La distribution de la couverture sédimentaire au niveau de la dorsale sur le plateau des Açores est hétérogène. Le sédiment tend à se concentrer dans le bassins, et spécialement dans les bassins transformants. Cette caractéristique se traduit par des taux de sédimentation 10 à 20 fois supérieurs à ceux observés hors axe (jusqu'à 50 $cm.ka^{-1}$ dans les bassins transformants contre 1.59 $cm.ka^{-1}$ hors axe). Cette caractéristique correspond à une fonction de piège à sédiment qui privilégie les apports latéraux dans les bassins bordés d'un relief. Ce piégeage

montre une légère préférence pour les particules fines car la teneur en sable du sédiment des bassin est inférieure à celle du sédiment hors axe (<10% contre 10-20% hors axe, en surface). Cette tendance s'amplifie durant le Glaciaire avec une augmentation plus forte des taux de sédimentation dans les bassins. Pour les profondeurs inférieures à 1500 mètres le sédiment montre systématiquement un déficit en fines lié au vannage qui se traduit par une forte teneur en sable et des taux de sédimentation <1 $cm.ka^{-1}$. L'action des courants se manifeste également par l'édification d'une ride sédimentaire dans un défilé incisant le plateau au sud de Faial. Cette structure et l'enregistrement hydrodynamique qu'elle contient seront étudiés en détail dans le chapitre IV.

La lithologie des sédiments est largement déterminée par les apports biogènes carbonatés (foraminifères et nannofossiles) qui représentent entre 70% et 100% du sédiment en masse. La dissolution n'affecte pas les carbonates [Müller, 1991; 1992; 1994; 1995]. Les apports en provenance des îles sont présents sous la forme de verre volcanique, feldspaths plagioclases et argiles. Un "bruit de fond" qui affaiblit les teneurs en carbonates est visible jusqu'à 100 ka autour des îles et au niveau de la dorsale. Les apports volcaniques sont locaux sous forme de niveaux sableux discrets dont la source est le volcanisme sous marins en provenance des monts 38°20N, Menez Gwen et Lucky Strike. La silice biogène est présente sous la forme de spicules et de tests de plancton siliceux (radiolaires et diatomée), les tests de diatomées ne se déposent qu'au Glaciaire. Les plus fortes concentrations se rencontrent au niveau de la dorsale et à proximité de l'archipel de Faial. Les teneurs atteignent au maximum 7% de la masse du sédiment total. Ces abondances sont corrélées avec l'abondance en matériel volcanogène.

La texture du sédiment reflète la nature des particules et peut être particulièrement corrélée aux espèces de nannofossiles qui représentent en moyenne 60% du volume du sédiment.

CHAPITRE III:

Les flux sédimentaires

Introduction

L'étude des apports sédimentaires par l'intermédiaire des flux est importante car elle intègre les paramètres taux de sédimentation, densité sèche et teneur. Ils sont obtenus par le produit de la densité sèche ($g.cm^{-3}$) et du taux de sédimentation ($cm.ka^{-1}$) pondéré de la teneur pour le composant considéré. Ils sont exprimés en $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, les détails de calcul et d'obtention des valeurs de densité sont expliqués au chapitre I.

Contrairement aux teneurs les flux des composants sédimentaires sont indépendants des phénomènes de dilution par les autres composants et peuvent être ainsi traités en "absolu". Nous devons néanmoins tenir compte qu'en intégrant les 3 types de données citées plus haut nous multiplions les incertitudes liées à chaque donnée. Nous supposons cependant que ces incertitudes sont négligeables au regard des variations observées. Le terme "taux d'accumulation" serait préférable au terme flux car il intègre une part de processus sédimentaires comme le vannage ou la dissolution qui perturbe l'enregistrement du flux. Sur le plateau des Açores la dissolution n'affecte pas les carbonates [Müller, 1991; 1992; 1994; 1995], mais peut affecter la silice. Les carottes situées à des profondeurs <1500 mètres montrent des indices de vannage (cf. chapitre II), tandis que d'autres (GEOFAR-KF21) montrent des indices d'accumulation sous l'action de courant. Les flux décrits intègrent donc la totalité des processus sédimentaires ayant pu affecter les particules sédimentaires. Nous utiliserons également le terme flux pour les composants benthiques comme les spicules de spongiaires, et pour les composant qui n'ont pas une source "interne" [Emery & Uchupi, 1984] comme les composants volcaniques.

Les études sur les flux dans l'océan atlantique concernent des régions comme l'atlantique nord-ouest [Honjo, 1986], l'atlantique nord-est [Cremer *et al.*, 1992], la dorsale à grande échelle [Grousset, 1985], les marges ou des rides sédimentaires [Cremer *et al.*, 1993]. D'autres [van Kreveld-Alfane, 1996], se focalisent sur les variations temporelles à haute résolution. Dans ce chapitre nous traiterons des flux du sédiment total, des carbonates et de la phase non-carbonatée pour les derniers 400 ka. Nous calculerons les moyennes pour les 6 derniers stades isotopiques, avec des cartes détaillées pour le récent et le LGM. Nous aborderons également les flux de silice biogène (spicules de spongiaires et plancton siliceux) et de matériel volcanogène (verre volcanique et feldspath) pour les stades isotopiques 1 et 2. Les flux moyens aux 6 derniers stades isotopiques (cartes non détaillées) sont calculés à l'aide du taux de sédimentation et de la moyenne de la densité sèche aux différents stades. Les flux des cartes détaillées pour le récent sont déterminés à l'aide du taux de sédimentation moyen pour le

stade 1 et à l'aide des teneurs et de la densité sèche des échantillons de surface. Les cartes détaillées pour le LGM sont déterminées par l'intermédiaire des échantillons LGM (18 ka) et le taux de sédimentation moyen au stade 2. Les teneurs en plancton siliceux, spicule, feldspath et verre volcanique ont été déterminés sur frottis (cf. chapitre II) sur la fraction >6.3 µm. Le flux résiduel signifie le flux "non-carbonaté" et inclut donc la silice biogène, les apports volcaniques et les apports terrigènes, néanmoins comme la phase terrigène y est majoritaire il sera considéré comme représentatif du flux terrigène. La comparaison des flux dans le temps se fera par rapport au récent.

1. Résultats

1.1. Flux total

Récent (Fig. III-1)

Les flux sont compris entre 0.40 et 17.94 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 4.47 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 5.05 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Il est possible de distinguer 3 zones:

- Les bassins des failles transformantes avec des flux >5 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$
- Les profondeurs <1500 mètres avec des flux <1 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$
- Les zones hors axe aux profondeurs >1500 mètres avec des flux généralement compris entre 1 et 2 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$.

Cette distribution montre la prédominance des flux les plus importants aux grandes profondeurs (Fig. III-3). La distance aux îles ne conditionne pas le flux total (Fig. III-4). La ride sédimentaire de Faial se caractérise par un flux de 6.07 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, triple de celui des carottes les plus proches. La principale caractéristique observée sur le plateau est l'extrême variabilité spatiale du flux total.

LGM (Fig. III-2)

La répartition des flux est sensiblement la même qu'au récent. Cependant les grandes profondeurs ne sont plus aussi privilégiées (Fig. III-3). Les flux sont compris entre 0.42 et 12.35 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 2.70 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 2.60 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma de variation est similaire à ce lui du récent.

Les derniers 400 ka (Fig. III-7 et Fig. III-8)

Le schéma de variation spatiale du flux total ne varie pas fondamentalement durant les 6 derniers stades isotopiques (Fig. III-7). Les flux élevés se situent dans les bassins transformants et les faibles flux hors axe. Les carottes contenant les forts taux n'atteignent pas

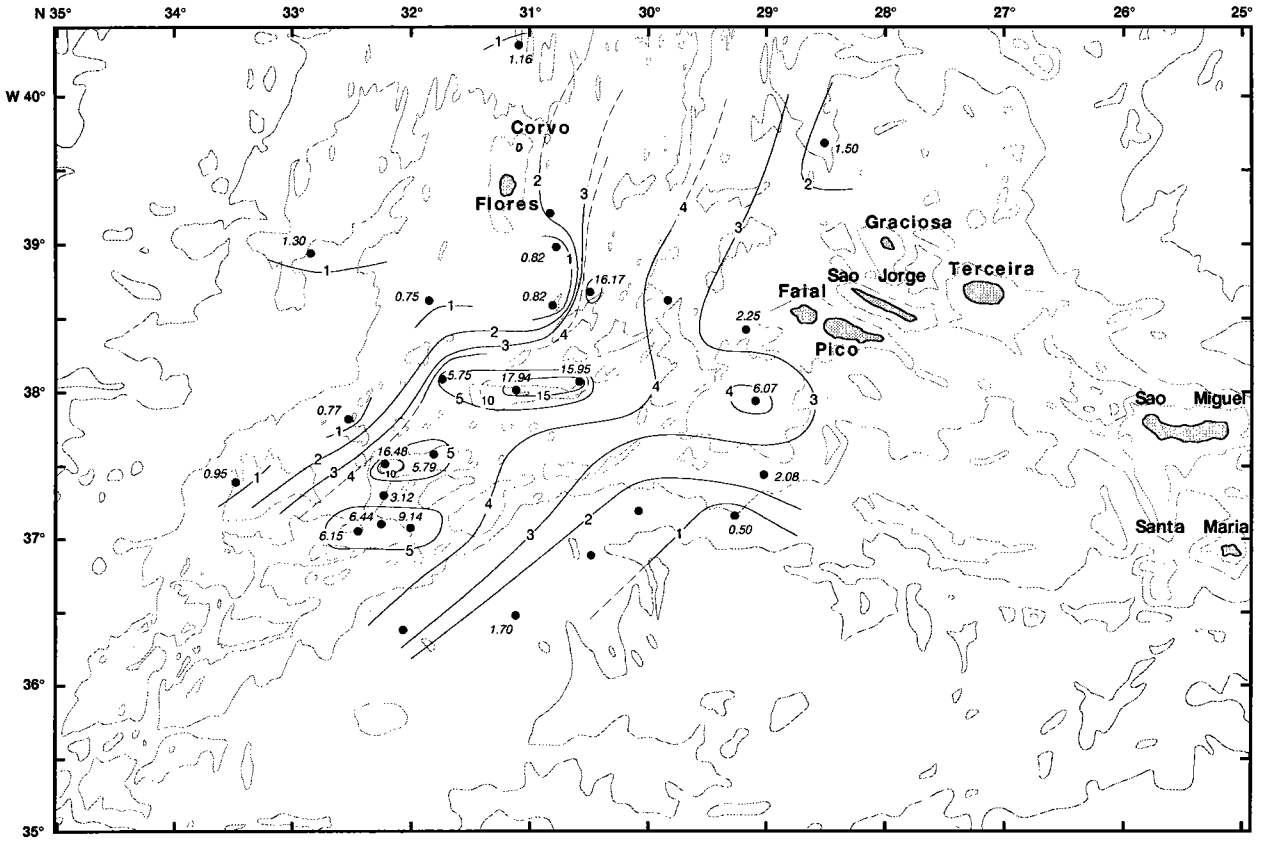


*Fig. **III-1**: Flux total en surface ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la densité du sédiment de surface et du taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

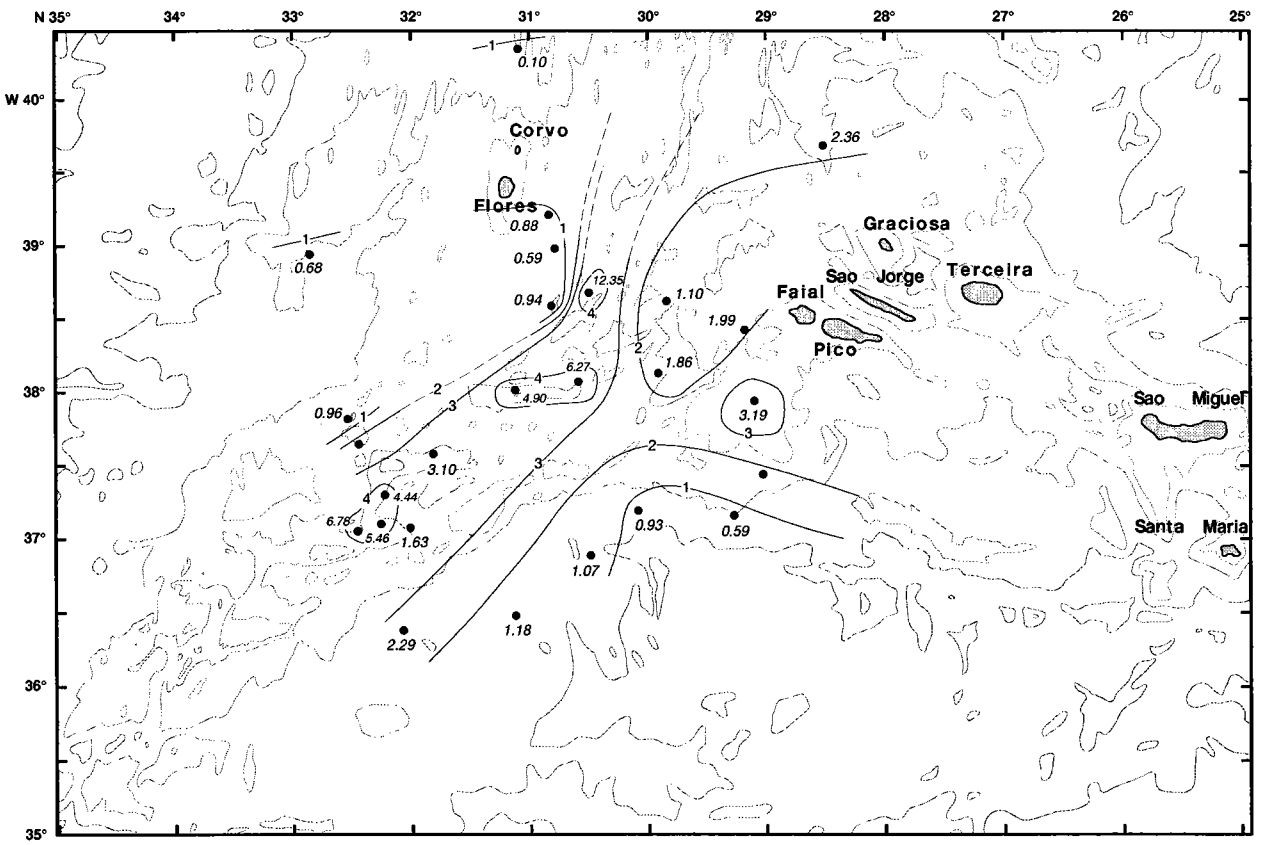


*Fig. **III-2**: Flux total au LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la densité du sédiment LGM et du taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).*

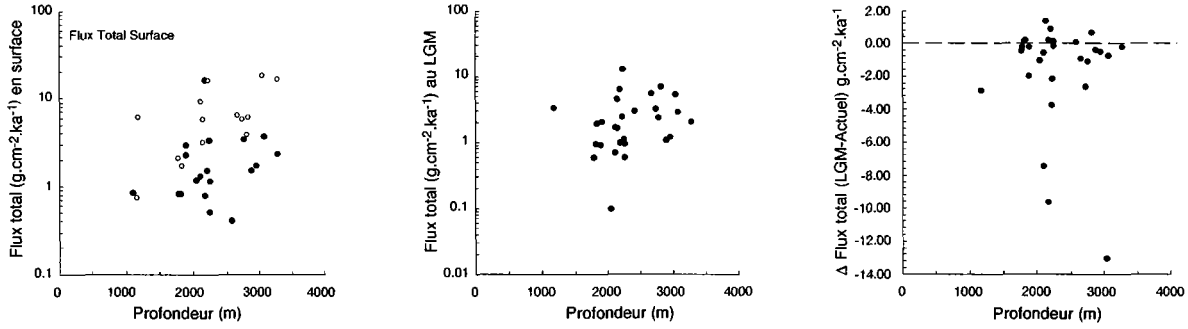


***Fig. III-3**: Variation de flux total ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent à se trouver aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est moins marquée au LGM. Les flux LGM sont en moyenne plus faible qu'à l'actuel, la diminution semble plus importante pour les faibles profondeurs.*

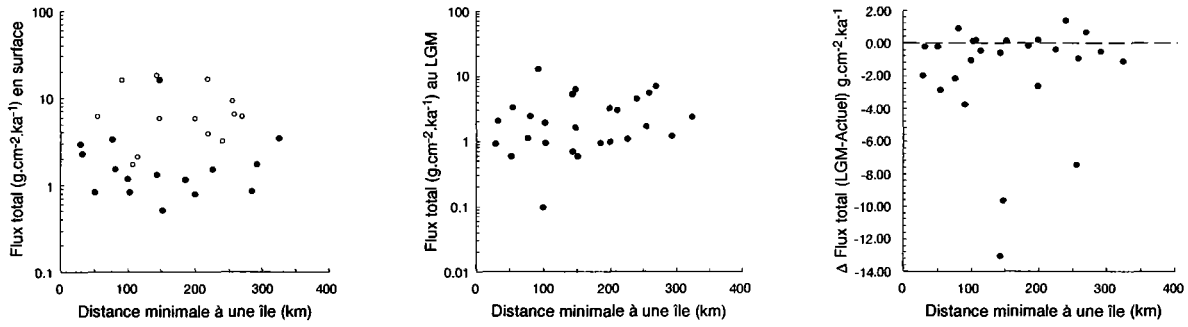


***Fig. III-4**: Variation de flux total ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Il ne se dégage aucune tendance vis à vis de ce paramètre.*

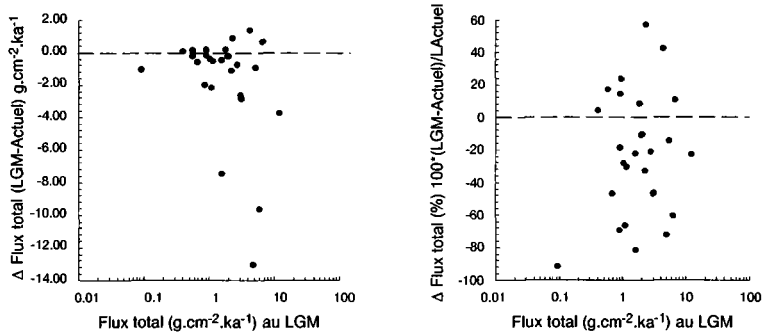


***Fig. III-5**: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux total LGM vis à vis du flux Actuel, et en fonction du flux LGM. La baisse est toujours à 100%. Les variations semblent indépendantes de la valeur des flux.*

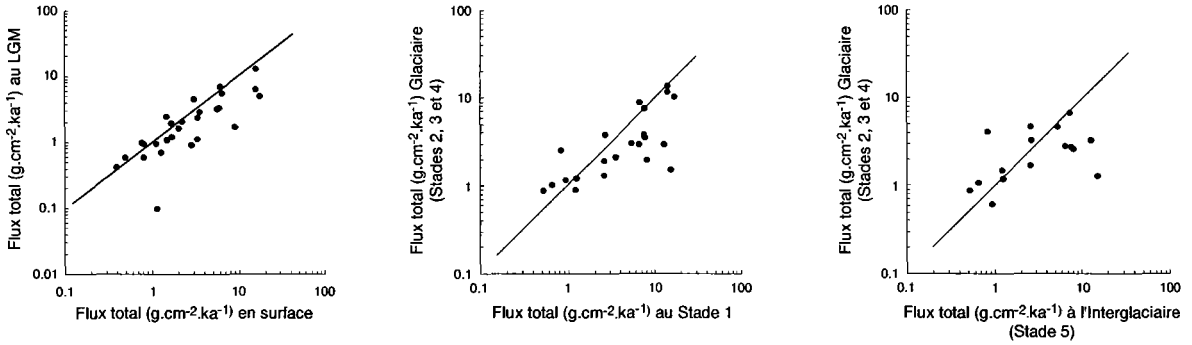


***Fig. III-6**: Valeurs du flux total en fonction des époques. Les flux Interglaciaires tendent à être supérieurs aux flux Glaciaires.*

Flux Total
($g.cm^{-2}.ka^{-1}$)

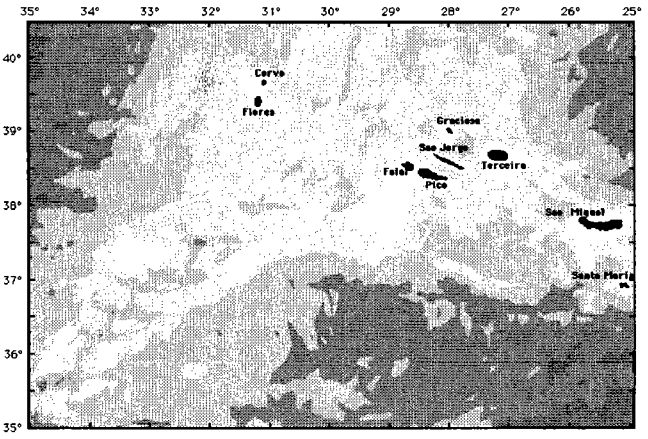
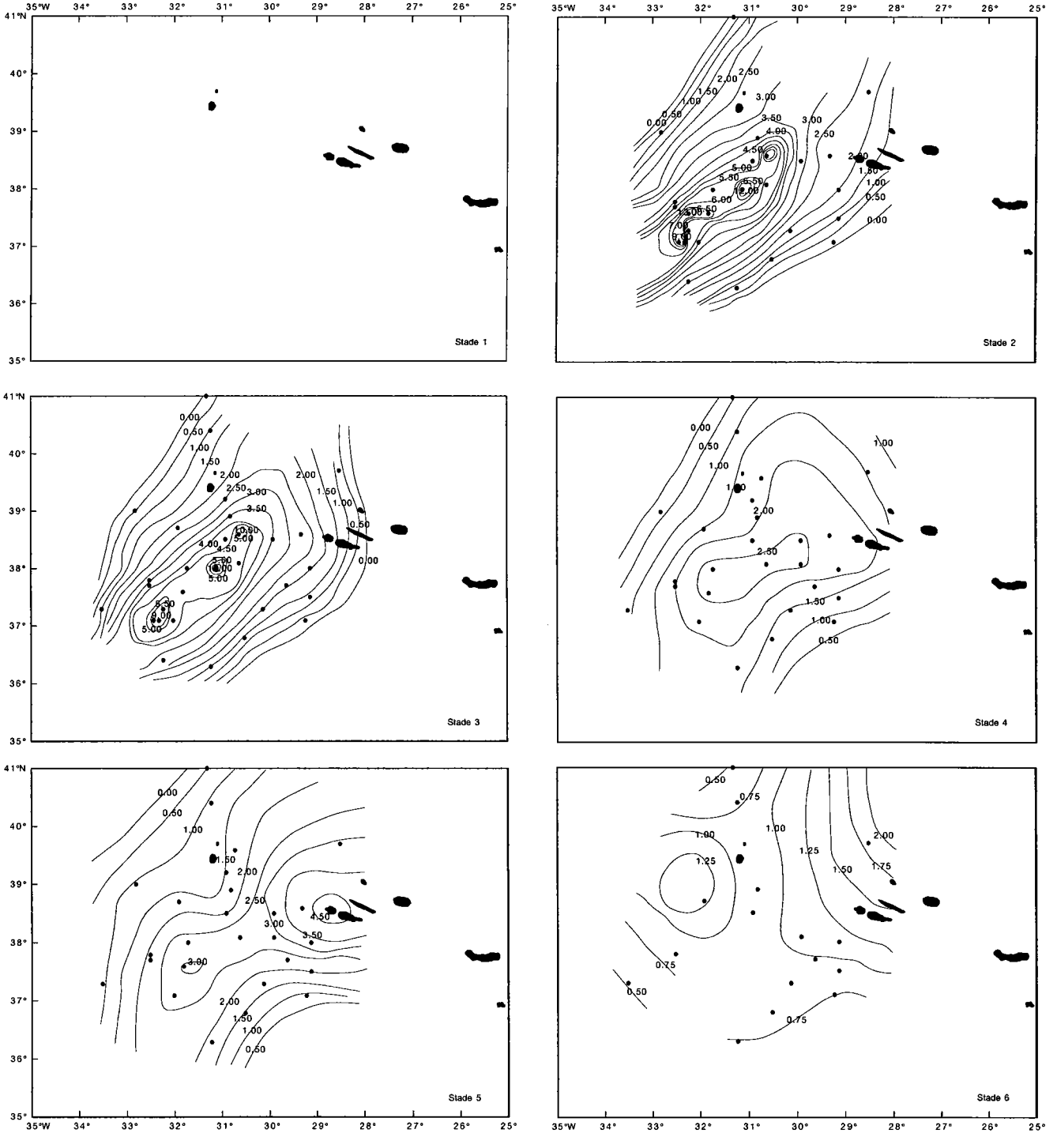


Fig. III-7: Flux total de sédiment pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.



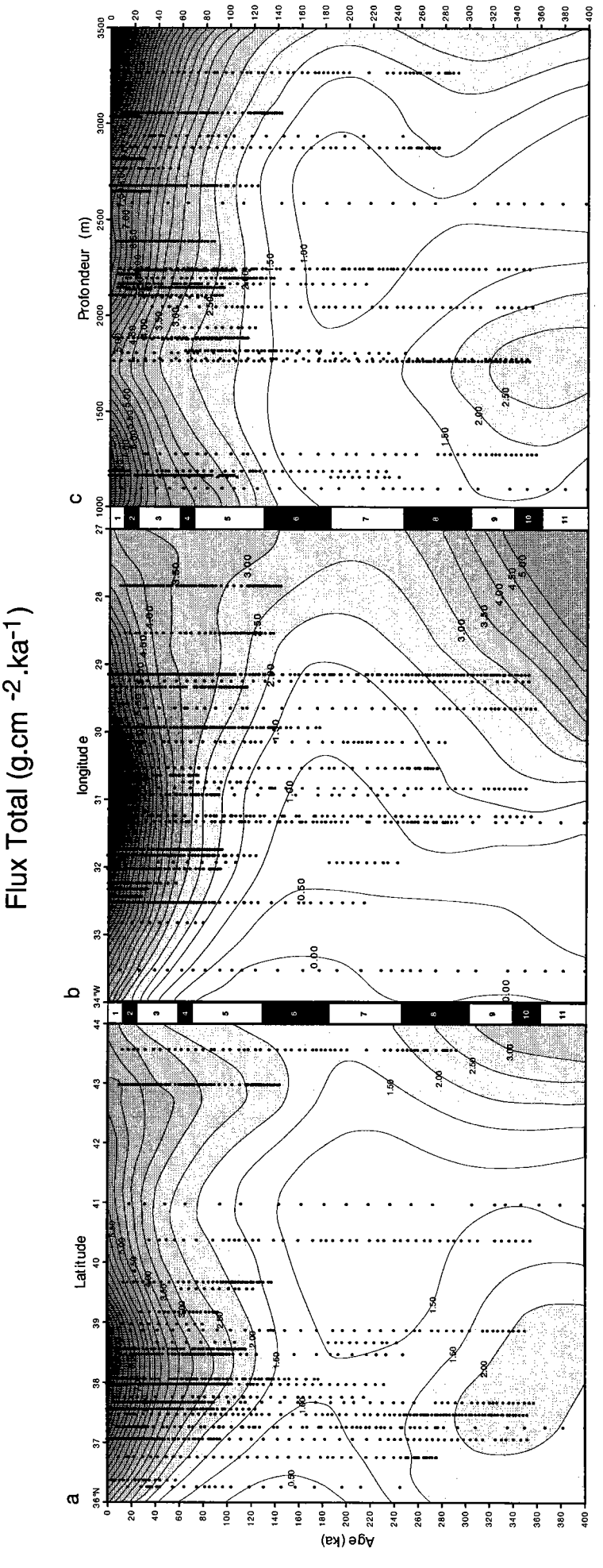


Fig. III-8: Variation du flux total durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41 °N. Les variations montrent peu lien avec ces 3 paramètres car les très forts flux enregistrés dans les failles transformantes masquent les plus faibles teneurs hors axe. De même les variations temporelles sont biaisées par le fait que les carottes à forts flux s'arrêtent à des âges plus jeunes que les autres carottes, la baisse des flux observée pour les âges supérieurs à 100 ka n'a pas de réalité.

les stades les plus anciens, donnant la fausse impression que les flux tendent à diminuer avec l'âge. Les variations en fonction de la Latitude, longitude et profondeur sont fortement marquées par l'hétérogénéité temporelle de l'échantillonnage (Fig. III-8). La proximité ouest de Faial semble être une zone de fort flux, spécialement durant le stade 5 ou les flux atteignent 3 à 4 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$.

1.2. Flux des carbonates

Récent, (Fig. III-10)

Les flux sont compris entre 0.34 et 14.53 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 3.53 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 4.07 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma des variations est remarquablement similaire à celui du sédiment total car les teneurs en carbonates du sédiment sont en moyenne de 78%. On observe la même zonation avec les forts flux aux grandes profondeurs (Fig. III-12) ; la distance aux îles n'exerce aucun contrôle (Fig. III-13).

LGM (Fig. III-11)

Les flux sont compris entre 0.07 et 8.03 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 1.79 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type à 1.71 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma des variations est également similaire à celui du flux total car les teneurs en carbonates sont en moyenne de 70%. Ni la profondeur, ni la distance aux îles n'exerce un contrôle (Fig. III-12 et Fig. III-13).

Les derniers 400 ka (Fig. III-16 et Fig. III-17)

De nouveau les variations sont similaires à celles du flux total. Les différences qui apparaissent sont liées au fait que les mesures de teneur en carbonates n'ont pas été faites sur la plupart des carottes des bassins à l'axe. L'absence de ces mesures (sauf sur 91-KS04) atténue le biais décrit au § 1. et montre que ce sont essentiellement les variations temporelles qui dominent. Les flux tendent à être plus important à l'est de la région (Fig. III-17c), c'est à dire à proximité des îles.

1.3. Flux résiduel

Récent, (Fig. III-18)

Les flux sont compris entre 0.03 et 3.9 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 0.94 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 1.09 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma de variation est similaire à celui du sédiment total, les flux importants se situent dans les bassins transformants (Fig. III-18). Hors axe les flux sont toujours inférieurs à 0.75 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, à l'exception de la ride sédimentaire de Faial où le flux est de 1.94 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Les flux tendent à être légèrement plus forts aux

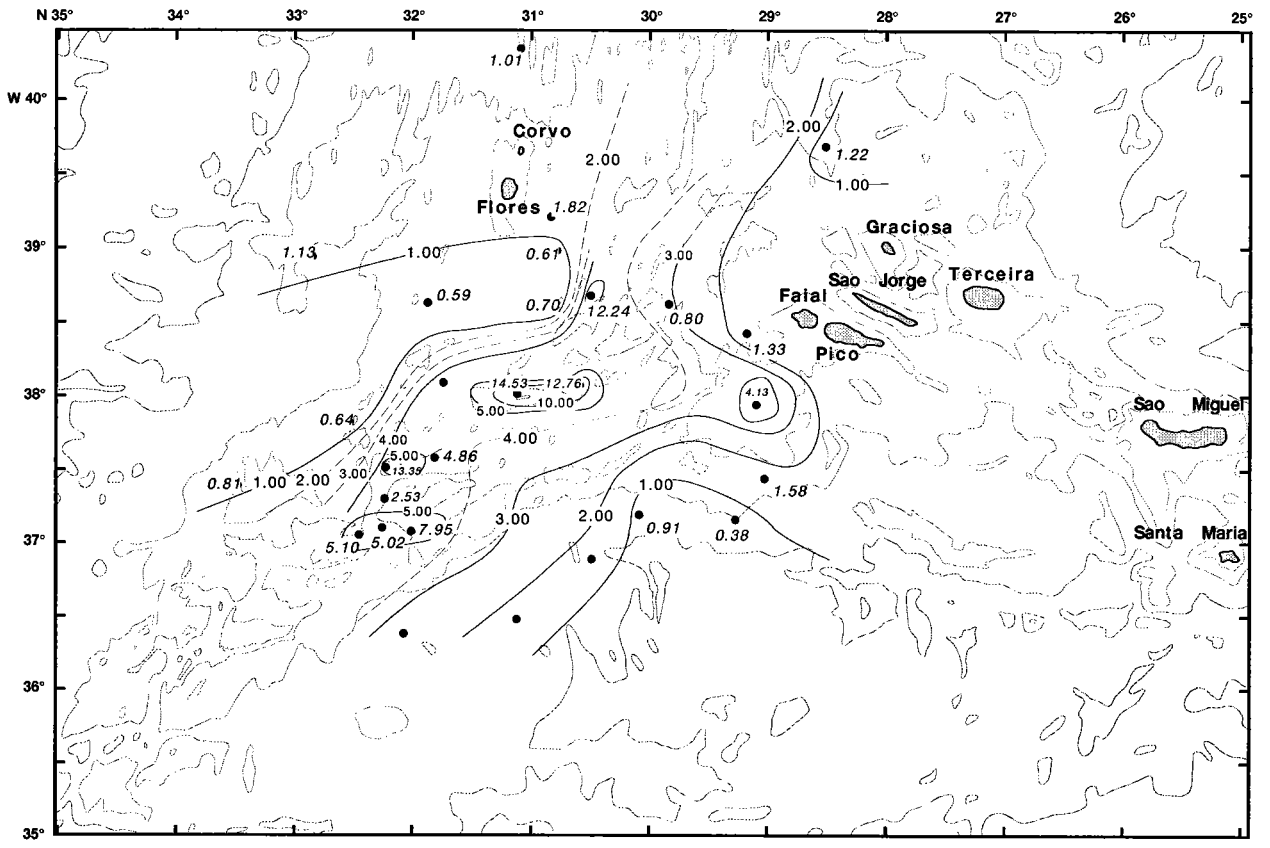


*Fig. **III-9**: Flux des carbonates en surface ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en carbonates, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

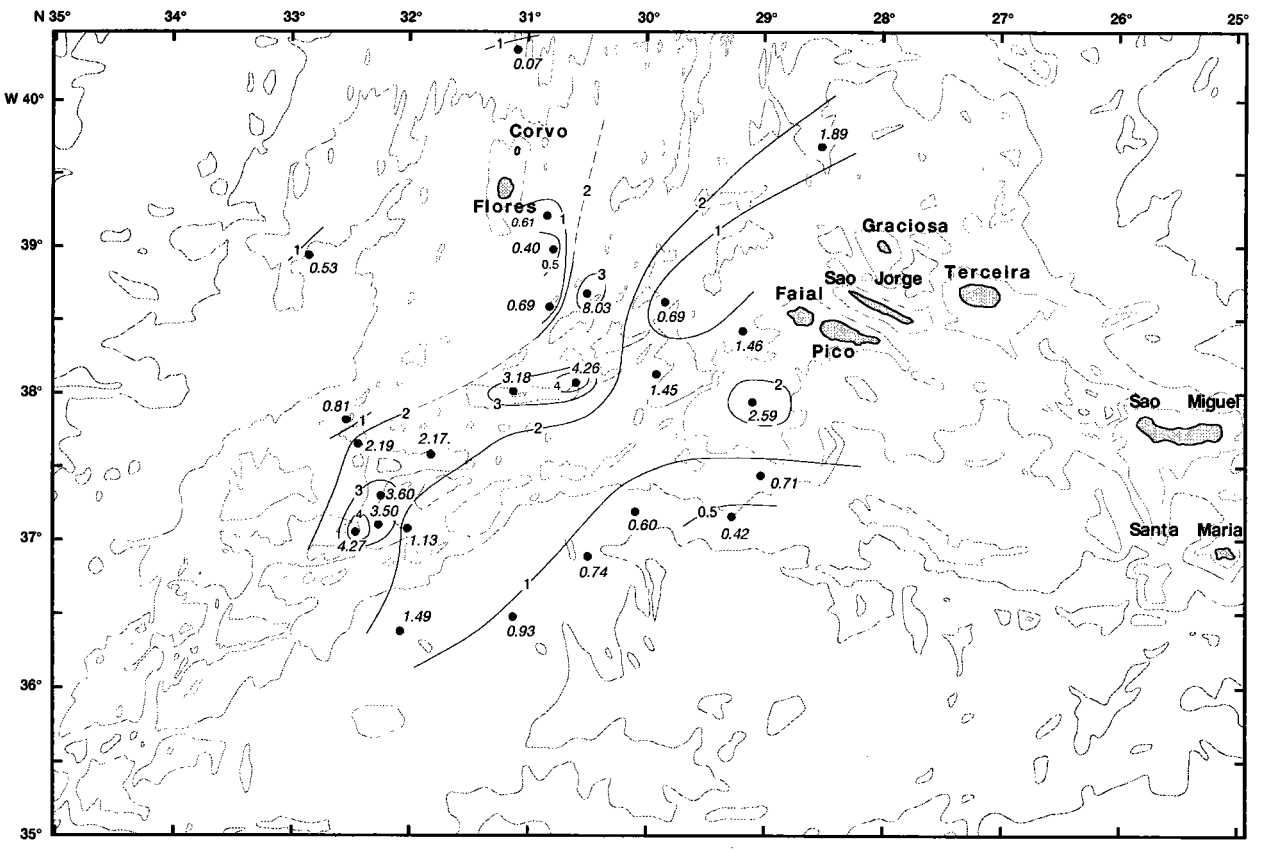


*Fig. **III-10**: Flux des carbonates au LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en carbonates, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).*

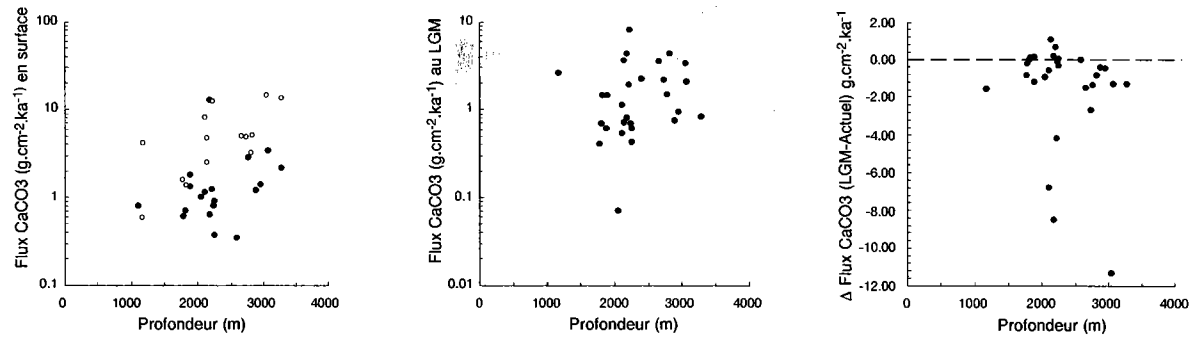


***Fig. III-11**: Variation de flux de carbonates ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent à se trouver aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est moins marquée au LGM. Les flux LGM sont en moyenne plus faibles qu'à l'actuel, la diminution semble plus importante pour les faibles profondeurs.*

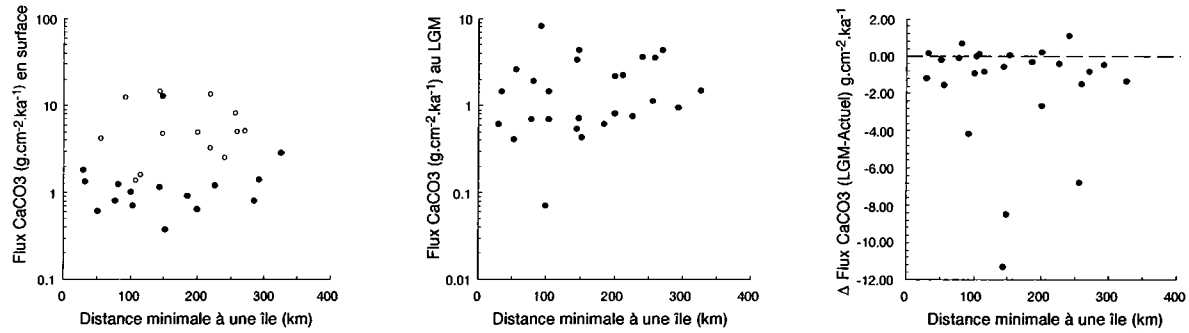


***Fig. III-12**: Variation de flux de carbonates ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Il ne se dégage aucune tendance vis à vis de ce paramètre.*

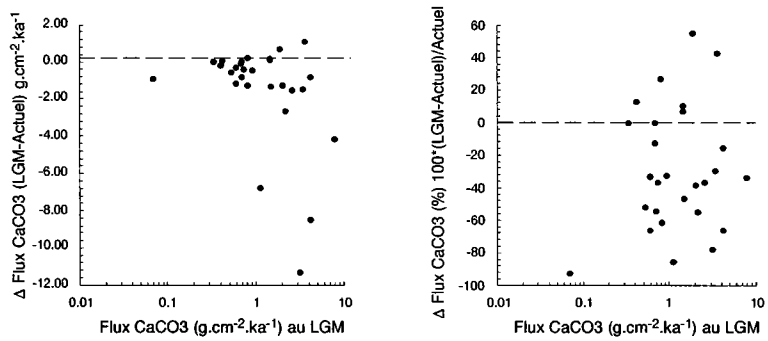


***Fig. III-13**: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux de carbonates actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les variations semblent indépendantes de la valeur des flux.*

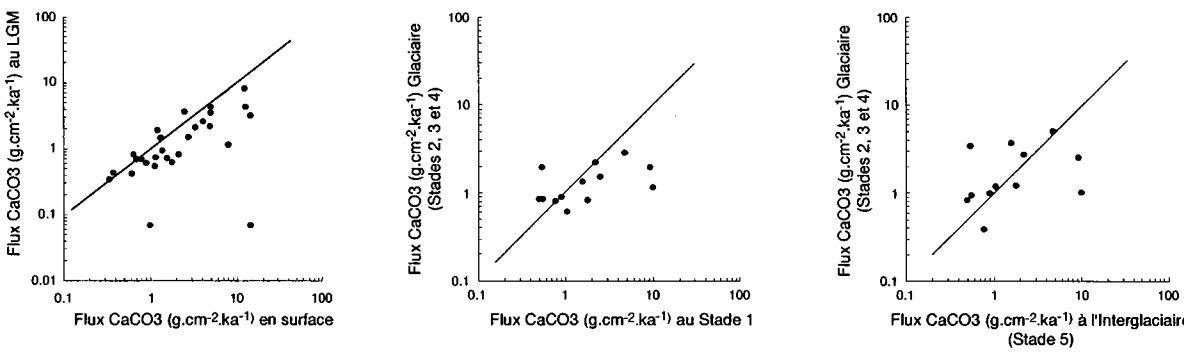


***Fig. III-14**: Valeurs du flux de carbonates en fonction des époques. Les flux Interglaciaires tendent à être supérieurs aux flux Glaciaires.*

Flux CaCO3 ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$)

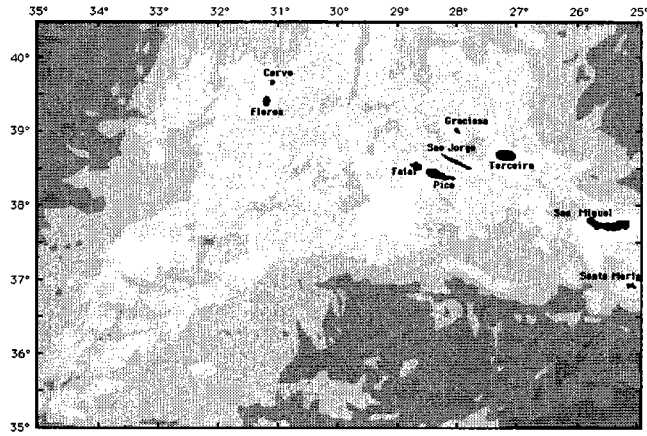
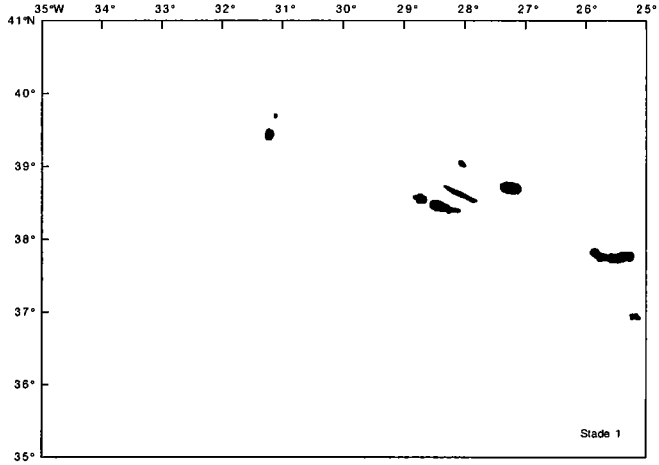
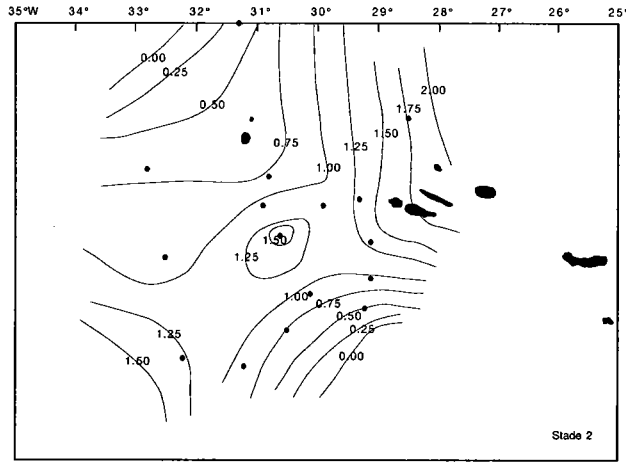
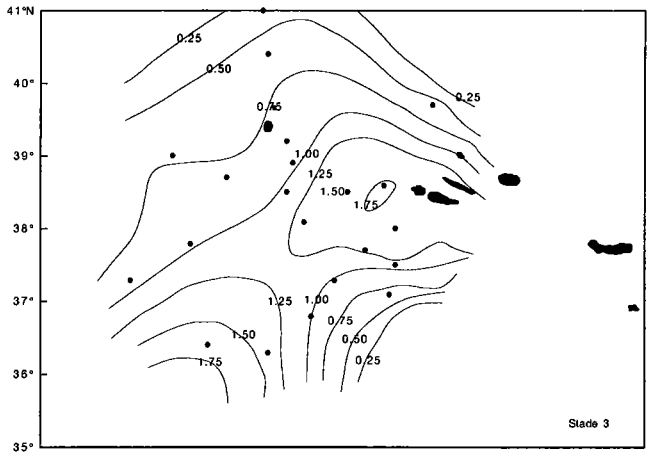
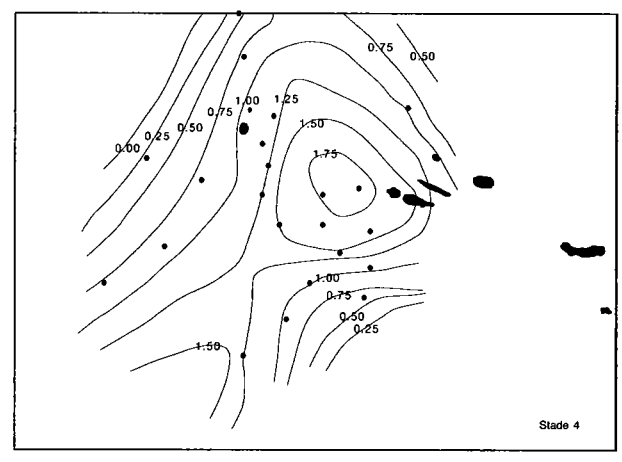


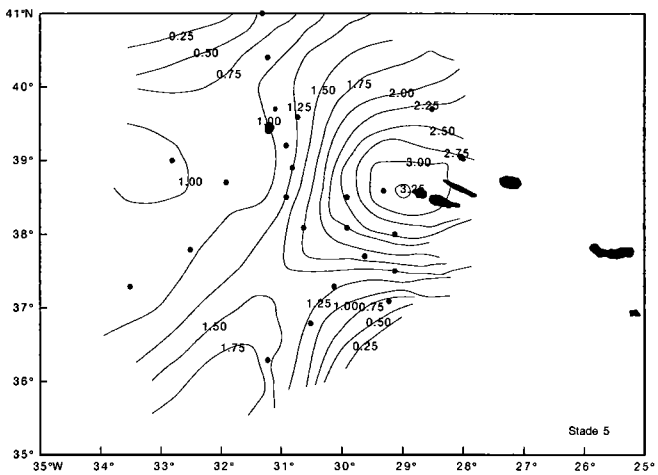
Fig. III-15: Flux de carbonate pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.

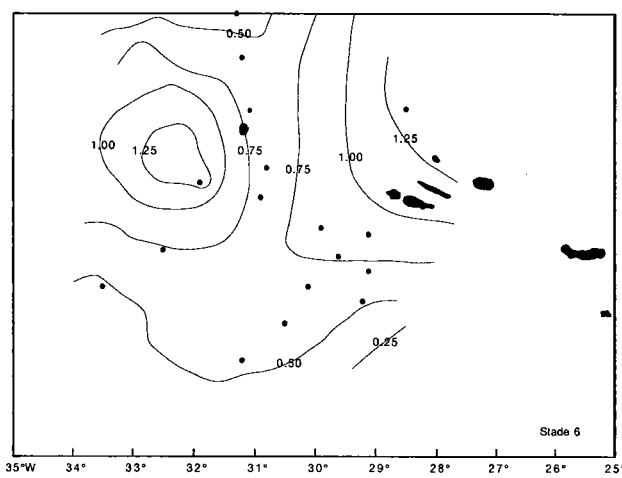












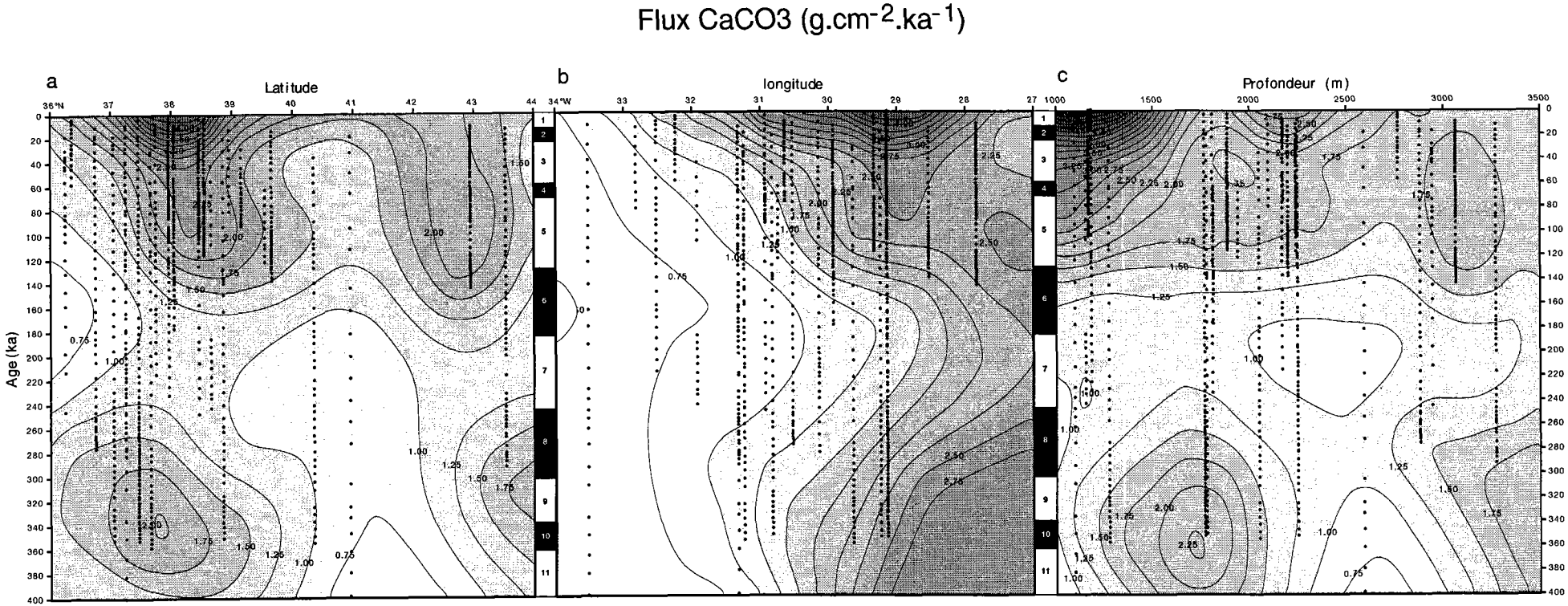


***Fig. III-16**: Variation du flux de carbonates durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41 °N. Les variations ne montrent que peu lien avec ces 3 paramètres car les très forts flux enregistrés dans les failles transformantes masquent les plus faibles teneurs hors axe. De même les variations temporelles sont biaisées par le fait que les carottes à forts flux s'arrêtent à des âges plus jeunes que les autres carottes, la baisse des flux observée pour les âges supérieurs à 100 ka n'a pas de réalité.*

grandes profondeurs et à proximité des îles (Fig. III-20 et Fig. III-21). Cette tendance signifie que le bassin transformant le plus nord (38°N) montre des flux plus élevés que ceux du sud (37°30N et 37°N).

LGM (Fig. III-19)

Les flux sont compris entre 0.03 et 4.32 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 0.82 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 0.93 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma de variation est également similaire à celui sédiment total. Les valeurs élevées prévalent aux grandes profondeurs, dans les bassins transformant (Fig. III-20). On remarque également que les flux tendent à être plus faibles près des îles (Fig. III-21), le contraste entre les flux dans les bassins de la dorsale et les flux hors axe semble plus important que pour le récent et plus important que pour le flux total LGM. Une tendance à la baisse est visible aux abord de Faial (Fig. III-19).

Les derniers 400 ka (Fig. III-24 et Fig. III-25)

Le schéma de variation est également similaire à celui des carbonates. Les flux tendent à être plus importants au nord, en relation avec la position des carottes prélevées au voisinage du front polaire glaciaire, ils sont aussi plus importants à l'est, ce qui reflète la proximité des îles. Les flux plus élevés aux grandes profondeurs sont en fait liés aux carottes situées au nord, les carottes des bassins transformants n'étant pas prises en compte.

1.4. Flux de plancton siliceux

Récent (Fig. III-26)

Les flux sont compris entre 0 et 120 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne à 24 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type à 30 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$. De nouveau le schéma de variation est similaire à celui du flux total. Le contraste entre les forts flux des bassins transformant et les faibles flux hors axe est nettement plus fort, il est d'un rapport 100 contre seulement 10 pour les flux totaux, carbonatés et résiduels. Les flux tendent à être plus forts aux grandes profondeurs (Fig. III-28) mais la distance aux îles n'exerce pas de contrôle (Fig. III-29). Les abords ouest de Faial montre des teneurs anormalement élevée (45 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) pour le domaine hors axe.

LGM (Fig. III-27)

Les flux sont compris entre 0 et 594 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne à 69 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type à 122 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma de variation est également similaire. Le contraste axe-hors axe est encore plus fort et atteint quasiment un facteur 1000. Les forts flux se situent nettement aux grandes profondeurs (Fig. III-28), par contre la distance aux îles n'exerce aucun contrôle (Fig. III-29.

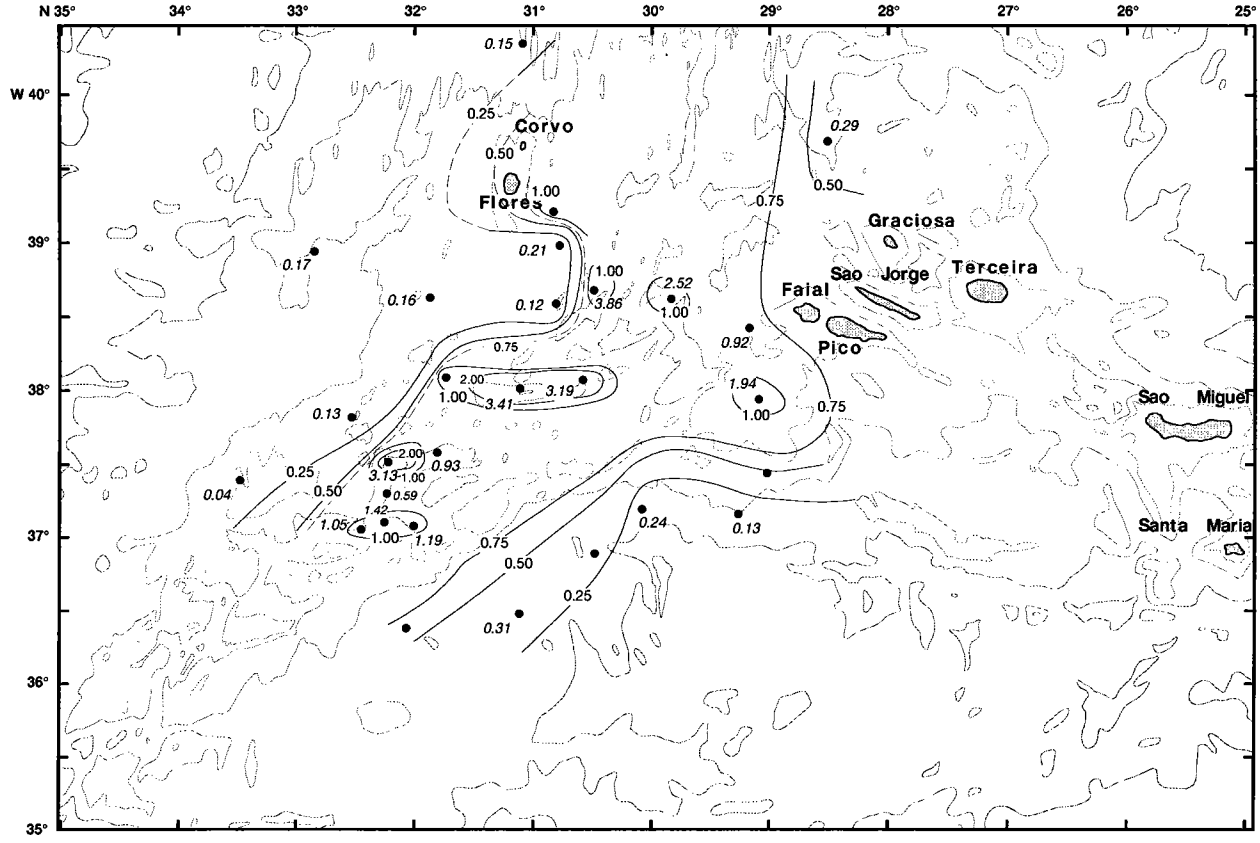


*Fig. **III-17**: Flux résiduel (=non carbonaté) en surface (g.cm^{-2}.ka^{-1}) calculé à partir de la teneur en carbonates, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

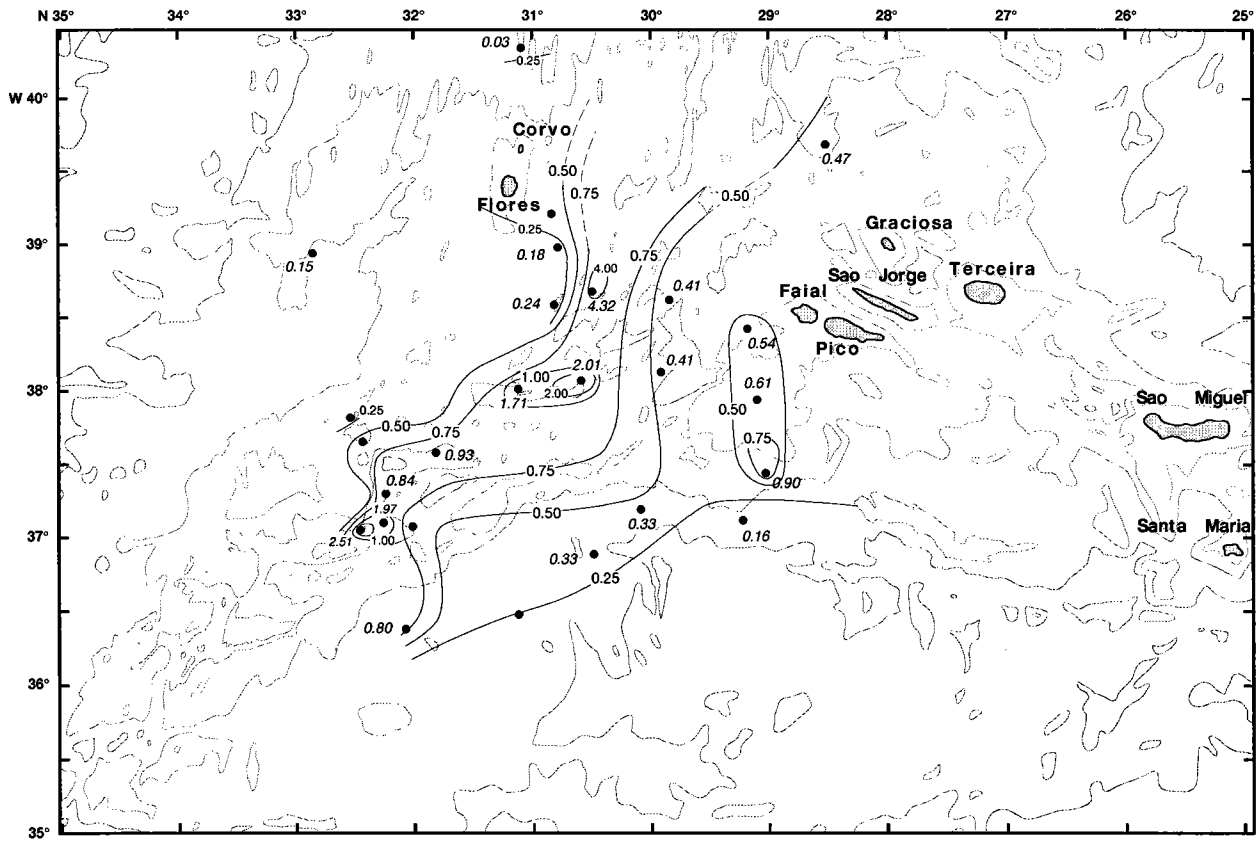


*Fig. **III-18**: Flux résiduel (=non carbonaté) au LGM (g.cm^{-2}.ka^{-1}) calculé à partir de la teneur en carbonates, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).*

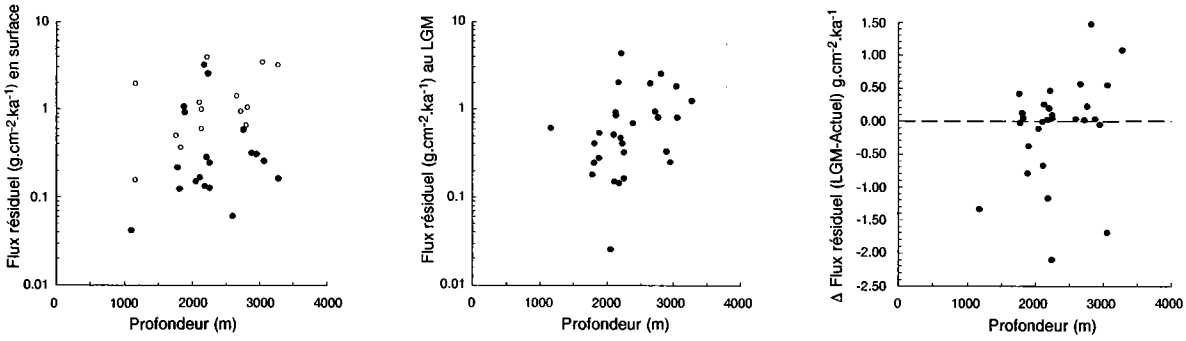


***Fig. III-19**: Variation de flux résiduel ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent légèrement à se situer aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est plus marquée au LGM. Les flux LGM tendent à être plus importants que les flux actuels pour les grandes profondeurs et plus faibles pour les faibles profondeurs.*

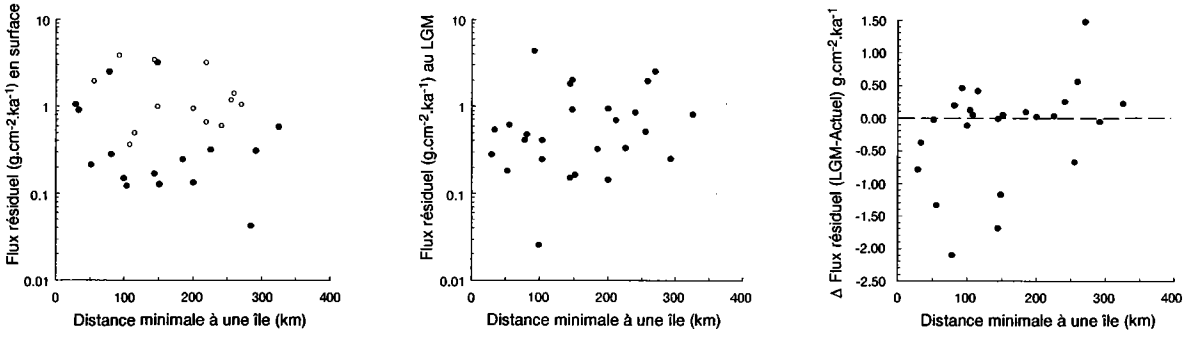


***Fig. III-20**: Variation de flux résiduel ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Au LGM les flux tendent à être plus forts loin des îles et plus faibles près des îles.*

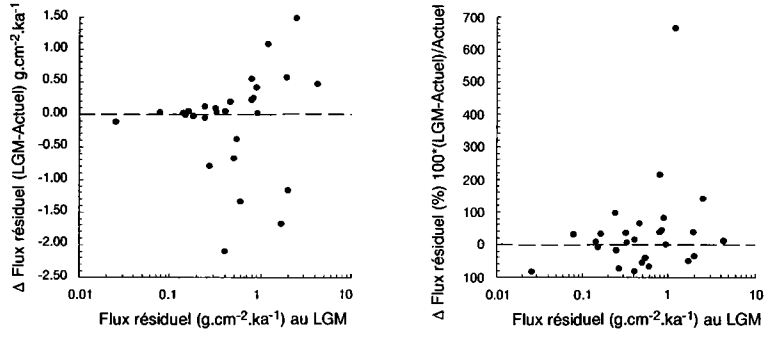


***Fig. III-21**: Variations absolues ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et relatives (%) du flux résiduel actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les forts LGM (>1 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$) tendent à être supérieurs aux flux Actuels tandis que les flux plus faibles LGM tendent à être inférieurs aux flux actuels. La forte hausse représente une carotte située à 43°30N, nord de l'extension maximale du front polaire.*

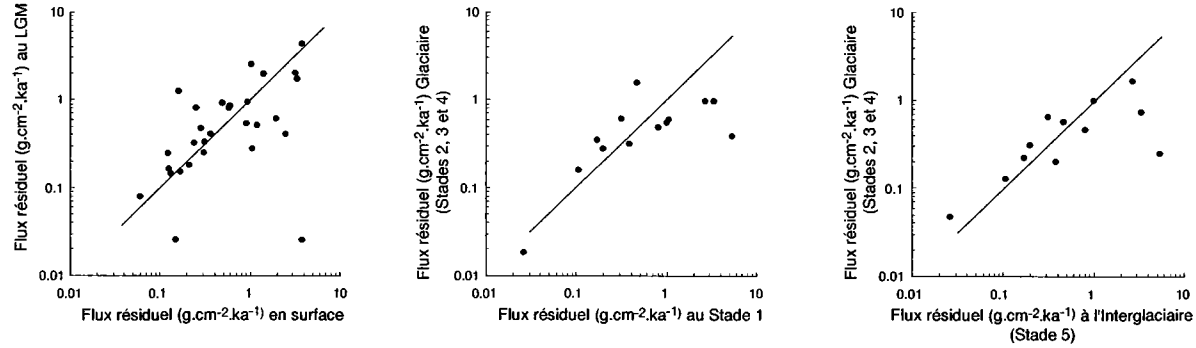


***Fig. III-22**: Valeurs du flux résiduel en fonction des époques. Les flux Actuels et LGM tendent à être équivalents. Les forts flux tendent à être plus importants aux Interglaciaires (stade 1 et stade 5) qu'au Glaciaire (stade 2+3+4).*

Flux Résiduels ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$)

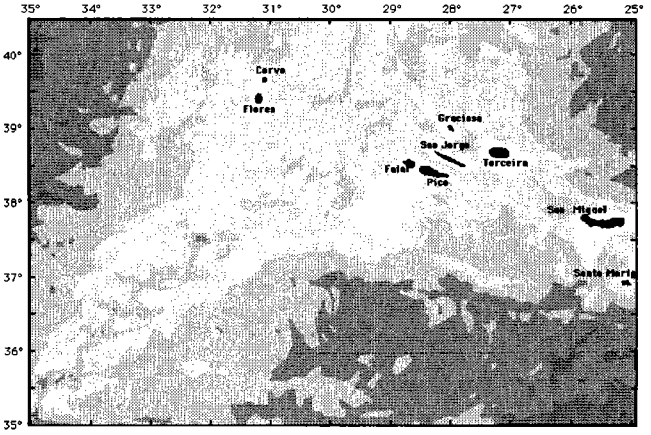
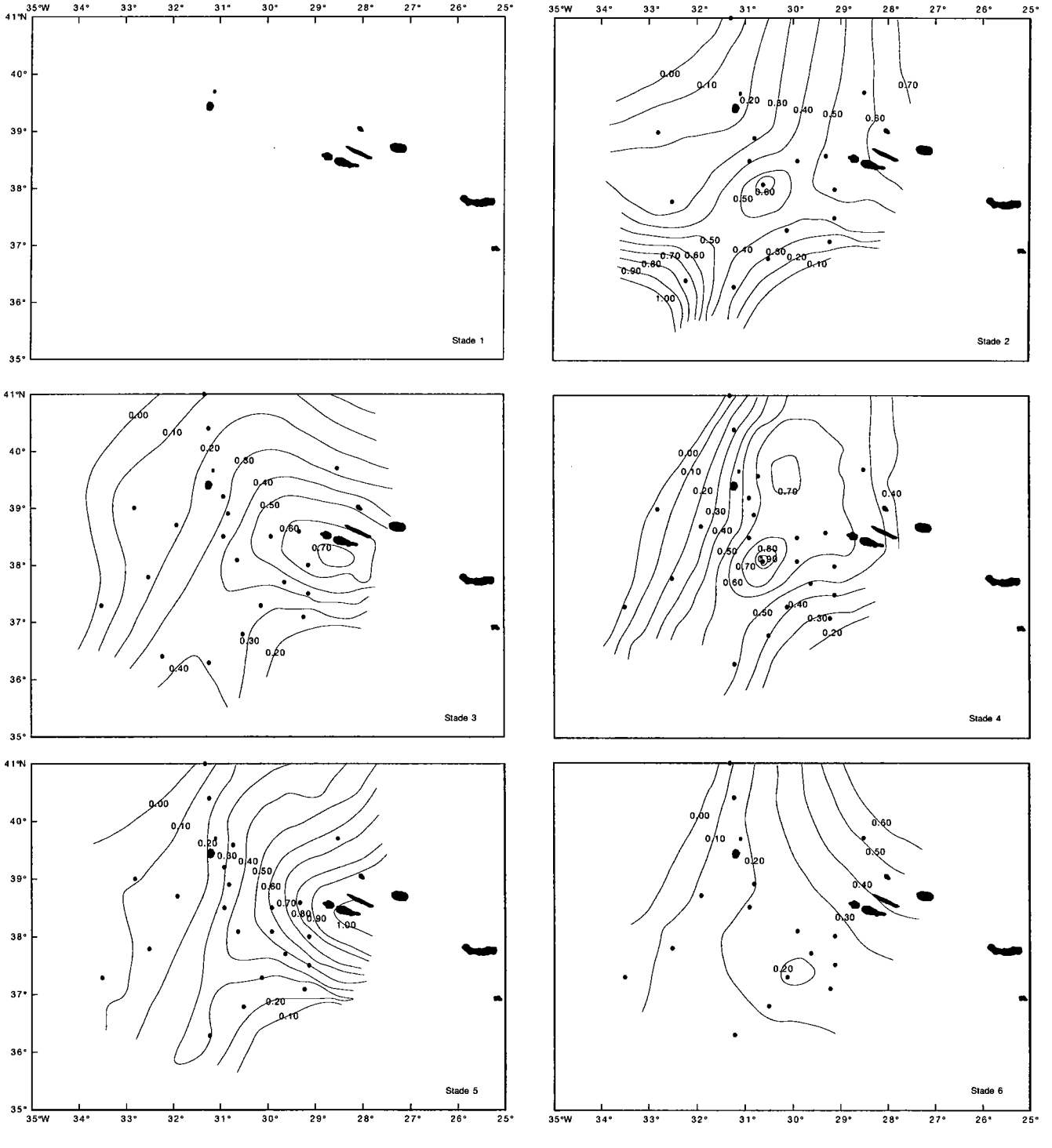


***Fig. III-23**: Flux résiduel pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.*



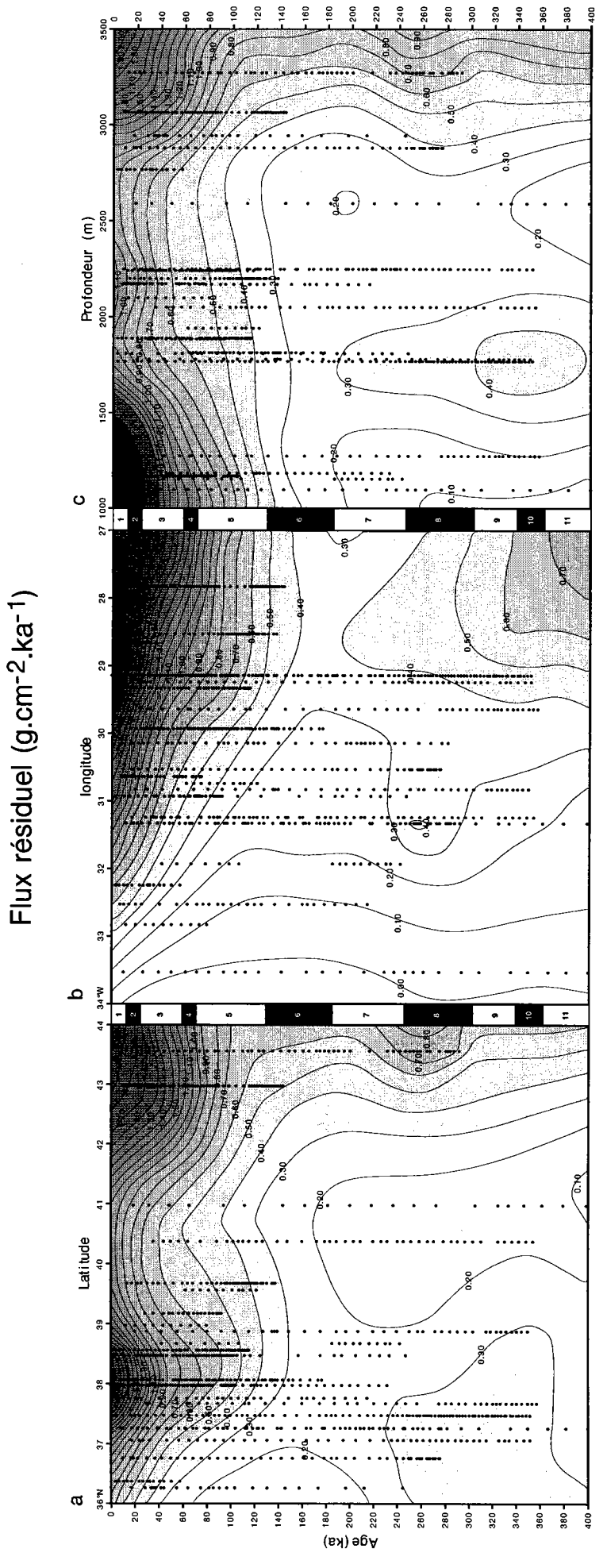


***Fig. III-24**: Variation du flux résiduel durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Les variations montrent peu lien avec ces 3 paramètres car les très forts flux enregistrés dans les failles transformantes masquent les plus faibles teneurs hors axe. De même les variations temporelles sont biaisées par le fait que les carottes à forts flux s'arrêtent à des âges plus jeunes que les autres carottes, la baisse des flux observée pour les âges supérieurs à 100 ka n'a pas de réalité.*

1.5. Flux de spicules

Récent (Fig. III-31)

Les flux sont compris entre 0 et 365 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 57 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 84 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma de variation est similaire à celui du plancton siliceux, seul le site de la ride sédimentaire de Faial (carotte KG24) montre un flux beaucoup plus important à 365 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le rapport entre les bassins de la dorsale et la zone hors axe est également d'environ 100. On retrouve une légère corrélation des teneurs avec la profondeur (Fig. III-33) et une meilleure corrélation négative avec la distance aux îles (Fig. III-34). Les abords ouest de Faial montrent également des flux relativement élevés.

LGM (Fig. III-32)

Les flux sont compris entre 0 et 520 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 80 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 133 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma de variation est similaire à celui du plancton siliceux, et le contraste axe-hors axe est légèrement plus fort qu'au récent. La corrélation avec la profondeur est légèrement meilleure qu'au récent mais la distance aux îles montre une corrélation négative.

1.6. Flux de feldspath

Récent (Fig. III-36)

Les flux sont compris entre 0 et 0.97 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 0.21 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 0.26 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le schéma de variation est sensiblement le même que pour les autres flux récents. La carotte KB07 montre un flux exceptionnellement faible pour un bassin transformant (0.16 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$), dans ce contexte les autres flux sont 3 fois plus élevés. La zone du Lucky Strike (KG05) montre également un flux relativement plus faible que pour les autres composants. Le contraste entre l'axe et le domaine hors axe semble s'atténuer vers le sud. Ceci se traduit par une corrélation négative entre le flux et la distance aux îles (Fig. III-39). La profondeur n'exerce aucun contrôle (Fig. III-38).

LGM (Fig. III-37)

Les flux sont compris entre 0 et 0.52 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec une moyenne de 0.13 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et un écart-type de 0.11 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Le contraste entre les bassins de la dorsale et le domaine hors axe est moins marqué qu'au récent. Les flux les plus forts se situent aux plus grandes profondeurs (Fig. III-38), mais la distance aux îles n'exerce pas de contrôle.

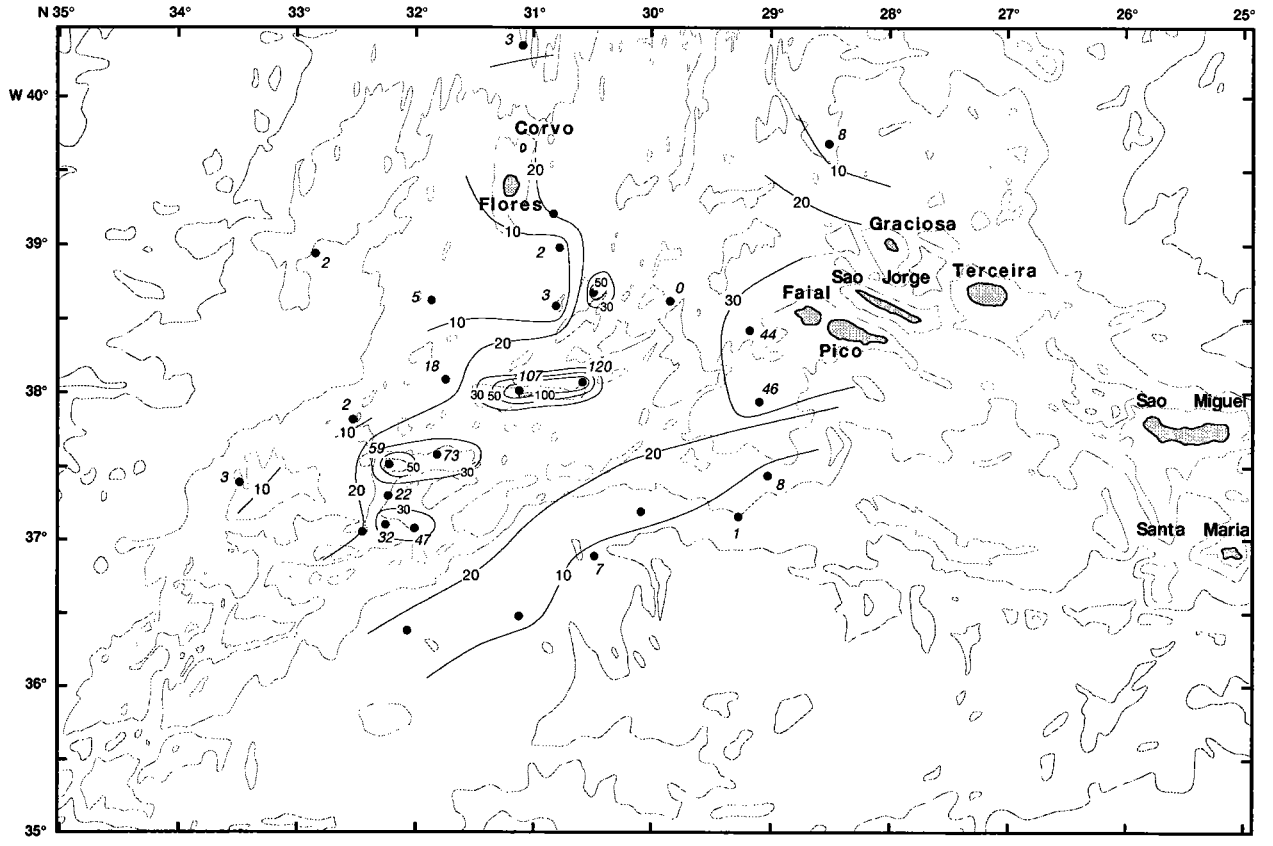


*Fig. **III-25**: Flux de plancton siliceux en surface (mg.cm^{-2}.ka^{-1}) calculé à partir de la teneur en plancton siliceux, de la densité du sédiment de surface, et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka). Le plancton siliceux est en totalité composé de radiolaires.*

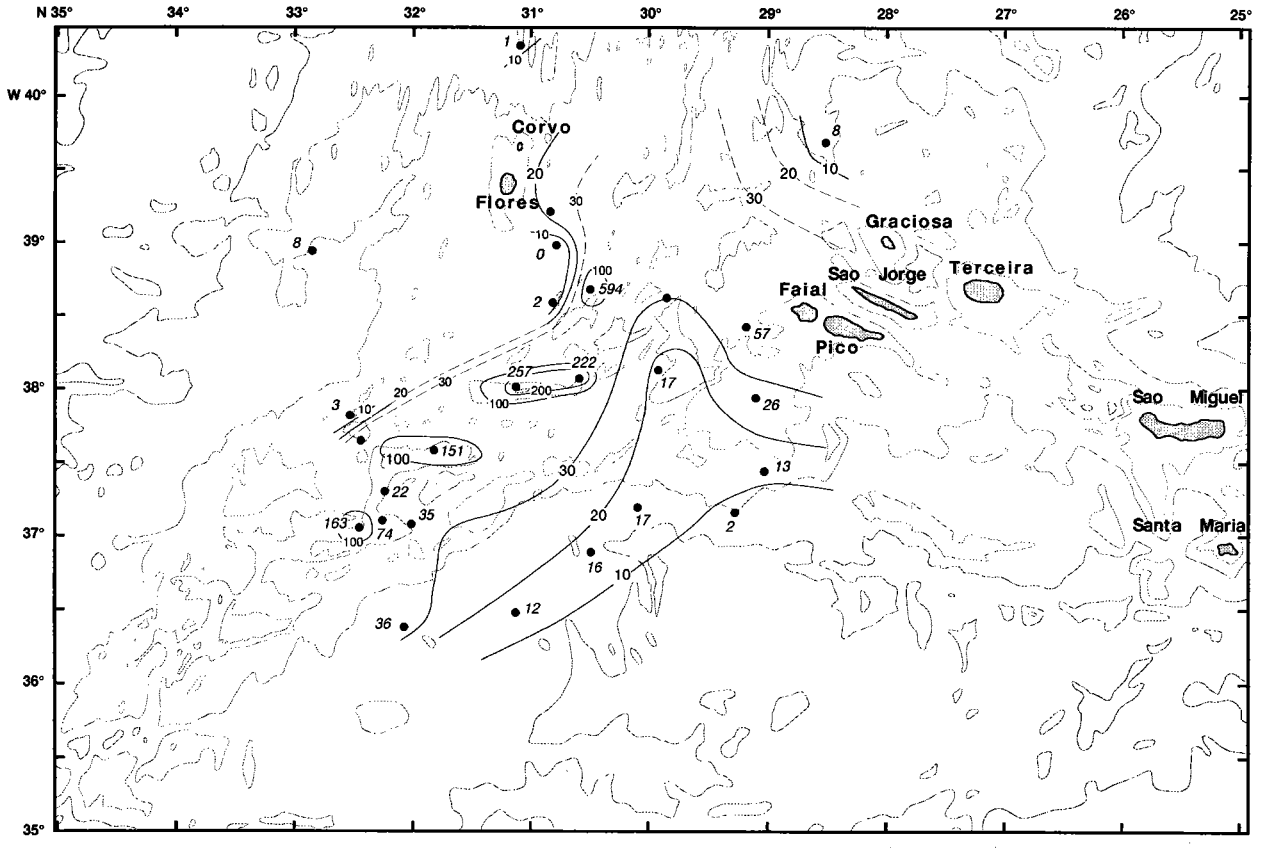


*Fig. **III-26**: Flux de plancton siliceux LGM (mg.cm^{-2}.ka^{-1}) calculé à partir de la teneur en plancton siliceux, de la densité du sédiment LGM, et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka). Le plancton siliceux est composé essentiellement de radiolaires et localement de 50% de diatomées.*

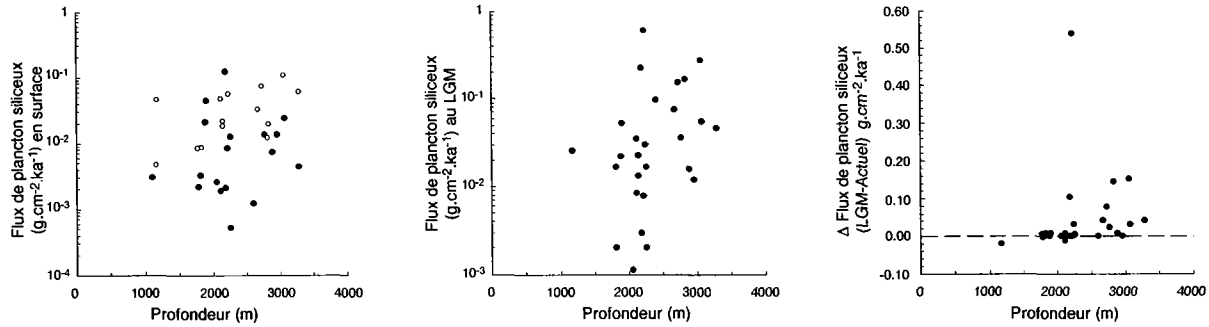


***Fig. III-27**: Variation du flux de plancton siliceux ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent à se situer aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est plus marquée au LGM. Les flux LGM tendent à être plus importants que les flux actuels, cette tendance est plus forte aux grandes profondeurs.*

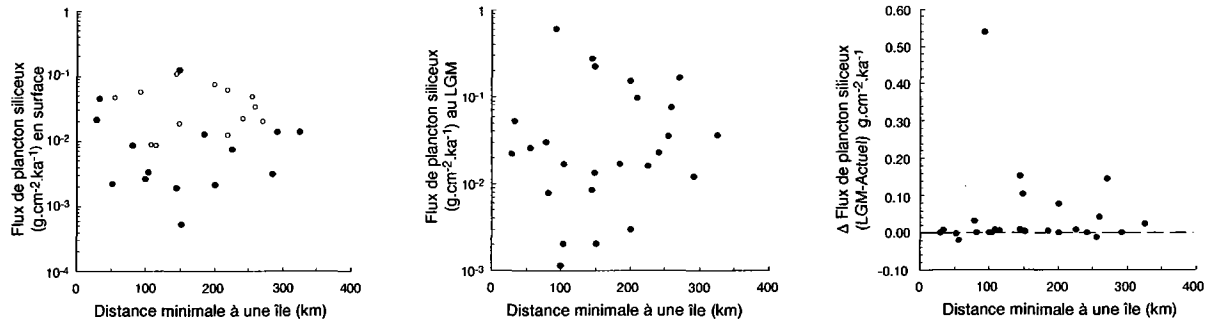


***Fig. III-28**: Variation du flux de plancton siliceux ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Ce paramètre n'exerce pas de contrôle sur les flux.*

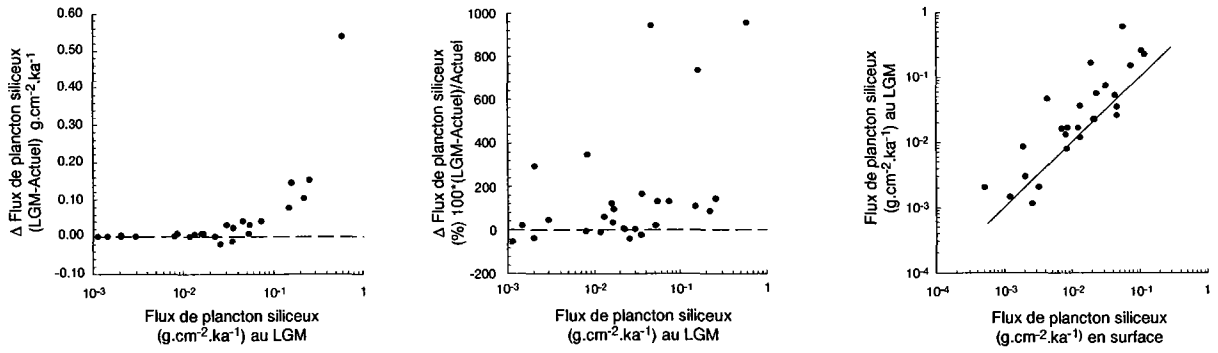


***Fig. III-29**: Variations absolues ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et relatives (%) du flux de plancton siliceux actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. L'augmentation LGM des flux est sensiblement plus importante pour les forts flux LGM. Les faibles flux LGM montrent même une légère baisse. D'une manière générale les flux de plancton siliceux LGM sont supérieurs aux flux actuels.*

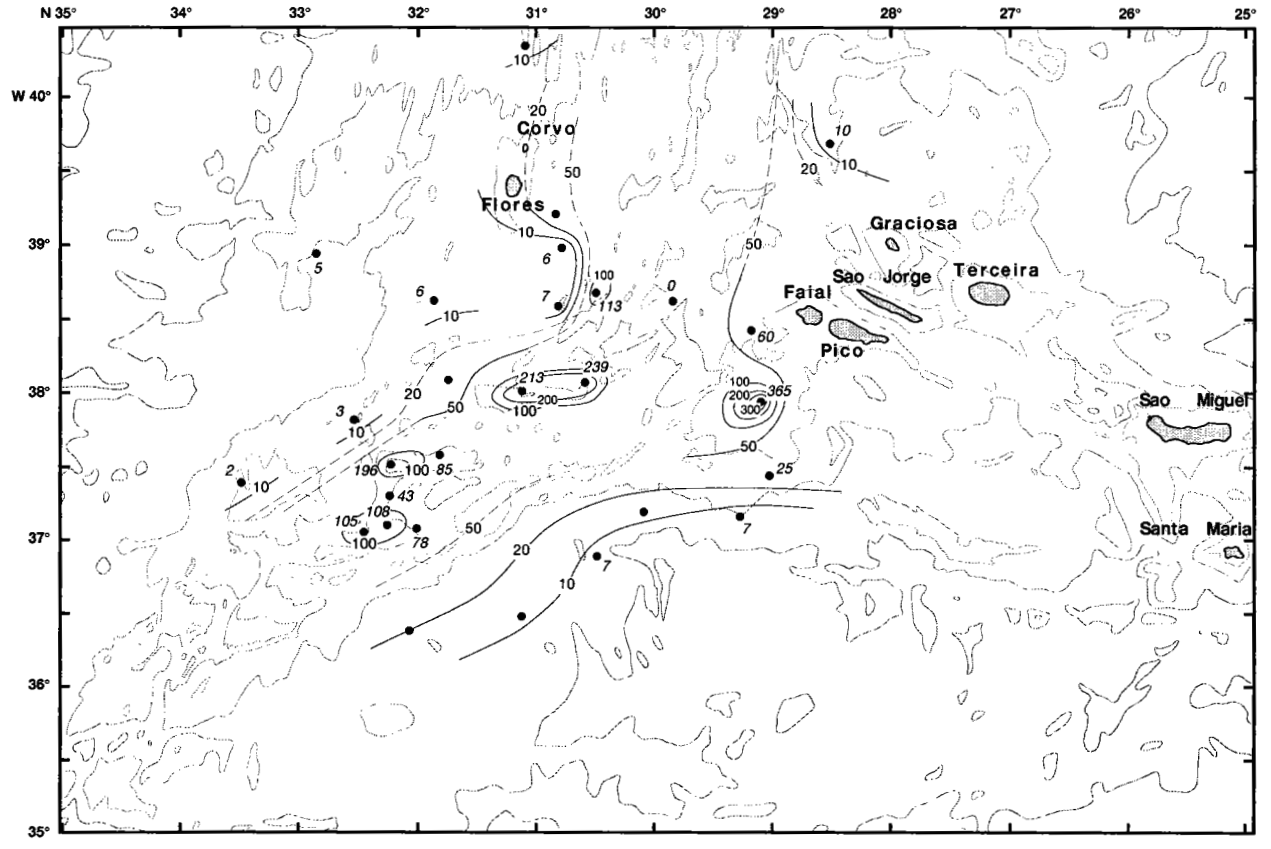


*Fig. **III-30**: Flux de spicules en surface ($mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en spicules, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

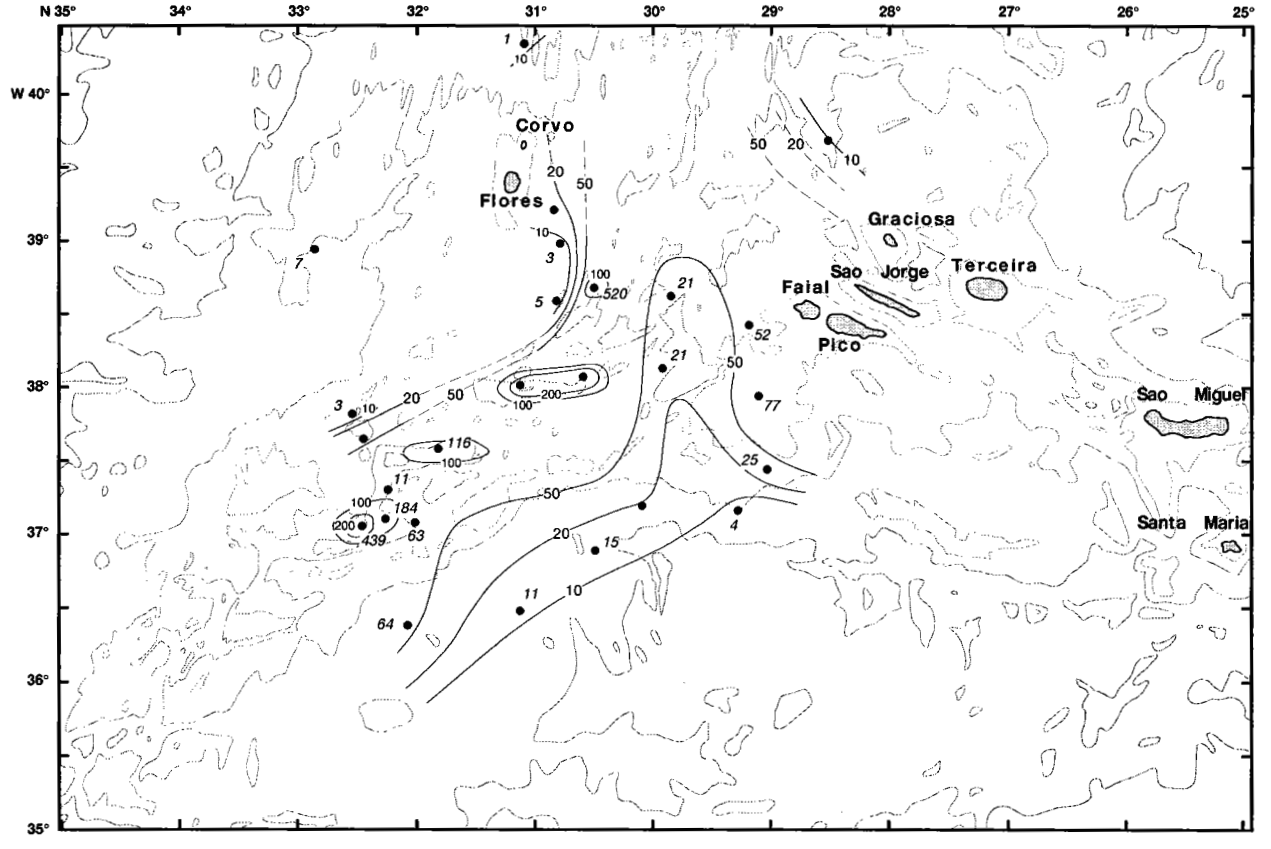


*Fig. **III-31**: Flux de spicules LGM ($mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en spicules, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).*

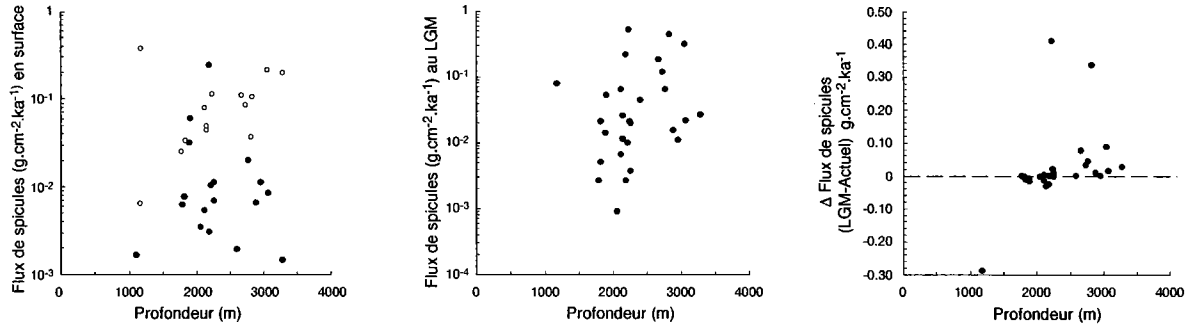


***Fig. III-32**: Variation du flux de spicules ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent légèrement à se situer aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est plus marquée au LGM. Les flux LGM tendent en moyenne à être similaires aux flux actuels, mais ils augmentent sensiblement aux grandes profondeurs.*

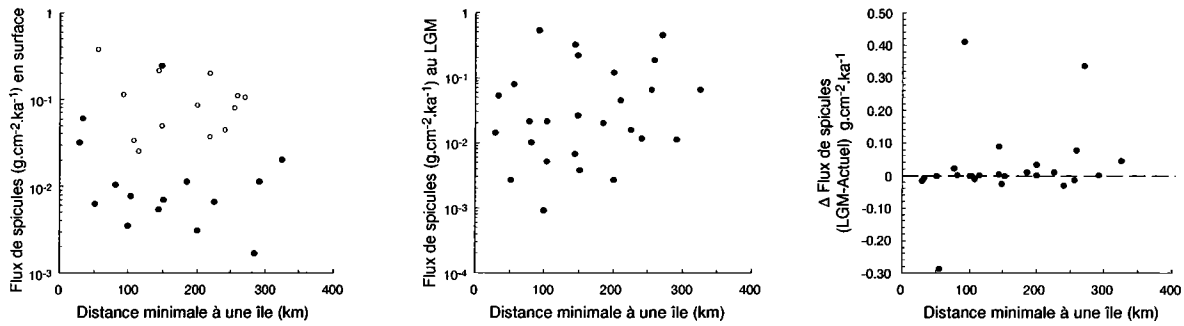


***Fig. III-33**: Variation du flux de spicules ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Ce paramètre n'exerce pas de contrôle sur les flux.*

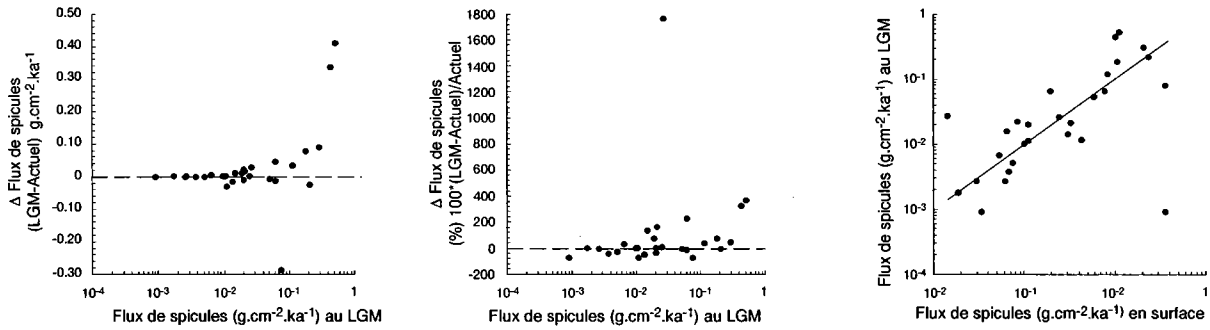


***Fig. III-34**: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux de spicules actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les flux LGM sont sensiblement plus importants qu'à l'actuel pour les forts flux. D'une manière générale les flux de spicules LGM sont similaires aux flux actuels.*

1.7. Flux de verre volcanique

Récent (Fig. III-41)

Les flux sont compris entre 0 et 2519 mg.cm^{-2}.ka^{-1}, avec une moyenne de 96 mg.cm^{-2}.ka^{-1} et un écart-type de 436 mg.cm^{-2}.ka^{-1}. Il existe cependant un point (91-KS06) où l'interface est composée à 76% de verre volcanique correspondant à un flux de 2519 mg.cm^{-2}.ka^{-1}. Sans ce point la moyenne est de 20 mg.cm^{-2}.ka^{-1} et l'écart-type à de 30 mg.cm^{-2}.ka^{-1}. Le schéma de variation ressemble dans les grandes lignes à celui des autres composants. La zone Lucky Strike montre un flux anormalement élevé (65 mg.cm^{-2}.ka^{-1}) ce qui représente un maximum pour ce segment de dorsale, en tenant compte des bassins au nord et au sud. La partie est du bassin transformant à 37°N montre des flux faibles (23 mg.cm^{-2}.ka^{-1}, KG16) à nul (KG17). On ne distingue pas de corrélation vis à vis de la profondeur (Fig. III-43) ni de la distance aux îles (Fig. III-44).

LGM (Fig. III-42)

Les flux sont compris entre 0 et 231 mg.cm^{-2}.ka^{-1}, avec une moyenne de 33 mg.cm^{-2}.ka^{-1} et un écart-type de 50 mg.cm^{-2}.ka^{-1}. Le contraste axe-hors axe semble s'atténuer dans la partie sud de la région. On ne distingue pas de corrélation avec la profondeur (Fig. III-43) ni avec la distance aux îles (Fig. III-44).

2. Variabilité spatiale des flux

Les flux enregistrés sur le plateau des Açores se caractérisent par une grande variabilité spatiale. Les rapports entre flux élevés et faibles sont généralement compris entre 40 et 250 au récent et entre 25 et 1000 au LGM. Ces variations sont enregistrées sur des distances comprises entre 50 km et 450 km. Si la variabilité spatiale est toujours importante on constate que celle-ci diffère sensiblement d'un composant à l'autre. Les flux de carbonates et de terrigène varient d'un facteur 40 à 100 au récent et 100 à 170 au LGM, celui de la silice biogène d'un facteur 250 au présent et 550 au LGM, et celui des apports volcaniques d'un facteur 220 au présent et 25 à 1000 au LGM. Nous allons discuter d'une part l'origine de la forte variabilité observée pour tous les composants, et d'autre part ces fortes différences de variabilité d'un composant à l'autre. Le flux résiduel sera assimilé au flux terrigène car ce dernier y contribue pour 65% au récent et 60% au LGM.

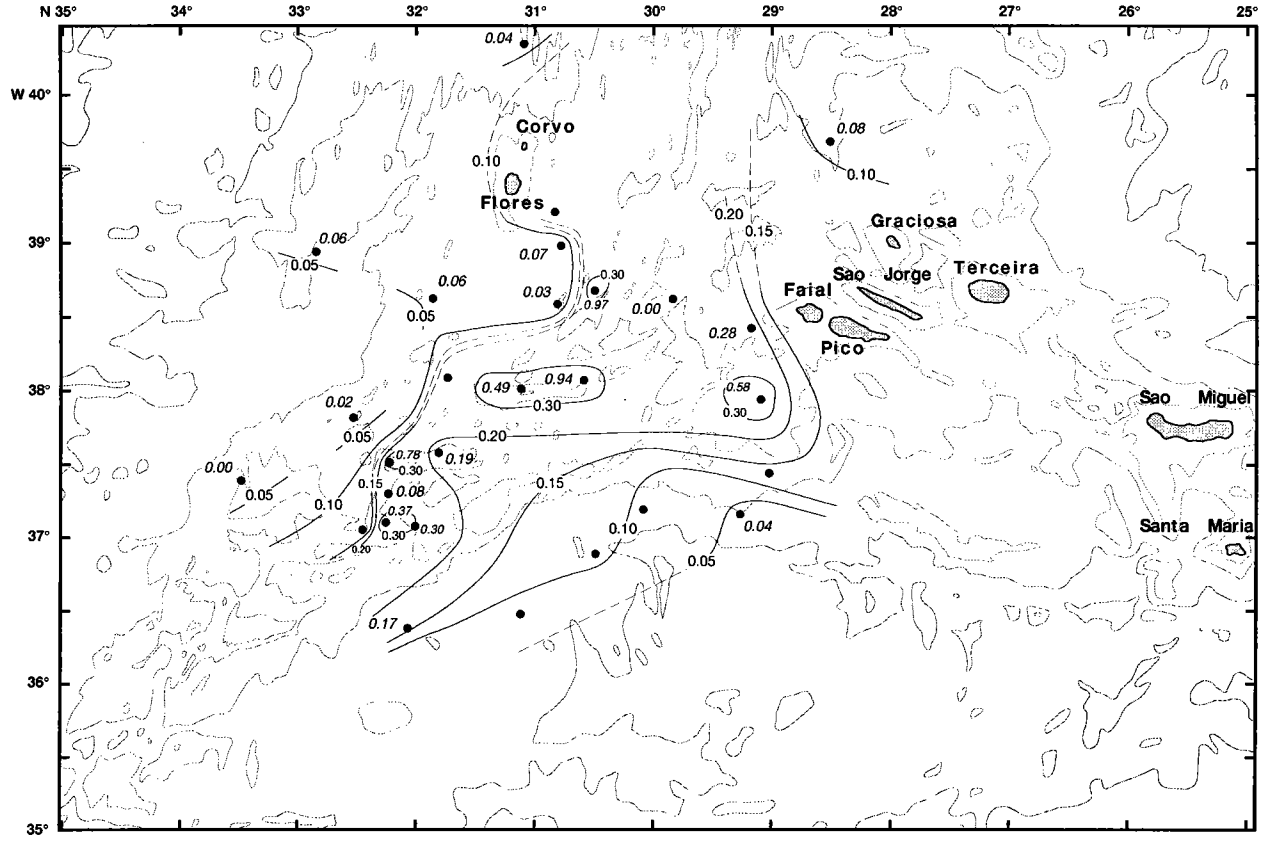


*Fig. **II-35**: Flux des feldspaths en surface ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en feldspath, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

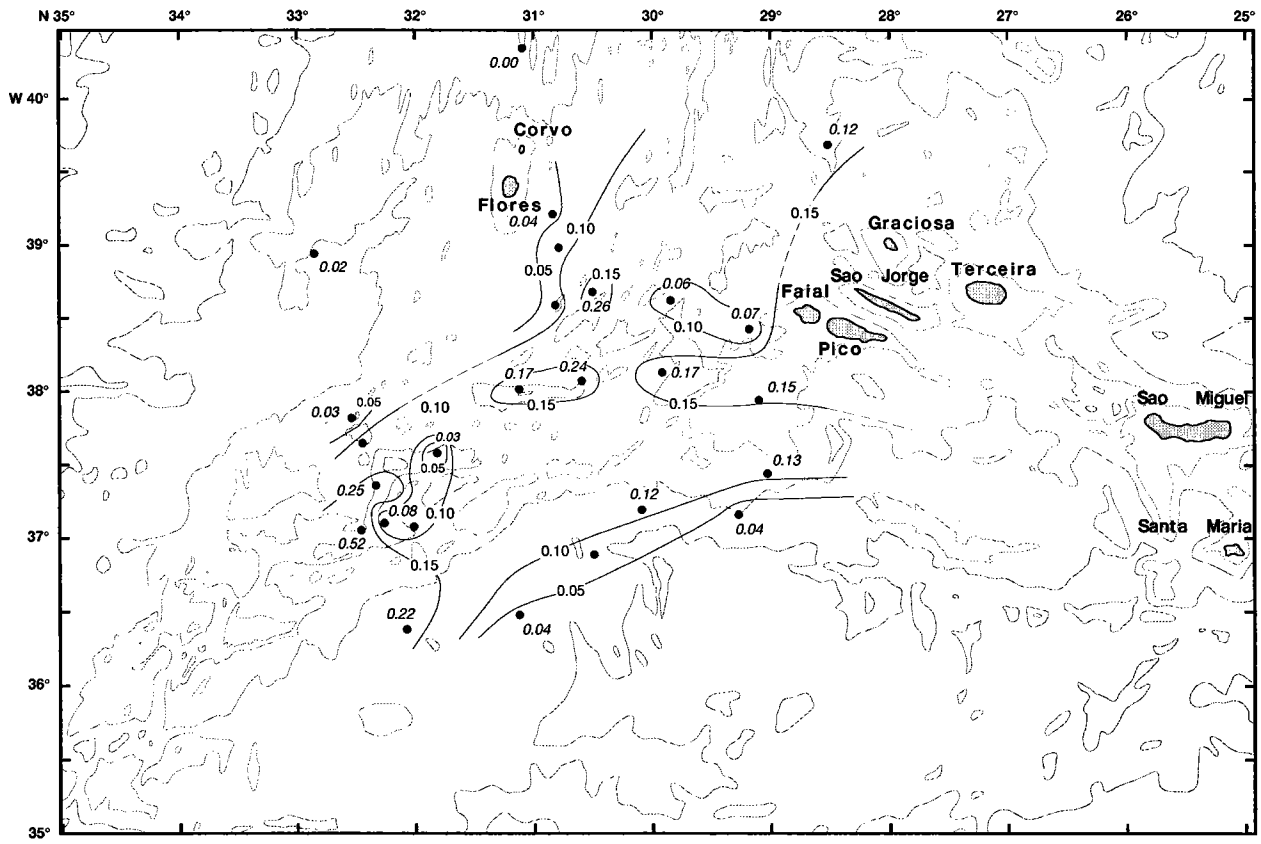


***Fig. III-36**: Flux des feldspaths LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en feldspath, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).*

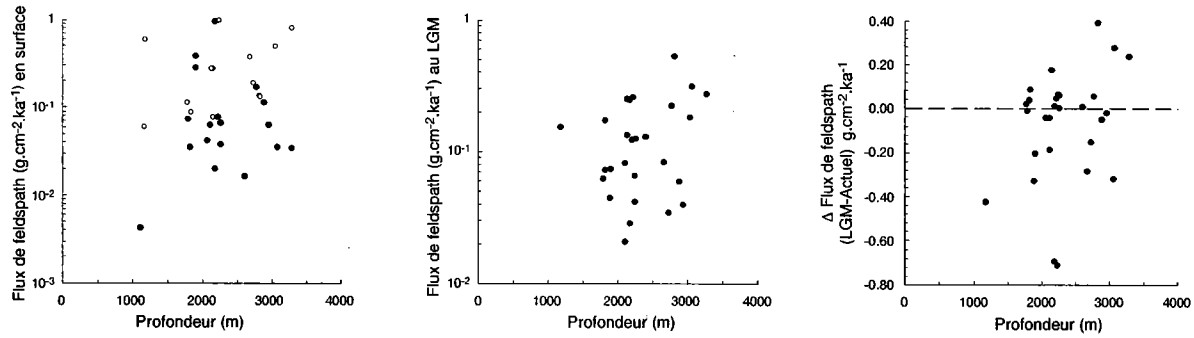


Fig. III-37: Variation du flux de feldspath ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. Il n'y a pas de corrélation franche avec la profondeur, néanmoins au LGM les teneurs semblent plus importantes aux grandes profondeurs. Aux grandes profondeurs les flux LGM sont supérieurs aux flux actuels, par contre ils tendent à être plus faibles aux faibles profondeurs.

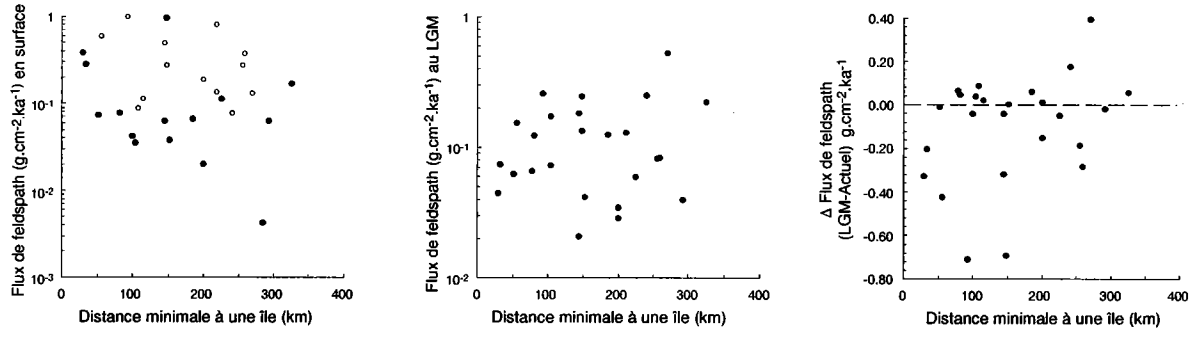


Fig. III-38: Variation du flux de feldspath ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Actuellement les plus fortes teneurs se situent à proximité des îles, cette tendance n'est pas visible au LGM. Les flux LGM tendent à être plus faibles qu'à l'actuel près des îles et plus forts loin des îles, néanmoins ces tendances sont peu marquées.

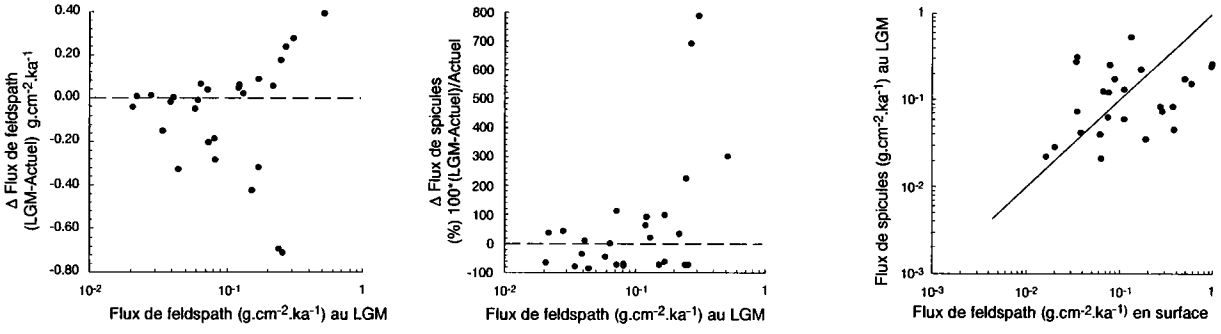


Fig. III-39: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux de feldspath actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les flux LGM élevés montrent une forte hausse vis à vis des flux actuels, inversement les faibles flux actuels enregistrent une baisse importante au LGM.

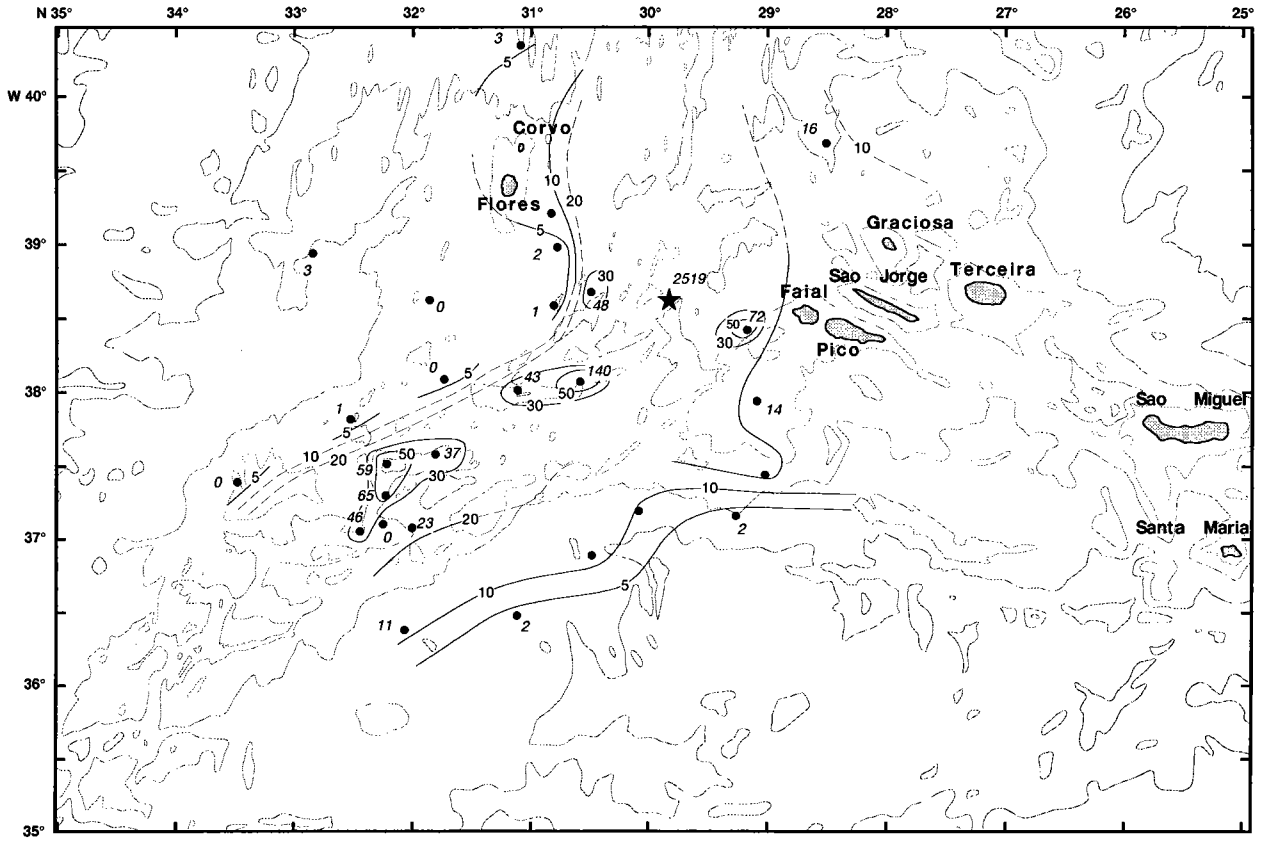


*Fig. **III-40**: Flux de verre volcanique en surface (mg.cm^{-2}.ka^{-1}) calculé à partir de la teneur en verre volcanique, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).*

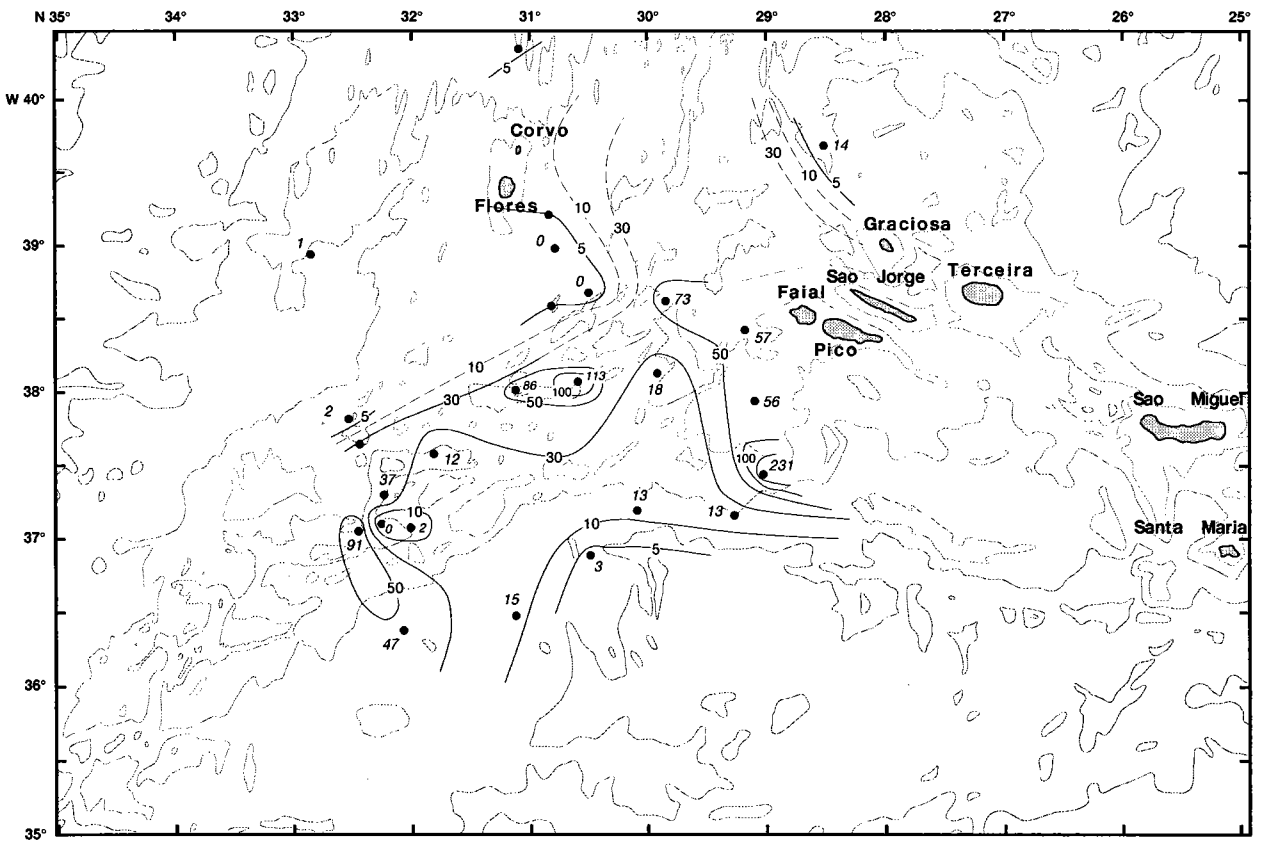


*Fig. **III-41**: Flux de verre volcanique LGM (mg.cm^{-2}.ka^{-1}) calculé à partir de la teneur en verre volcanique, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).*

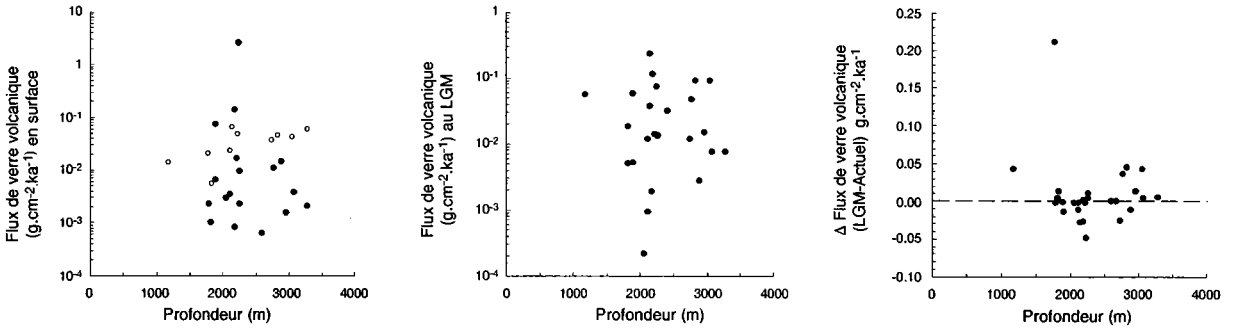


***Fig. III-42**: Variation du flux de verre volcanique ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. Il n'y a pas de corrélation avec la profondeur, ni actuellement ni au LGM. Les hausses LGM, vis à vis de l'actuel concernent surtout les grandes profondeurs, les baisses les faibles profondeurs.*

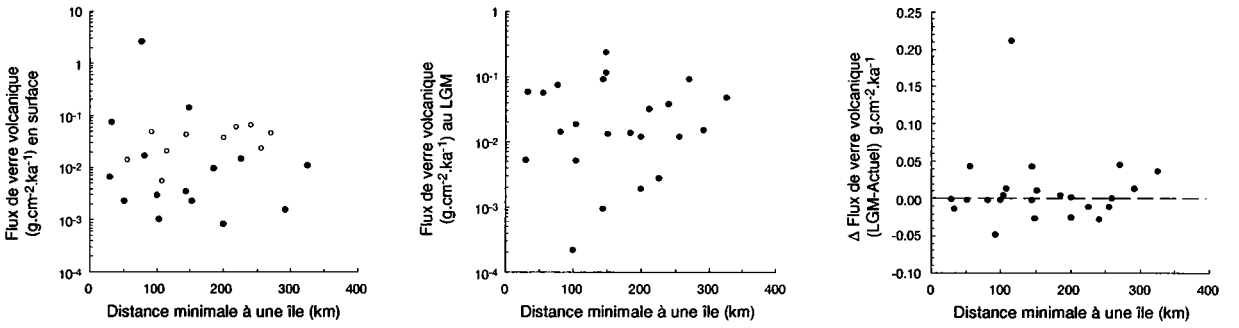


***Fig. III-43**: Variation du flux de verre volcanique ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Il n'y a pas de corrélation avec la distance aux îles, ni actuellement ni au LGM. Les variations ne sont pas non plus corrélées à la distance aux îles.*

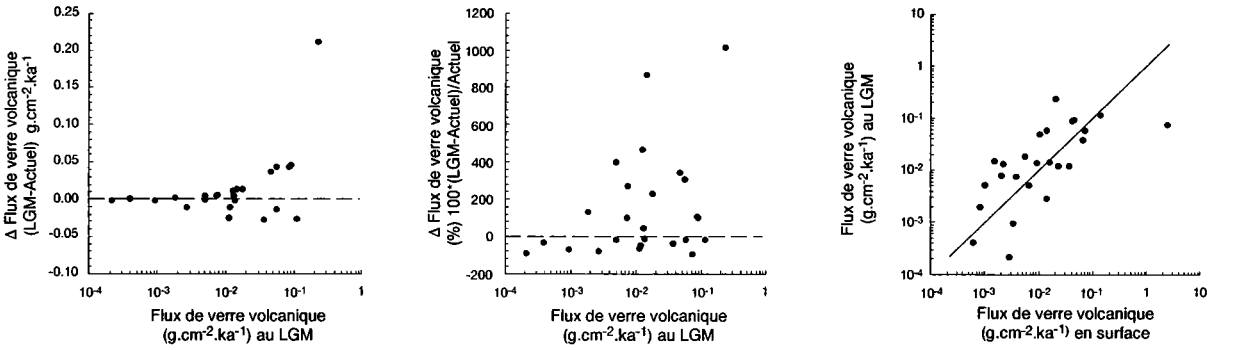


***Fig. III-44**: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux de verre volcanique actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les hausses concernent surtout les zones à fort flux LGM.*

2.1. Variabilité à la source

Le terme source signifie le flux "primaire" de particule. Dans le cas du matériel biogène pélagique (foraminifères, nannofossiles, radiolaires, diatomées), terrigène, volcanogène en provenance des îles ce flux peut être considéré comme "vertical" car les particules transitent par la colonne d'eau. Il est néanmoins évident que ce transfert "vertical" s'effectue le long d'un parcours horizontal qui peut être important. Dans le cas du matériel biogène benthique (foraminifères, spicules de spongiaires) et du volcanogène en provenance de la dorsale il ne constitue pas à proprement parler un flux vertical, puisque l'origine du matériel est le fond marin, mais il peut néanmoins être traité comme tel, dans le sens d'un taux d'accumulation sur le fond.

Flux résiduel

A l'échelle de l'océan le flux total décroît lorsqu'on s'éloigne des continents [Emery & Uchupi, 1984], (Fig. III-46A).Grousset [1985] a montré que les flux terrigènes moyen holocène de 65°N à 45°N décroissent du nord vers le sud de 0.5 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ tous les 100 km pour passer de 13 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ à 1.7 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, la "valeur résiduelle régionale". Ce gradient linéaire est attribué à une advection du matériel en provenance de l'Islande par les courants de fond et à des aérosols nord-américains. A 45°N, au niveau de la dorsale, chacune de ces deux sources contribue pour moitié au flux terrigène, le continent européen ne contribuerait au maximum que pour 10% du flux terrigène [Grousset, 1985]. Cremer [1992] montre que le flux terrigène décroît rapidement de la marge européenne vers l'ouest dès que le talus continental est franchi pour atteindre des flux inférieurs à 1 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, sensiblement constants jusqu'à la longitude des Açores. Ces travaux tendent à montrer que le plateau des Açores se trouve en fin de parcours des apports terrigènes et que le flux moyen enregistré devrait être inférieur à 1 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et constants. Les valeurs du flux résiduel (qui peut être approximé comme le flux terrigène) atteignent des valeurs comprises entre 0.03 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et 3.86 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ avec une moyenne de 0.94 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ ce qui implique des valeurs de flux supérieures à celles prédites par les sources potentielles. De tels flux et une telle variabilité impliquent d'autres processus.

Flux de carbonates

Le flux de carbonate est compris entre 0.34 et 14.53 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ pour le récent. Il est constitué essentiellement de foraminifères et de nannofossiles qui représentent 95% du flux biogène. Dans l'océan Atlantique il est compris entre 0.03 et plus de 3 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ (Fig. III-46B). Ce flux est contrôlé par la productivité primaire et par la dissolution. van Kreveld-Alfane [1996] a montré que dans l'Atlantique nord-est la lysocline est décelée vers 4000 mètres de profondeur. Cet auteur postule également qu'à 3200 mètres la dissolution de la calcite est nulle et que le flux de carbonates reflète la paléo-productivité. Nos carottes étant toutes à des profondeurs plus faibles que 3300 mètres nous pouvons également postuler que les flux

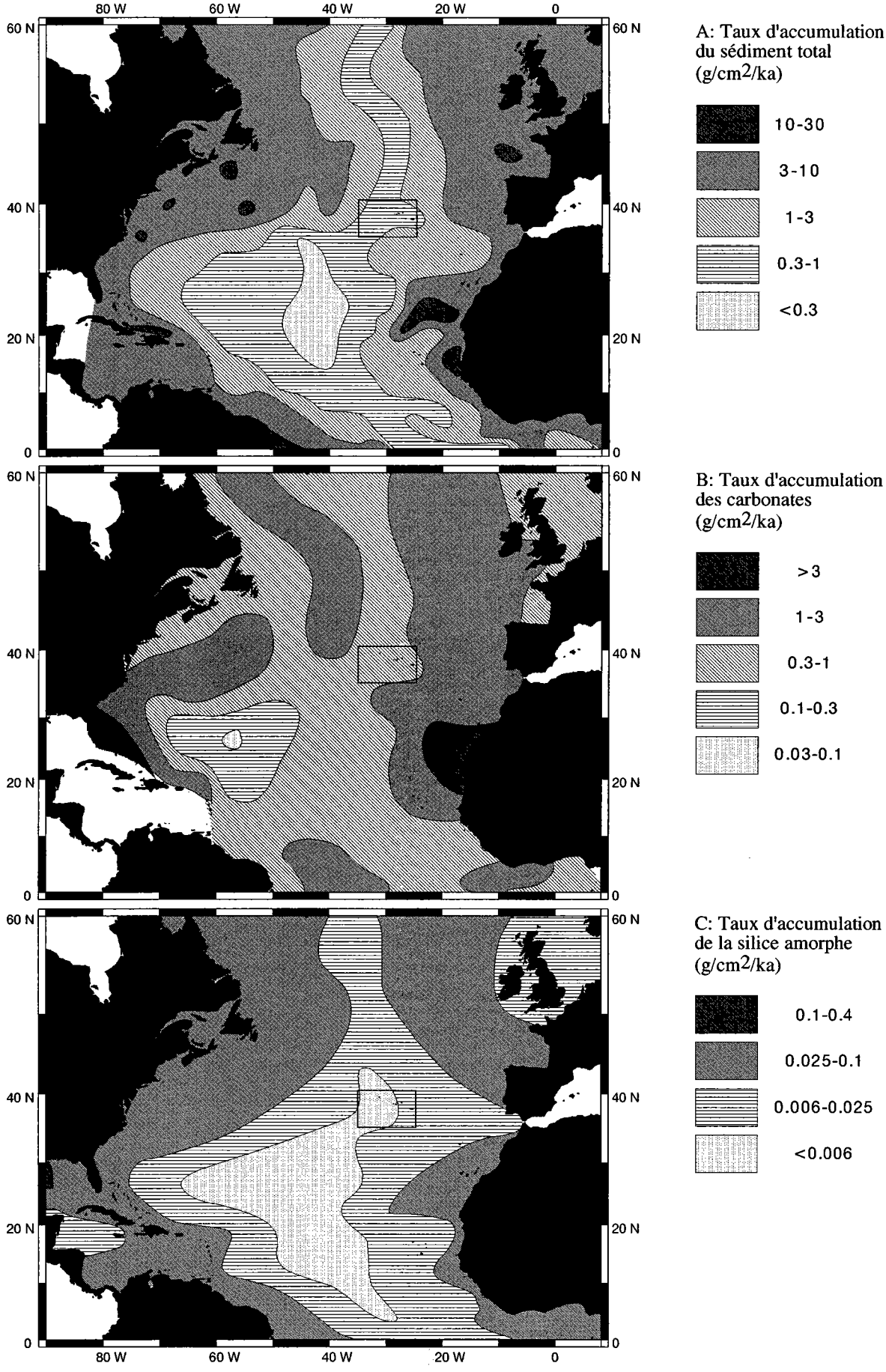


***Fig. III-45**: Les taux d'accumulation holocènes dans l'Atlantique Nord, In: Emery & Uchupi [1984]. A: sédiment total, d'après Goldberg & Griffin [1964] ; Lisitzin [1972] ; Bé et al. [1976] ; McIntyre et al. [1976]. B: Carbonates de calcium, d'après A et Biscaye et al. [1976] ; Emery et Uchupi [1972] ; Lisitzin [1969] ; Leslie [1963]. C: Silice amorphe (opale), d'après A et Lisitzin et al. [1977] ; Emelyanov [1975].*

reflètent la production (Glaciaire et Interglaciaire) et ne sont en aucun cas affecté par la dissolution, cette hypothèse est confirmée par les observations de [Müller, 1991; 1992; 1994; 1995]. La productivité carbonatée est contrôlée d'une part par les conditions de température et de salinité de l'eau de la zone euphotique. Elle est également contrôlée par la teneur en nutriments tels que phosphates et nitrates. La variabilité spatiale de la productivité est directement liée à la variabilité spatiale des masses d'eau superficielles. La carte de productivité (Fig. III-47) [Berger, 1988] montre que les variations sont une résultante de l'hydrologie de surface (la zone à faible productivité de la Mer des Sargasses est située au centre du gyre subtropical) et de la distance aux continents qui représentent la source principale en nutriments. La variabilité spatiale de la productivité est théoriquement faible à l'échelle du plateau des Açores. Durant le LGM le plateau des Açores et l'ouest de la ride médio-Atlantique à 40°N montrent bien une anomalie positive de productivité par rapport à l'océan atlantique [Coppedge & Balsam, 1992] mais elle n'explique pas la forte variabilité sur le plateau *s.l.*.

Flux siliceux

Les flux siliceux de la période récente (radiolaires, diatomées et spicules de spongiaires) sont compris entre 3 et 412 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$. Dans l'océan Atlantique ils sont compris entre 0 et 400 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ (Fig. III-46C) [Emery & Uchupi, 1984], cette carte montre que les flux siliceux du plateau des Açores devraient être compris entre 0 et 25 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$. La variabilité enregistrée sur le plateau a la même amplitude que celle observé sur l'ensemble de l'Atlantique. La productivité siliceuse des radiolaires et diatomées est soumise aux même contraintes et doit *a priori* présenter la même variabilité que la productivité carbonatée. Les diatomées sont connues pour leur capacité à répondre rapidement, sous forme de floraisons, à des conditions favorables tels qu'apports massifs de nutriments ou de silice dans l'eau. Cette caractéristique crée ainsi la possibilité d'une forte variabilité spatiale à l'échelle du plateau des Açores via l'activité volcanique et hydrothermale. Les tests siliceux sont également connus pour leur sensibilité à la dissolution, en particulier dans l'océan Atlantique nord où l'eau est pauvre en silice. La dissolution affecte les tests siliceux essentiellement dans la première centaine de mètres. Les radiolaires, au test plus robuste que les diatomées et pouvant vivre sous la zone euphotique, sont moins affectés par la dissolution que les diatomées. La dissolution peut également être conditionnée par les conditions sur le fond tels que l'agressivité de l'eau ou la vitesse d'enfouissement des tests. Les taux d'accumulation siliceux peuvent donc avoir une variabilité spatiale élevée.

Les spicules de spongiaires proviennent d'organismes benthiques qui ne sont pas soumis aux conditions de surface. Le faible séjour des spicules dans la colonne d'eau et leur robustesse tend à les épargner de la dissolution et leur flux est donc a priori directement lié à leur productivité. Les éponges sont des organismes filtreurs nécessitant des courants de fond [Heezen & Hollister, 1971]. Auffret *et al.* [1983] ont décrit des "spiculites" d'âge oligocène dans le Golfe de Gascogne en relation avec la mise en place de la circulation océanique profonde. Les éponges nécessitent également des supports rocheux et des taux de sédimentation

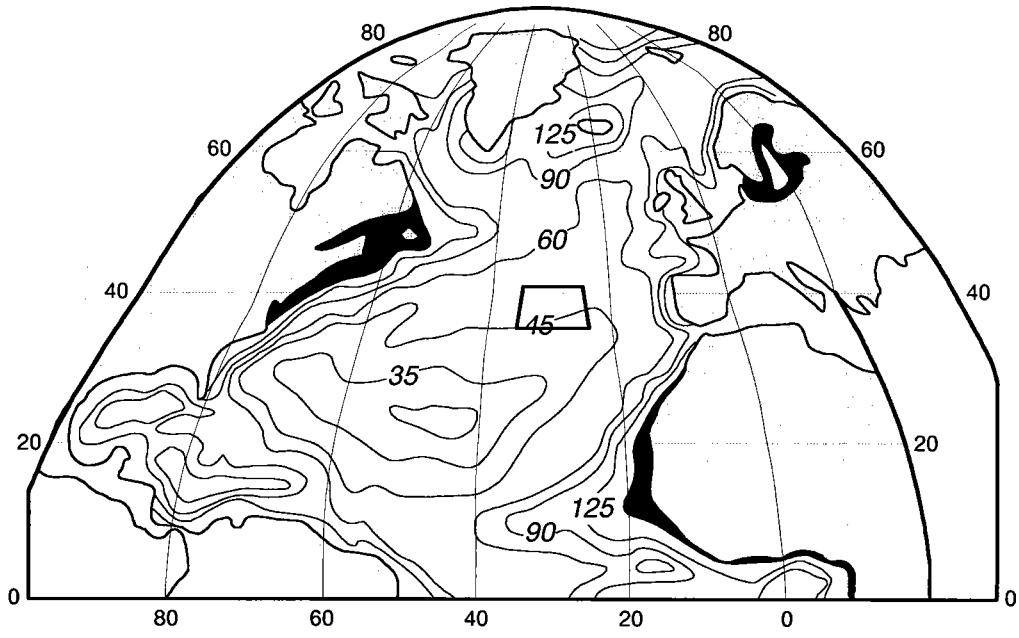


Fig. III-46 "Dahlem" map (Berger, 1988): carte de la productivité actuelle pour l'océan Atlantique, calculée d'après la combinaison des mesures par radiocarbone, de calculs d'après la teneur de l'eau en phosphates et des données satellitaires sur la teneur de l'eau en phytoplancton. Les valeurs sont en $gCm^{-2}.a^{-1}$. Le plateau des Açores est indiqué par un cadre.

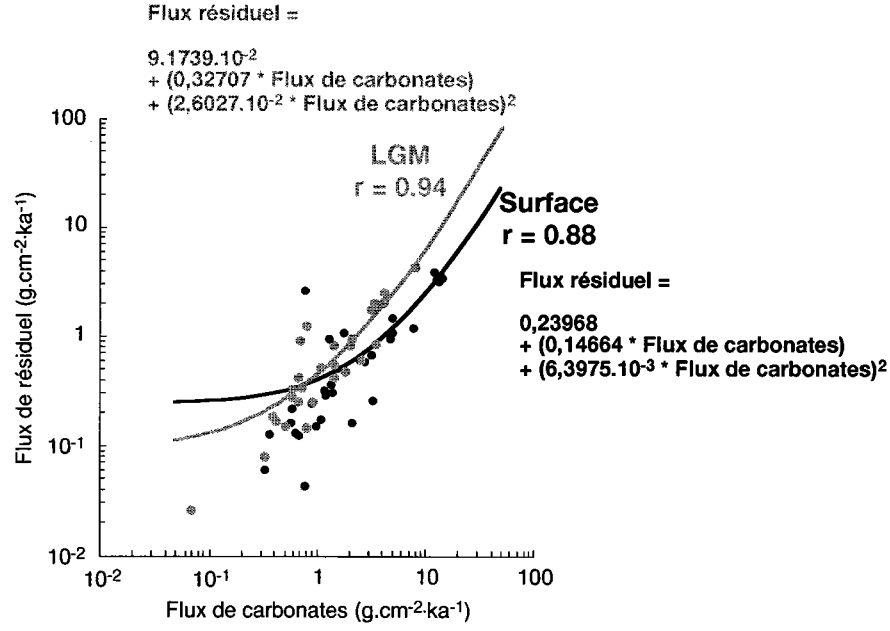


Fig. III-47: Corrélation entre le flux de carbonates et le flux résiduel pour l'actuel et le LGM. Pour les deux époques la corrélation est bien représentée par un polynôme du second degré.

faibles. Ces conditions en font un traceur potentiel de la rugosité du fond. Le rapport de 130 entre le minimum et le maximum observé au récent peut donc *a priori* refléter le contraste de rugosité entre la dorsale et le reste du plateau. Dans la carotte KF16 Richter [1996] a décrit deux niveaux de diatomite et boue à diatomées de 3 cm d'épaisseur chacun, à un âge de 14.5 ka (cal.) (Older Dryas) [Richter, 1996]. Cet auteur attribue la présence de ces niveaux à l'absence de dissolution liée aux conditions réductrices exceptionnelles dans le bassin transformant. Il semble donc que la variation des flux siliceux traduise une certaine variabilité de source et/ou des conditions de dissolution-préservation.

Flux des feldspaths

Le flux de feldspath est compris entre 0 et 520 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ actuellement et entre 0 et 966 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ au LGM. Les îles et la dorsale doivent être considérées comme les sources exclusives des feldspaths. Ceux-ci proviennent essentiellement de l'érosion des édifices volcaniques et des roches magmatiques de la dorsale. Les apports des îles sont probablement advectés par le vent et les courants de surface et de fond, les apports de la croûte océanique sont transportés par les courants de fond ou sont autochtones. La proximité des îles et les apports de la croûte nous oblige considérer que la variabilité des flux reflète une certaine variabilité des "points d'apports".

Flux de verres volcanique

Le flux de verre volcanique est compris entre 0 et 2519 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ au présent et entre 0 et 231 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ au LGM. Comme pour les feldspaths les îles et la dorsale constituent les seules sources possibles. Les verres témoignent d'un refroidissement brusque pouvant être lié à une explosion aérienne ou sous-marine, ou bien au magmatisme effusif de la dorsale. Dans le cas d'explosion la source est ponctuelle et la variabilité du flux vertical peut être grande. Pour la dorsale le verre peut être dispersé suite à un écaillage lié à l'altération de la roche et la source est dans ce cas plus homogène. La variabilité du flux reflète donc probablement une certaine variabilité de la source.

En conclusion la source peut être considérée comme spatialement homogène pour le matériel terrigène et les carbonates biogène. Elle peut être variable pour le plancton siliceux et pour les spicules pour des raisons de productivité et de préservation. Elle peut être variable pour les feldspaths et le verre volcanique pour des raisons de proximité et de ponctualité de la "source physique". La forte variabilité spatiale observée pour chaque composant implique la nécessité d'introduire un facteur de "redistribution" près du fond.

2.2. Les apports latéraux

Flux de carbonates et flux résiduels montrent une très bonne corrélation tant au récent qu'au LGM (Fig. III-48). Cette caractéristique associée à l'impossibilité de leurs sources respectives de créer la variabilité observée implique un processus dont l'origine est à rechercher dans une redistribution. Les flux élevés se rencontrent exclusivement au niveau de la dorsale médio-atlantique qui se caractérise par une forte rugosité et une forte hétérogénéité de la distribution (cf. chapitre II). Ce contexte a déjà été étudié sur la ride médio-atlantique entre 22°N et 23°N sous le nom de "ponded sediments" [Van Andel & Komar, 1969]. Les processus de vannage ou d'instabilités gravitaires (cf. chapitre IV) tendent à dénuder les reliefs et notamment les pentes <5° (cf. chapitre II) et à concentrer les particules dans les bassins qui jouent le rôle de piège à sédiment. Les apports latéraux dominent les apports verticaux mais les modalités du processus restent inconnues. Nos observations et celles de Richter [1996] ont pu mettre en évidence quelques dépôts gravitaires sur la base de la lithologie et de la texture apparente:

- La carotte 91-KS04, au nord-est du bassin de 38°N, contient un niveau sableux à foraminifères de 26 cm d'épaisseur, et 4 niveaux riches en matériel volcanique faisant entre 3 et 9 cm (cf. chapitre II), l'épaisseur totale des dépôts gravitaire est de 54 cm.
- La carotte KF16, au centre de ce même bassin, contient un niveau riche en serpentine de 20 cm d'épaisseur interprété par Richter [1996] comme un dépôt gravitaire en raison de la nature du matériel et la base nette du niveau.
- KF13 au nord-est du bassin à 37°30N contient un niveau sableux volcanique de 2 cm d'épaisseur.

KF08, KF09 et KF10 prélevées dans le bassin à 37°N, KF18 prélevées dans un bassin à 38°30, KF14 prélevées dans la partie ouest du bassin à 38°N, KF12 prélevées à 37°30N au centre du bassin et KF06 au nord-est n'en contiennent pas. Les dépôts gravitaires représentent entre 14% et 1% du volume dans les carottes et ne sont présents que dans 3 carottes sur un total de 9. En considérant la totalité du sédiment prélevé dans ce contexte les dépôts gravitaires ne représentent que 1.6% du volume de sédiment déposé durant les derniers 85 ka dans les bassins de la dorsale. Au contraire, entre 22°N et 23°N, Van Andel & Komar [1969] montrent que les apports turbiditiques représentent la majorité des dépôts. Pour notre part nous n'observons que peu de niveaux sableux d'origine gravitaire, et la stratigraphie isotopique établie sur des carottes représentatives [Boelaert, In prep.; Richter, 1996] montre un enregistrement "classique". La part des dépôts gravitaires est donc minoritaire dans les apports latéraux. Le processus d'advection latérale est suffisamment continu dans le temps pour que le signal climatique ne soit pas perturbé. Müller [1995] indique bien la présence de quelques remaniements miocènes mais ils constituent localement une composante mineure des sédiments.

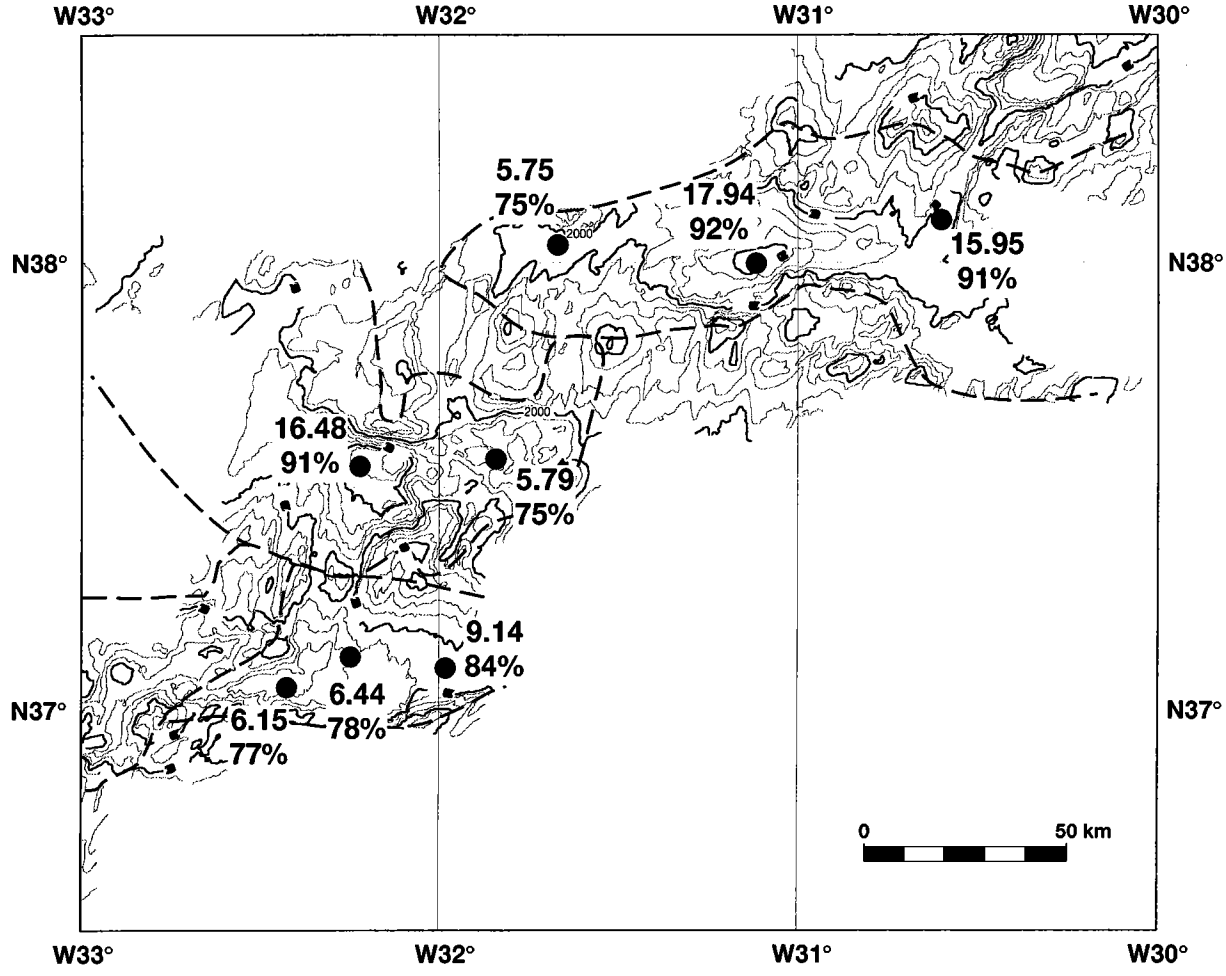


***Fig. III-48**: Flux actuel ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) du sédiment total dans les bassins transformants de la dorsale sur le plateau des Açores. Le pourcentage indiqué représente la proportion des apports latéraux en prenant un flux pélagique vertical de 1.44 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, estimé en faisant la moyenne des flux actuel pour les carottes hors axe à des profondeurs supérieures à 2000 mètres. L'importance des apports latéraux, et donc du flux total semble proportionnel à la surface du bassin (en grisé, délimité par les tirets), cela signifie que plus la surface de "piégeage" est grande plus le flux de sédiment concentré dans le bassin sera grand. A l'intérieur d'un bassin les flux tendent à être plus forts au centre et plus faibles à la périphérie, cette caractéristique reflète bien le fonctionnement du piège qui tend à concentrer les particules vers le centre du bassin.*

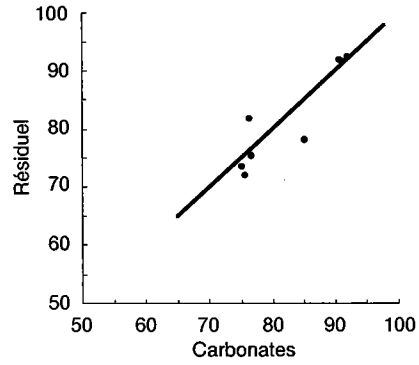


***Fig. III-49**: Comparaison du pourcentage des apports latéraux actuels pour les carbonates et les résiduels. Les deux phases subissent le même processus de piégeage.*

Importance des apports latéraux

La forte variabilité des flux rend difficile la détermination d'une valeur moyenne pour le flux pélagique "vertical". Cependant comme les apports latéraux semblent corrélés à la rugosité du plancher océanique il est raisonnable de rechercher un taux représentatif sur les fonds plats et ouverts. Les sédiments situés à des profondeurs inférieures à 2000 mètres doivent être éliminés car leur texture sableuse et les flux associés indiquent l'action d'un vannage (cf. chapitre IV). Le flux total moyen pour la période récente hors axe aux profondeurs supérieures à 2000 mètres[1] est de 1.44 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, se décomposant en carbonate (1.19 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et résiduel (0.26 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$). Il correspond à un taux de sédimentation moyen de 1.59 $cm.ka^{-1}$. En soustrayant cette estimation du flux total enregistré à l'axe on constate que les apports latéraux actuels représentent de 75% à 92% dans les bassins transformants de la dorsale. L'importance des apports latéraux est plus importante au centre du bassin qu'à la périphérie (Fig. III-49). Dans les bassins à 38°N et à 37°30N il passe ainsi respectivement de 92% à 75% et de 91% à 75%. Cette caractéristique est compatible avec la fonction de piège à sédiment qui concentre les particules vers le centre du bassin. La morphologie du fond permet de délimiter approximativement les limites des bassins versant en suivant les lignes de crêtes qui les entourent (Fig. III-49). Ceci permet de constater que le flux latéral est proportionnel à la surface du bassin. Le bassin à 37°N est double car il est traversé par une crête rocheuse, la surface de chacun de ces deux bassins est environ deux fois plus faibles que celles des bassins au nord. Le flux maximal actuel enregistré dans le bassin est deux fois plus faible que le flux maximum des deux bassins nord. Ceci semble conditionné par la surface du bassin versant. Actuellement les pourcentages du flux latéral sont sensiblement les mêmes pour les carbonates et le résiduel (Fig. III-50) ce qui montre que ces deux phases subissent le même processus de piégeage. La meilleure corrélation entre les deux flux est une équation du second degré (Fig. III-48) qui signifie une proportion des apports latéraux résiduels légèrement plus importants que pour les carbonates. Cette caractéristique est plus marquée au LGM (Tab. III-1) et reflète probablement le piégeage des particules issues du vannage au-dessus de 2000 mètres (cf. chapitres II et IV). Cremer *et al.* [1992] signalent également une bonne corrélation entre les flux de carbonates et les flux résiduels holocènes dans l'atlantique nord durant le Glaciaire et l'attribuent à des processus de transports, notamment à de l'advection liée à aux glaces dérivantes.

[1] Carottes: 90-2-KS02, 91-KS012, 91-KS03, 91-KS05, 91-KS08, 91-KS09, 92-KS02, 92-KS03, 92-KS09

	Récent			LGM		
	Total	**Carbonate**	**Résiduel**	**Total**	**Carbonate**	**Résiduel**
Flux vertical	1.44	1.19	0.26	1.13	0.83	0.30
	% de flux latéral actuel			**% de flux latéral LGM**		
91-KS04	91	91	92	82	81	85
KF16	92	92	92	77	74	82
KF14	75	75	73			
KF12	91	91	92			
KF13	75	76	72	64	62	68
KF08	84	85	78	31	27	41
KF09	78	76	82	79	76	85
KF10	77	77	75	83	81	88

***Tab. III-1**: Flux vertical récent et LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) pour les principaux composants et pourcentage du flux latéral actuel et LGM dans les bassins transformants de la dorsale.*

2.3. Variabilité du flux volcanogènes

Les apports latéraux sont peu sélectifs mais tendent néanmoins à privilégier légèrement les fines. Les flux biogènes siliceux et volcaniques étant déterminés à partir de la fraction >6.3 µm ils ne peuvent refléter une telle sélection. Dans cette hypothèse ils présentent la même proportion d'apports latéraux que les carbonates et le terrigène ; les variations de leurs concentrations dans le sédiment peuvent être interprétées en terme de variation du flux "vertical" c'est dire de source ou de préservation. Les variations lithologiques sont présentées dans le chapitre II. Le terme "flux vertical" sera utilisé pour décrire les variations des teneurs, même s'il est abusif pour le matériel volcanogène et les spicules de spongiaires. Il est utilisé par opposition au flux latéral.

Feldspaths (cf. Fig. II-

Le flux vertical de feldspath est élevé près des sources de matériel volcanique. On remarque particulièrement les apports en provenance des îles. L'autre source est Menez Gwen. Sur Lucky Strike le flux vertical élevé correspond à une concentration du sable par vannage des fines (teneur en sable de 77%). Les feldspaths représentent ainsi jusqu'à 12% du sédiment et représentent donc le facteur principal de dilution des carbonates sur le plateau des Açores. Le schéma de variation de la teneur en feldspath est similaire à celui des carbonates. L'érosion des édifices volcaniques par le vent et les courants constitue le facteur principal de dilution des carbonates. Cette caractéristique est également vraie au LGM.

Verre volcanique

Le flux vertical de verre volcanique en surface diffère de celui des feldspaths. Les maxima de flux de ces deux phases coïncident, ceci implique des sources identiques mais des mécanismes différents. Les feldspaths proviennent d'un stock dont l'érosion est constante

tandis que le verre volcanique est émis lors d'éruptions. Il en résulte une dispersion moins grande dans l'espace. Le schéma LGM est à peu près le même qu'actuellement.

2.4. Variabilité du flux biogène siliceux

Plancton siliceux

Le flux vertical de plancton siliceux tend actuellement à être est plus élevé à proximité des sources de matériel volcanique comme Corvo-Flores, Faial et Menez Gwen (cf. chapitre II) le pourcentage élevé observé sur Lucky Strike correspond probablement à une concentration liée à un vannage des fines (teneur en sables de 77%). Au récent le flux concerne exclusivement les radiolaires. Il est corrélé avec le flux de verre volcanique, soit du fait de l'association volcanisme-productivité ou d'une meilleure préservation des tests. La teneur en silice de l'eau de mer a quelques kilomètres des îles est actuellement identique à la teneur habituelle pour la région (Martine Aballéa, comm. pers.). Les îles ne n'apportent donc pas un surplus de silice susceptible de favoriser la productivité et/ou la préservation du plancton siliceux. Les flux élevés à proximité des îles sont probablement liés à des apports de nutriments. Les sources hydrothermales à l'axe de la dorsale (Lucky Strike et Menez Gwen) émettent des fluides très riches en silices, entre 3 et 15.7 mmol/l sur Lucky Strike [Fornari *et al.*, 1996] (à comparer avec les 14 µmol/l de l'eau de mer) ou entre 2.1 et 19.8 mmol/l sur TAG [Rudnicki & Elderfield, 1992] néanmoins au contact de l'eau de mer froide et basique l'essentiel de cette silice précipite et les teneurs en silice près des sources chutent à 80 µmol/l dans le panache hydrothermal près de Lucky Strike [Radford-Knœry *et al.*, In press] et entre 52 et 223 µmol/l dans le panache à TAG [Rudnicki & Elderfield, 1992]. Sur Lucky Strike ces valeurs restent supérieures aux teneurs de la région d'un facteur 4. Une telle anomalie peut être détectée Ces anomalies positives diffusent très peu verticalement mais peuvent dans le Pacifique [Feely *et al.*, 1994; Mortlock *et al.*, 1993] être détectées jusqu'à 25 km horizontalement. Le site hydrothermal de 38°20N n'est pas actuellement actif [Fouquet *et al.*, 1994] mais l'abondance du plancton siliceux peu refléter une activité passée.

Les flux élevés ne sont pas corrélés aux taux de sédimentation, la vitesse d'enfouissement joue donc un rôle minime dans la préservation des tests de radiolaires. Au LGM, par contre, les flux verticaux élevés se situent dans les bassins de la dorsale et sont composés jusqu'à 50% de diatomées. Les diatomées étant particulièrement sensibles à la dissolution ces flux élevés peuvent être interprétés par une meilleure préservation liée à l'enfouissement rapide.

Spicules de spongiaires

Le flux vertical des spicules de spongiaires reflète les conditions sur le fond car les éponges sont des organismes benthiques. Actuellement la variation des flux est similaire à celle du plancton siliceux et du verre volcanique. Les bassins transformant du sud montrent des flux

verticaux élevés, il est possible d'y voir là un signal de rugosité du fond, c'est à dire de conditions de vie particulièrement favorables aux éponges.

3. Variabilité temporelle des flux

L'étude de la variabilité temporelle se base sur le contraste Glaciaire/Interglaciaire et sur le contraste Actuel/LGM en particulier.

3.1. Flux total

Le flux total récent tend à être supérieur au flux LGM. De même le flux moyen du stade 1 tend à être supérieur au flux moyen du dernier Glaciaire (stades 2, 3 et 4). Par contre il ne se dégage pas de tendance entre le dernier Glaciaire et le stade 5 (Fig. III-6). Les variations ne sont conditionnées ni par la profondeur d'eau ni par la distance aux îles. Le bilan sédimentaire des variations LGM-Récent à l'échelle du plateau des Açores est difficile à effectuer à cause du fort contraste spatial et du problème de la représentativité des prélèvements. Néanmoins le bilan montre un flux LGM total en baisse par rapport au flux récent d'en moyenne 1.69 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ (Fig. III-5, Fig. III-6). Si on ne tient pas compte des carottes (90-1-KS01 et 90-1-KS02) situées dans la zone d'extension maximale LGM du front polaire les variations montrent un flux total LGM inférieur de 1.78 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$.Ces deux carottes montrent un flux LGM total respectivement inférieur de 0.25 et 0.78 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$.

De 30 ka au récent à haute résolution

Cette période de temps n'est étudiée que sur les carottes à fort taux de sédimentation dans les bassins transformants de la dorsale (cf. chapitre II). Ces bassins se caractérisent par des taux de sédimentation glaciaires supérieurs aux taux interglaciaires (Tab. III-2). Ces forts taux sont associés à des densités sèches basses ce qui modère, voire inverse, les contrastes des taux d'accumulation (Fig. III-9 et Tab. III-2). L'inversion entre les taux de sédimentation et d'accumulation pose question car ce phénomène n'est pas observé dans les sédiments de la carotte MD95-2037. Dans cette carotte investiguée avec le banc Geotek du Marion-Dufresne II nous observons de forts taux de sédimentation Glaciaires associés à des densités plus faibles, mais les densités sont en moyenne plus élevées que pour les 3 autres carottes (Fig. III-9) et la décroissance observée dans les densités glaciaires est plus faible. Il en résulte que les taux d'accumulation glaciaires sont supérieurs aux taux interglaciaires. Les mesures de γ-densité sur les autres carottes ont été effectuées sur le banc multi-paramètre de l'IFREMER. Des densités mesurées sur les carottes KF13, KF09 et KF16 au pycnomètre [Richter, 1996] donnent des valeurs légèrement plus élevées que nos mesures de γ-densité, mais elles produisent également occasionnellement l'inversion sédimentation-accumulation. Ce problème devra être étudié, par l'intercalibration des deux appareils de mesure. Les inversions étant également observées par Richter [1996] nous postulons qu'elles sont plausibles.

	GEOFAR-KF13		
	Taux de sédim. (cm.ka-1)	**Flux total (g.cm-2.ka-1)**	**Densité**
Stade 1 (0-12 ka)	8.2	5.8	1.46
Déglaciation (18.3-12 ka)	15.3	9.8	1.42
Glaciaire (30-18.3 ka)	15.2	7.5	1.33

	GEOFAR-KF16		
	Taux de sédim. (cm.ka-1)	**Flux total (g.cm-2.ka-1)**	**Densité**
Stade 1 (0-12 ka)	18.7	10.92	1.39
Déglaciation (18.3-12 ka)	40.7	14.45	1.25
Glaciaire (30-18.3 ka)	27.7	6.86	1.18

	GEOFAR-KF09		
	Taux de sédim. (cm.ka-1)	**Flux total (g.cm-2.ka-1)**	**Densité**
Stade 1 (0-12 ka)	8.2	6.30	1.50
Déglaciation (18.3-12 ka)	16.95	9.23	1.36
Glaciaire (30-18.3 ka)	21.43	8.22	1.26

	MD95-2037		
	Taux de sédim. (cm.ka-1)	**Flux total (g.cm-2.ka-1)**	**Densité**
Stade 1 (0-12 ka)	11.3	12.57	1.72
Déglaciation (18.3-12 ka)	28.81	26.09	1.59
Glaciaire (30-18.3 ka)	35.14	32.34	1.60

***Tab. III-2**: Taux de sédimentation, flux sédimentaire total et densité du sédiment pour les derniers 30 ka dans les bassins transformants de dorsale sur le plateau des Açores*

Les flux glaciaires tendent à être supérieurs aux flux interglaciaires, néanmoins l'écart peut-être ponctuel et très important. Les fortes hausses tendent à être observées ponctuellement durant la déglaciation (entre 18.3 ka et 12.4 ka) (Fig. III-9), mais les flux glaciaires tendent à être en moyenne supérieurs aux flux de la déglaciation. Le maximum est atteint pour la carotte MD95-2037 entre 17.1 ka et 18.3 ka (terminaison I) avec un flux de 58.6 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. Il semble que les flux sont en fait extrêmement variables, plus la résolution de la stratigraphie est fine et plus les variations sont importantes (Fig. III-9 KF16 et KF13). Ce maximum n'est pas observé dans les flux régionaux probablement du fait de la faible résolution des autres carottes. Les flux moyens pour le Glaciaire ne dépassent pas 10 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ de moyenne dans les bassins de la dorsale (Fig. III-2).

A l'échelle de l'Atlantique nord [Cremer *et al.*, 1992] mettent en évidence une quasi-stabilité des flux terrigènes holocènes et glaciaires, et une baisse glaciaire des flux de carbonates. Ces variations montrent néanmoins une variabilité spatiale, notamment sur une zone orientée NW-SE entre 45°N et 50°N caractérisée par des flux de carbonates et terrigènes glaciaires élevés. Ces apports liés aux glaces dérivantes coïncident avec la zone de délestage maximum des icebergs [Grousset *et al.*, 1993; Robinson *et al.*, 1995; Ruddiman, 1977] à la limite entre les eaux chaudes et les eaux froides. Les variations de flux Glaciaire/Récent dans l'océan Atlantique nord reflètent les variations de transports liées à la circulation de surface. Les variations observées sur le plateau des Açores sont également liées aux variations de la circulation de surface, mais la circulation glaciaire plus intense, liée à la présence du Gulfstream

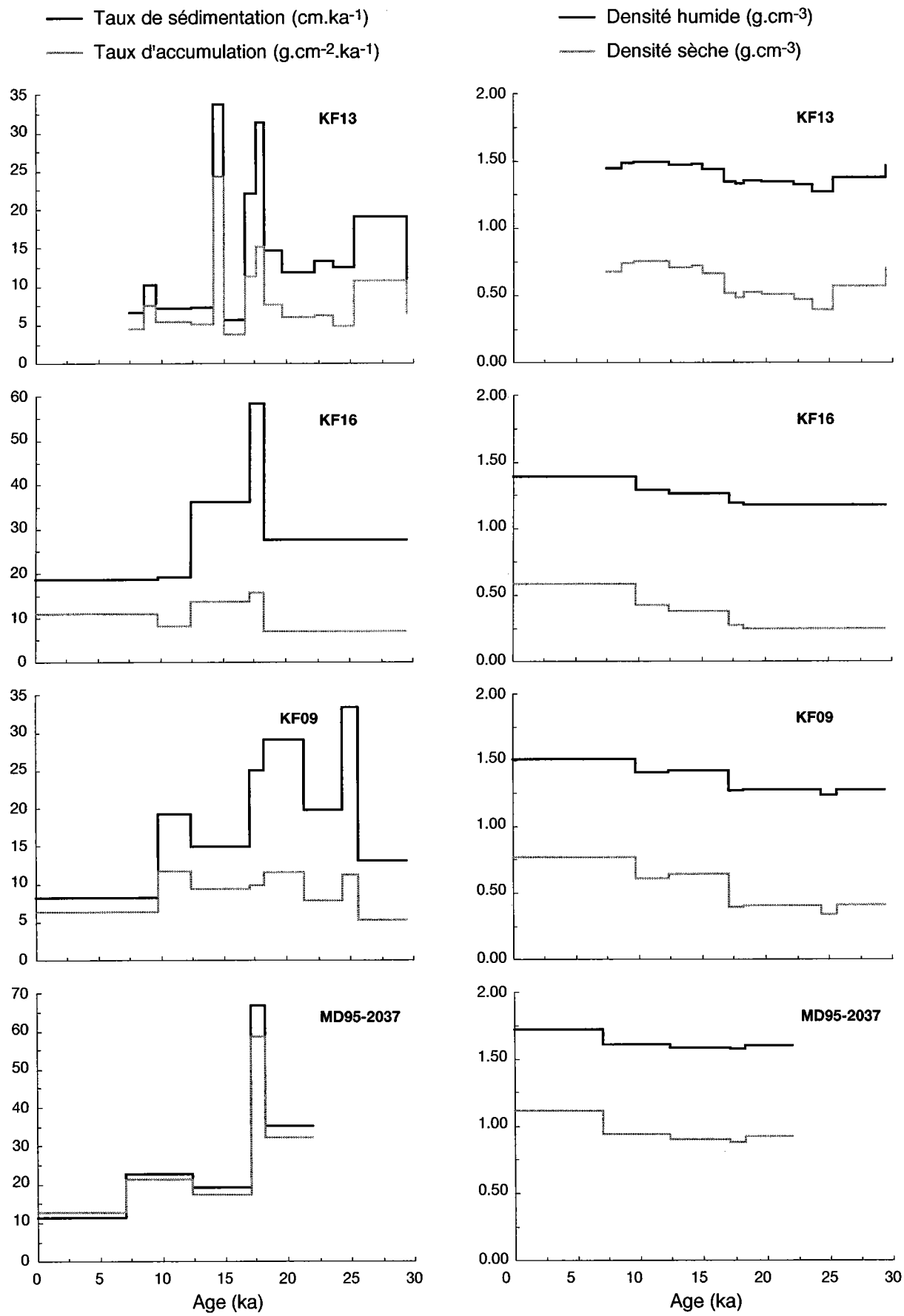


***Fig. III-50**: Comparaison des taux de sédimentation et des taux d'accumulation dans les bassins transformants sur le plateau des Açores. Les forts taux d'accumulation s'accompagne d'un forte baisse de la densité humide qui se traduit par des contrastes beaucoup plus faibles dans les taux d'accumulation. A un fort taux de sédimentation Glaciaire peut même occasionnellement correspondre un taux d'accumulation inférieur à celui observé pour un taux de sédimentation Interglaciaire plus faible.*

[Crowley, 1981] (cf. chapitre IV) n'apporte pas de matériel en provenance du nord, elle aboutit à un transfert du sédiment terrigène des faibles profondeurs vers les grandes profondeurs. Avec une meilleure résolution temporelle Richter [1996] montre que le flux LGM dans les bassins tend à être beaucoup fort durant la déglaciation (Fig. III-9) particulièrement entre 13.49-14.59 ^{14}C ka. Ce pulse est contemporain de l'événement n°1 de Heinrich caractérisé par un délestage massif d'iceberg de 45°N à 50°N. Richter [1996] suggère que l'augmentation des apports soit essentiellement liée à un plus fort apport de matériel terrigène fin, peut être à cause d'une plus forte turbidité de l'eau liée aux délestages. Nous suggérons qu'au LGM le plateau des Açores se trouve épargné par les apports terrigènes importants enregistrés au nord de 43°N, non seulement des éléments grossiers, mais également des éléments fins en suspension. Nous suggérons également que la barrière empêchant ce transport vers le sud soit probablement constituée par le Gulfstream dont la position et l'action attestée par Crowley [1981] se manifeste par un vannage des sédiments au-dessus de 2000 mètres de profondeur (cf. chapitre IV).

3.2. Flux de carbonates

Le sédiment étant riche en carbonates (minimum ≈70%) les variations du flux des carbonates sont similaires aux variations des flux totaux. Les flux LGM sont inférieurs de 1.59 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ en moyenne au flux récents. Sans les carottes 90-1-KS01 et 90-1-KS02) les flux LGM sont inférieurs de 1.61 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ avec des flux LGM inférieurs de 1.32 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ pour les deux carottes. Les flux LGM plus faibles associés à une augmentation de texture s'expliquent par la faible productivité, particulièrement des nannofossiles [van Kreveld-Alfane, 1996]. Les flux tendent également à être plus faibles aux environs du stade isotopique 7 (Fig. III-17). Les flux glaciaires tendent à être inférieurs aux flux du stade 1.

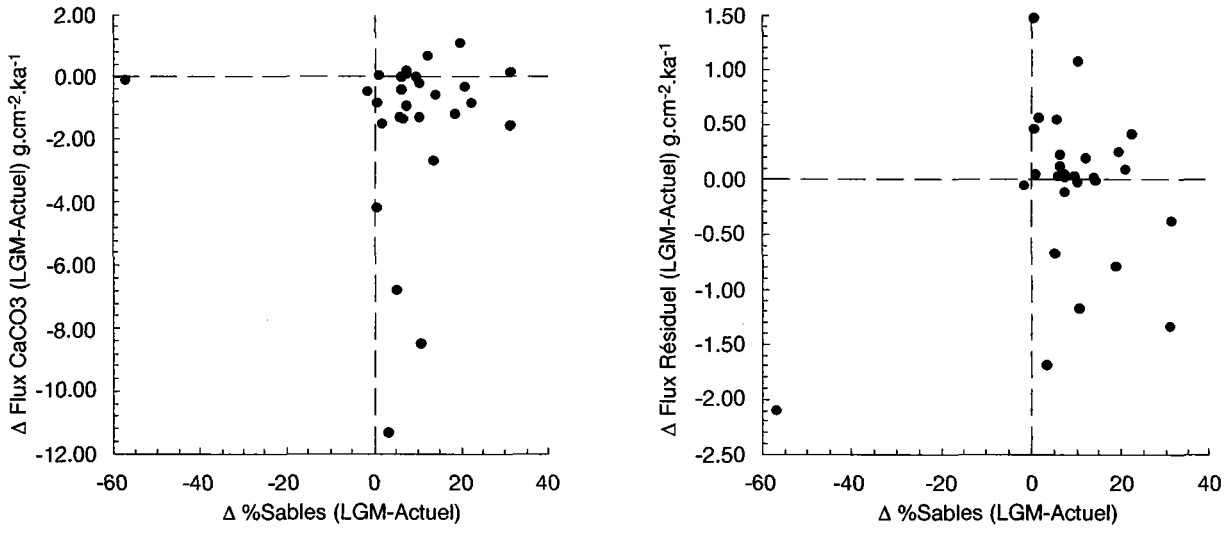


Fig. III-51: Variation des flux de carbonates et résiduels entre le LGM et l'actuel en fonction de la variation de la teneur en sables pour les mêmes époques.

3.3. Flux résiduels

Les flux résiduels LGM sont inférieurs de 0.10 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$en moyenne au flux récents. Sans les carottes 90-1-KS01 et 90-1-KS02 les flux résiduels sont inférieurs de 0.17 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, avec des flux résiduels supérieur de 1.07 et 0.55 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ pour 90-1-KS01 et 90-1-KS02 (Fig. III-23). Si on exclut de cette moyenne la carotte 91-KS06 qui contient quasiment 100% de verre volcanique en surface (compté comme du résiduel), les flux résiduels LGM et récents sont quasiment stables, seul le contraste axe-hors axe change. La même tendance est observée entre le stade 1 et le dernier Glaciaire et entre le stade 5 et le dernier Glaciaire (Fig. III-23). Les flux semblent moins importants au environs du stade 6-7. Les flux sont plus ou moins équivalents en moyenne entre le récent, le glaciaire et l'interglaciaire (Fig. III-23).

Les flux résiduels LGM tendent à être supérieurs aux flux récents pour les carottes profondes correspondant aux bassins transformants et à inférieur pour les carottes les moins profondes. A ces variations de flux sont associées des variations de texture, la teneur en sables LGM est supérieure à la teneur récente mais la teneur est beaucoup plus forte pour les flux inférieurs des faibles profondeurs que pour les flux supérieurs des bassins de la dorsale (Fig. III-51). Ces observations mettent en évidence un important vannage LGM auquel est associé un transfert de la phase résiduelle vers les bassins profond.

3.4. Flux de feldspaths

Les flux LGM sont plus faibles qu'au récent d'en moyenne 0.07 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$. L'écart est plus important pour les faibles profondeurs, mais surtout pour les faibles distances aux îles (Fig. III-39 et Fig. III-40). Le réservoir des feldspath étant *a priori* invariable entre les deux époques il faut y voir une variation des vecteurs que sont le vent et les courants. Les variations sont similaires à celles observées pour la phase résiduelle, il est donc possible que les feldspath aient subi un vannage puis un dépôt dans les bassins de la dorsale. La baisse LGM près des îles peut refléter un changement dans la direction des courants de surface.

3.5. Flux de verre volcanique

La zone à flux élevés située à l'ouest de Faial est plus étendue au LGM qu'au récent, elle s'étend vers l'ouest et vers le sud. Si on ne tient pas compte du flux présent de 91-KS06, les flux LGM sont plus élevés pour le récent de 9 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ en moyenne (Fig. III-45). La hausse concerne les grandes profondeurs tandis que les faibles profondeurs tendent à enregistrer une baisse (Fig. III-43) mais ces tendances sont légères. Les variations ne sont corrélées ni à la distance aux îles (Fig. III-44) ni au flux LGM (Fig. III-45).

Il n'est pas possible de relier les variations à un paramètre morphologique, celles-ci sont donc probablement liées aux variations des vecteurs, comme les feldspaths.

3.6. Flux de spicules

Les flux LGM sont plus élevés que les flux récents de 23 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ en moyenne (Fig. III-33, Fig. III-34 et Fig. III-35). Cette hausse semble affecter préférentiellement les flux élevés associés aux bassins de la dorsale plus nettement pour le plancton siliceux tandis que les flux des faibles profondeurs (plus faibles) tendent à légèrement diminuer (Fig. III-33). Il existe quelques augmentations significatives au LGM comme pour KF10 (+334 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) dans le bassin transformant à 37°N, et KF18 (+407 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$). A l'inverse le fort flux récent de la ride sédimentaire chute de 288 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ pour atteindre 77 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$, valeur plus "classique".

La hausse LGM est probablement à mettre en relation avec une meilleure préservation (hausse LGM des taux de sédimentation) ou à une meilleure ventilation LGM, favorable aux éponges.

3.7. Flux de plancton siliceux

Les flux LGM sont plus élevés que les flux récents de 42 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ en moyenne (Fig. III-30) mais cette moyenne inclut quelques valeurs très élevées, notamment dans la carotte KF18 ou la valeur LGM atteint 594 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ contre seulement 56 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$ au récent. Sans cette valeur l'augmentation moyenne n'est que de 24 $mg.cm^{-2}.ka^{-1}$. Elle est plus importante pour les grandes profondeurs (Fig. III-28) mais n'est pas liée à la distance aux îles (Fig. III-29).

La croissance LGM des flux correspond en partie à la présence de diatomées. Cette présence témoigne soit d'une plus haute productivité glaciaire des eaux de surface soit d'un apport de nutriments soit par un apport de silice. Une hausse glaciaire de la productivité est postulée par Richter [1996] sur la base de pic dans les teneurs en baryum du sédiment. Cet auteur associe pics de productivité aux épisodes de fontes massives d'iceberg durant les événements de Heinrich. Une forte productivité LGM est également attestée par [Coppedge & Balsam, 1992] sur la base des teneurs en carbone organique.

Une meilleure préservation LGM des tests de diatomées pourrait suffire à expliquer les flux élevés mais les facteurs productivité-préservation de la silice biogène sont en fait intimement liés [Kenneth, 1982].

4. Conclusions

• Les feldspaths et donc d'une manière générale les apports en provenance des îles contrôlent la dilution des carbonates sur le plateau des Açores.

• Le contraste Glaciaire/Interglaciaire des flux est faible en comparaison des variations enregistrées au nord de 43°N. On constate une stabilité des flux terrigène et une baisse du flux des carbonates. La baisse du flux des carbonates correspond à une baisse du flux des

nannoplanctons vis à vis des foraminifères car la teneur en sables des sédiments augmente partout au LGM.

• Le LGM est caractérisé par une augmentation de la productivité matérialisée par la présence de diatomées. Elle est probablement à mettre en relation avec le passage du Gulfstream aux Latitudes des Açores à cette époque. Cette hausse n'est pas visible dans le plancton calcaire.

• Les flux verticaux élevés de plancton siliceux à proximité de la dorsale peuvent refléter un apport de silice provenant d'une activité volcanique sous-marine sporadique ou des sources hydrothermales Lucky Strike et Menez Gwen. Les flux élevés à proximité des îles s'expliquent probablement par des apports de nutriments car les apports de silices sont inexistants.

• La variabilité spatiale des flux, à l'échelle du plateau, est contrôlée par la morphologie et se traduit par des apports latéraux plus ou moins importants. Il est possible de distinguer les bassins de la dorsale où ces apports dominent et le domaine hors axe où ils sont probablement négligeables. Dans les bassins de la dorsale ils représentent au récent entre 75% et 92% du flux sédimentaire. Le processus d'advection latérale est continu, les apports gravitaires ne représentent que 2% des apports. La fonction de piège jouée par les bassins est un processus qui s'accompagne d'une légère sélection des particules fines, dont le terrigène. Cette caractéristique se traduit par un sédiment légèrement moins riche en sable dans les bassins de la dorsale et n'affecte pas la teneur en carbonates. Les flux latéraux sont néanmoins similaires pour les carbonates et le terrigène. La corrélation entre la surface d'un bassin et le pourcentage du flux latéral montre qu'il s'agit d'un phénomène local agissant près du fond et contrôlé par la morphologie.

• Au LGM, l'activité plus importante des courants tend à réduire le flux total et particulièrement le flux résiduel au-dessus de 2000 mètres. Ceci se traduit par une plus grande importance des flux latéraux pour le terrigène vis à vis des carbonates dans les bassins de la dorsale. A cette époque la notion de piège à sédiment peut être ainsi être élargie à l'ensemble du plateau des Açores et ne se limite plus à la dorsale. Cette dernière peut alors être considérée comme un bassin par rapport aux zones les moins profondes du plateau des Açores. Le piégeage est cette fois sélectif car le processus n'est pas directement lié à la rugosité du fond mais au vannage sur les points hauts. La sélection par la taille se fait à l'échelle du plateau des Açores et sur les particules fines dont le terrigène fait parti. Les particules les plus grossières ne subissent pas ce piégeage.

• Le caractère peu sélectif du piégeage à l'échelle de la dorsale associé à la constance des sources terrigènes et carbonatées implique que la lithologie du sédiment (cf. chapitre II) reflète le bilan production-dissolution-préservation pour le plancton siliceux, et les spicules de spongiaires, et de source pour le matériel volcanique. Les bassins peuvent être vu

schématiquement considérés comme des "loupes" multipliant les taux de sédimentation sans affecter la lithologie du sédiment.

CHAPITRE IV:

Les processus sédimentaires

1. Les processus gravitaires

Quelques niveaux sédimentaires localisés dans l'espace et dans le temps correspondent à des dépôts gravitaires. Les plus spectaculaires sont les niveaux de matériel volcanique autour du volcan axial de 38°20N. D'autres dépôts aux lithologies très variées ont été observés au NW de la faille transformante de 37°30N (carotte 91-KS05), au WSW de Flores (carotte 91-KS08), au NW de Flores (carotte 92-KS07), à l'est de Flores-Corvo (Carottes 92-KS05 et 92-KS06), au SE (carotte 91-KS07), au sud de l'archipel de Faial (carotte MD-95 2038 et 91-KS03) et enfin dans la zone de fracture de 38°N (carotte GEOFAR-KF16).

1.1. Turbidites pélagiques

Ces dépôts sont présents dans les carottes 91-KS03, 91-KS04, 91-KS05, 91-KS07, 91-KS08, 92-KS07 et MD-95 2038 (Fig. IV-1 et Tab. IV-1). Leur point commun est d'être composés quasi exclusivement de foraminifères et nannofossiles.

Carotte	Profondeur	Epaisseur	Age sédiment	Age mise en place	Granoclassement
91-KS03	2890 m	17 cm	≈300 ka	≈300 ka	Bon
91-KS04	2183 m	26 cm	12 ka (?)	12 ka	Moyen
91-KS05	2181 m	101 cm	Pliocène	≈150 ka	Bon
,,	,,	45 cm	≈150 ka	≈150 ka	Absent
91-KS07	1790 m	8 cm	≈100 ka?	≈100 ka?	Moyen
,,	,,	36 cm	≈400 ka?	≈400 ka?	Moyen
91-KS08	2110 m	268 cm	Pliocène inf.	<170 ka	Excellent
92-KS07	2115 m	71 cm	Pliocène inf.	≈170 ka	Très bon
GEOFAR-KF03	1967 m	248 cm	Pléistocène inf.	?	Bon
MD95-2038	2310 m	≈600 cm	?	300 ka	?

Tab. IV-1. Niveaux carbonatés d'origine gravitaire sur le plateau des Açores

Les épaisseurs et les caractéristiques granulométriques varient énormément. 4 carottes situées à l'ouest de la dorsale présentent des caractéristiques communes. Le niveau le plus remarquable dans la carotte **91-KS08** est épais de 268 cm (minimum car il atteint la base de la carotte) et montre un granoclassement spectaculaire allant de foraminifères avec une médiane à 137 µm, à la base, à des nannofossiles avec une médiane à 8.1 µm, au sommet. Un granoclassement sur une telle épaisseur implique un mouvement gravitaire de volume majeur ayant évolué en turbidite. La teneur en carbonates est comprise entre 89% et 96%. Les faibles contrastes de couleurs ne permettent pas de mettre en évidence des laminations, mais la présence d'un sable grossier à la base (100 cm d'épaisseur, médiane >100 µm), d'une boue argileuse

fine au sommet (130 cm d'épaisseur, médiane <10 µm) avec passage progressif sur 50 cm entre les deux est caractéristique d'un tri gravitaire. Cette séparation relativement brusque reflète certainement la lithologie du sédiment remanié c'est à dire essentiellement des boues à nannofossiles et foraminifères. La carotte **GEOFAR-KF03** présente une série similaire de 248 cm d'épaisseur (de la base jusqu'à 95 cm). Aucune mesure de texture ou de carbonates n'a été faite, mais la série comprend une séquence sableuse de 44 cm à la base, puis une séquence de texture fine et blanche de 204 cm. Une série granoclassée dans **91-KS05** présente les mêmes caractéristiques, la série est épaisse de 1 mètre, la séquence sableuse de 40 cm et la séquence fine de 61 cm. Une série dans **92-KS07** est épaisse de 71 cm avec une séquence sableuse à la base de 56 cm puis une séquence fine de 15 cm. Ces 4 turbidites se sont mises en place aux environs de 170 ka. La stratigraphie nannofossile est à faible résolution, mais nous pouvons postuler que ces 4 turbidites sont contemporaines.

Sur la seule base de la stratigraphie des carottes et de la morphologie il est difficile de déterminer si ces dépôts représentent un seul et même événement. Les carottes 91-KS08 et 92-KS07 se situent dans une vaste région relativement plane, favorable à l'extension des dépôts gravitaires. Les carottes 91-KS05 et GEOFAR-KF03 se situent dans une morphologie plus "rugueuse" (Fig. IV-1). Les épaisseurs des turbidites sont comparables à celles des turbidites de la Plaine Abyssale de Madère (PAM) [Weaver *et al.*, 1995], mais l'espace concerné par le dépôt (source et trajet) et les volumes de sédiment mis en mouvement sont probablement plus petits. L'étude granulométrique des turbidites de la PAM montrent que la base tend à être plus sableuse en amont, et que l'épaisseur des dépôts s'accroît vers l'aval. Cet épaississement vers l'aval est une conséquence du piégeage et de l'accumulation du sédiment dans le fond de la PAM [Weaver *et al.*, 1995]. En l'absence de piégeage l'épaisseur d'une série tend à diminuer dans la partie distale. La turbidite de 92-KS07 a une faible épaisseur (71 cm) et une base sableuse importante (85%). La turbidite de 91-KS08 est nettement plus épaisse (268 cm) avec une séquence sableuse moins importante (44%), cependant cette séquence s'étend probablement au-delà de la pénétration de la carotte. D'après ces observations il est possible que 91-KS07 représente la partie distale d'un événement, et 91-KS08 la partie proximale du même événement. Dans l'autre bassin 91-KS05 possède une série de 45 cm d'épaisseur qui est une répétition stratigraphique de la séquence sous-jacente [Müller, 1992]. Elle est surmontée d'une séquence turbidite de 101 cm contenant une séquence sableuse, à la base, qui représente 40% de l'épaisseur. La turbidite de GEOFAR-KF03 est plus épaisse (248 cm) et possède une séquence fine majoritaire (≈200 cm). KF03 se situe à une profondeur d'eau inférieure de 148 mètres à celle de 91-KS05, elle pourrait donc se situer dans la partie proximale des dépôts.

L'origine des événements est difficile à localiser car le relief est accidenté. Le volume des dépôts et le relief suggère néanmoins que nous sommes en présence de deux événements dont le trajet est complexe (Fig. IV-1).

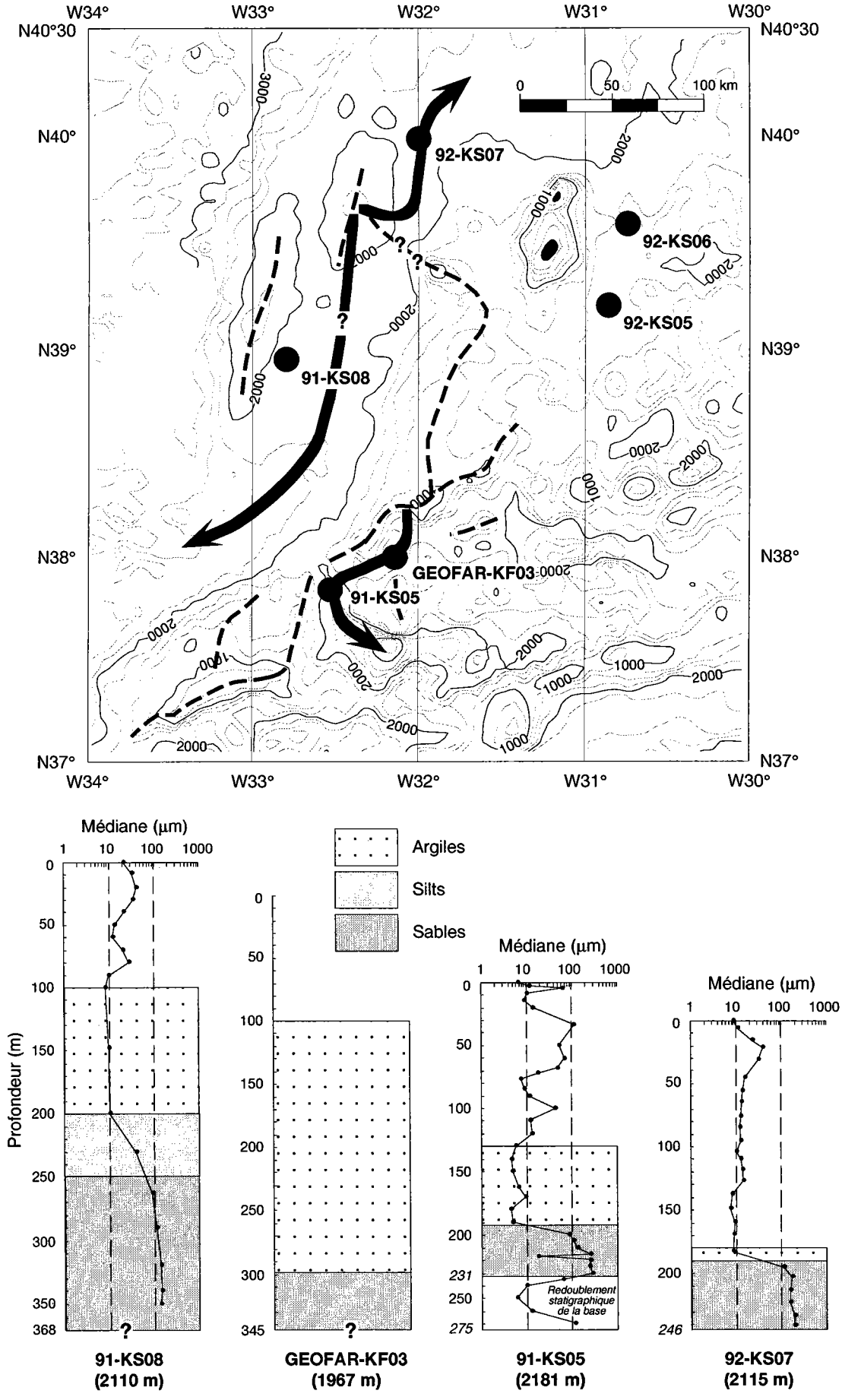


***Fig. IV-1**: Les turbidites pélagiques sur le plateau des Açores. Sur la carte les pointillés indiquent les lignes de crête et délimitent les bassins. Les flèches indiquent les trajectoires possibles des turbidites.*

L'âge du matériel mobilisé dans nos turbidite est Pliocène inférieur pour le plus ancien (entre 3 et 5 Ma). Cet âge est nettement supérieur à celui du matériel remanié dans la PAM et qui est au maximum de 500 ka [Weaver, 1994]. Les faibles taux de sédimentation sur les reliefs implique que contrairement à la PAM il n'est pas nécessaire d'éroder sur une forte grande épaisseur pour remanier du matériel de cet âge. Les taux sont 3 à 10 fois plus faible que dans la PAM, l'épaisseur érodée est donc sensiblement la même, entre 8 et 50 mètres. Les volumes déplacés sont néanmoins sans doute plus faibles car la surface concernée est plus faible.

Les autres turbidites pélagiques sont de moindre épaisseur (max. 36 cm) et en totalité sableuses. Ces événements sont certainement de moindre importance et d'extension limitée. Le matériel remanié est quaternaire ce qui laisse également supposer qu'il s'agit de petits événements n'affectant pas le sédiment sur une grande épaisseur. Nous disposons de peu d'information sur la lithologie et l'âge de la méga-turbidite de 6 mètres découverte dans la carotte MD95-2038. Elle représente néanmoins un dépôt majeur dont l'extension doit faire plusieurs centaines de km^2.

1.2. Dépôts gravitaires en provenance des îles

Des dépôts gravitaires contenant du matériel volcanique grossier ont été observés dans les carottes 92-KS05 et 92-KS06 qui se trouvent à 30 km à l'est de l'archipel Corvo-Flores et à une profondeur de 1892 mètres et de 1949 mètres, respectivement. Elles se situent sur une zone relativement peu pentée qui prolonge la pente que borde l'archipel.

Les séquences sont plus pauvres en carbonates (entre 30% et 60%), plus grossières et moins épaisses que les turbidites décrites dans le paragraphe précédent (Tab. IV-2). Elles sont généralement riches en coquilles et en matériel volcanique plus ou moins grossier. Ces caractéristiques permettent de les considérer comme des Mass flow (debris flow ou grain flow) [Nardin *et al.*, 1979] in [Torres, 1995]. Ces caractéristiques impliquent un transport sur une distance relativement courte. Les 3 séquences ont des âges différents dans les deux carottes, et il n'est pas possible de faire une corrélation lithologique (Tab. IV-2). Nous devons donc considérer que les événements enregistrés sont ponctuels et de faible extension. L'âge du matériel remanié est sensiblement contemporain de la mise en place, il implique une faible érosion et une faible extension des dépôts.

Carotte	Epaisseur	Age sédiment	Age mise en place	Granoclassement
92-KS05	59 cm	?	3.5 ka	Très bon
"	8 cm	?	9.0 ka	Moyen
"	9 cm	?	16.6 ka	Bon
92-KS06	22 cm	?	≈20 ka	Bon
"	18 cm	?	≈42 ka	Bon
"	19 cm	?	≈105.3 ka	Très mauvais

Tab IV-2. Dépôts gravitaires à proximité de Corvo-Flores

2. Le volcanisme sous-marin

La cartographie des teneurs en verre volcanique (chapitre II, Fig. II-30 et II-31) a montré que les apports volcaniques sont liés aux sources ponctuelles que sont les îles et les monts sous-marins. La carotte 91-KS04, à proximité du mont sous marin à 38°20N (Fig. IV-3), contient 4 niveaux de cendres volcaniques, plus ou moins grossiers et altérés, d'une épaisseur comprise entre 3 cm et 9 cm (cf. Annexe logs lithologiques). La carotte 91-KS06 prélevée hors axe au NE de 38°20N (Fig. IV-3) contient du verre volcanique sableux très frais en surface. La carotte 92-KS04 au NW de 38°20N contient 8 niveaux de cendres volcaniques mis en place par gravité ainsi que des niveaux fins indurés correspondant probablement à des cendres altérées. Un prélèvement de surface (KG18) montre du verre volcanique en surface à proximité de Lucky Strike, et une carotte (GEOFAR-KF19) prélevée au NW de Menez Gwen montre des pics de densité jusqu'à 2 $g.cm^{-3}$ pouvant être interprétés comme des niveaux volcaniques similaires à ceux de 92-KS04. Lors de la mission de plongée DIVA 1, les 3 monts sous-marins entre 37°N et 39°N, Lucky Strike, Menez Gwen et 38°20N (Fig. IV-2) ont été explorés et des éjections volcaniques ont été observées sur Menez Gwen et 38°20N [Fouquet *et al.*, Submitted; Fouquet *et al.*, 1995; Ondréas *et al.*, 1995; Ondréas *et al.*, Submitted]. Les indices d'un volcanisme éruptif ne manquent donc pas, et la source volcanique majeure provient en fait des monts sous-marins de la dorsale.

2.1. Le mont 38°20N

Les niveaux volcaniques observés dans les carottes 91-KS04 et 92-KS04 (Fig. IV-3, IV-4 et IV-5) ont des caractéristiques variables (Tab. IV-3 et IV-4). Ceux de 91-KS04 au SE de 38°20N sont plutôt fins, formés de verre translucide, et de couleur olive clair. Ceux ce 92-KS04 sont de nature variée et en moyenne grossiers, sombres et parfois granoclassés. Ces caractéristiques lithologiques sont similaires à celles observées sur le mont sous-marin où les dépôts atteignent 300 mètres d'épaisseur avec des niveaux individuels de quelques millimètres à quelques centimètres d'épaisseur, composés de particules pouvant atteindre 2 cm de diamètre [Fouquet *et al.*, Submitted; Ondréas *et al.*, Submitted]. Ces niveaux de verre peuvent être intercalés avec du sédiment pélagique [Fouquet *et al.*, Submitted]. Il n'est pas possible de corréler les niveaux volcaniques observés en submersibles et ceux présents dans les carottes car l'échelle d'observation et le contexte (distance à la source, taux d'accumulation pélagique) diffèrent. La stratigraphie des carottes (cf. Annexe logs lithologiques et [Richter, 1996] pour la carotte 91-KS04) permet d'estimer l'âge de la mise en place des niveaux volcaniques avec une précision d'environ 5 ka pour 92-KS04 et 1 ka pour 91-KS04. Les âges sont compris entre 50 ka et 265 ka. Sur cette base stratigraphique 3 niveaux sont corrélables entre les deux carottes à des âges de 55 ka, 65 ka et 75 ka (Tab. IV-3 et IV-4). L'âge maximum atteint dans la carotte 91-KS04 est de 80 ka [Richter, 1996] et limite les corrélations. Pour cette période la carotte 91-KS01 contient un niveau volcanique à 57 ka qui n'a pas d'équivalent dans 92-KS04. Les niveaux de 92-KS04 sont moins épais et plus grossiers ce qui traduit probablement une

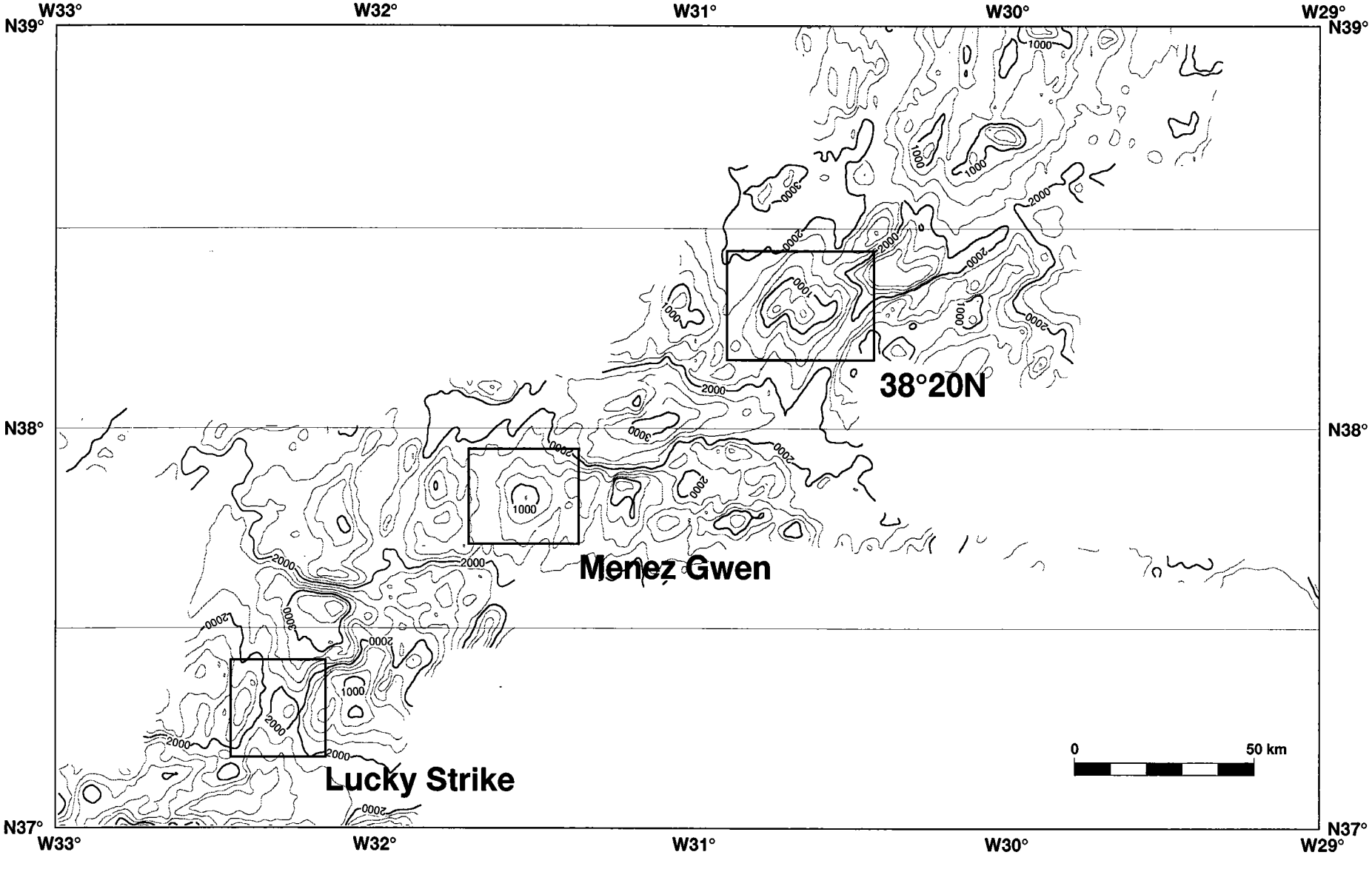


Fig. IV-2: Position des trois monts sous-marins sur lesquels ont été observés des dépôts d'explosions volcaniques sous-marines.

différence dans le mode de mise en place. La texture grossière des niveaux de 92-KS04 laisse penser à des dépôts gravitaires tandis que la finesse des niveaux de 91-KS04 fait penser à un "saupoudrage".

La comparaison des courbes de γ-densité de GEOFAR-KF19 et de 91-KS04 suggère que les mêmes niveaux soient présents dans GEOFAR-KF19 au NE du mont sous-marin, sensiblement aux mêmes niveaux que dans 91-KS04 et probablement de même âge. Ces 2 carottes se situent dans des contextes morphologiques similaires (Fig. IV-3 et IV-5) mais KF19 est plus proche du volcan.

Le verre volcanique observé au sommet de 91-KS06 ne peut provenir de 38°20N car il serait alors également présent au sommet des autres carottes. L'origine de ce verre est donc à rechercher soit sur Faial soit sur un petit mont sous-marin situé à 25 km au NW de la carotte et culminant à 600 mètres (Fig. IV-3 et IV-5). L'éruption de 1954 de l'île de Faial située à 78 km à l'est pourrait être à l'origine du verre volcanique, cependant d'autres carottes plus proches de l'île (92-KS10 et GEOFAR-KF21) n'ont pas de verre volcanique en surface. Le mont sous marin au NW semble donc une origine plus vraisemblable, la position de 91-KS06 vis à vis de ce mont est similaire à celle de 91-KS04 et KF19 vis à vis du mont 38°20N. Deux carottes à 14 km au NW (KS14) et à 19 km au SW (KF17) ne contiennent pas de niveaux volcaniques mais elles sont de longueur inférieure à 1.80 mètres. Les variations de la courbe de γ-densité permettent de penser qu'elles ont des taux de sédimentation similaires à ceux des carottes KF19 et 91-KS04 et qu'elles n'atteignent pas les niveaux volcaniques. Ces différents faciès montrent qu'il existe à la fois des dépôts directs d'explosion (saupoudrage) et des dépôts gravitaires. Ces processus peuvent être simultanés car il est probable que l'activité explosive du mont 38°20N s'accompagne d'une sismicité capable de déstabiliser l'édifice et de mettre en place simultanément des turbidites volcaniques vers le NW et des éjections vers le SSE (Fig. IV-3).

L'imagerie acoustique EM12 permet de distinguer 3 faciès de réflectivité sur 38°20N: ~blanc, correspondant au sédiment, ~noir, correspondant à la roche (basalte) et ~gris, correspondant au volcanoclastique (Fig. IV-4, IV-5 et IV-6). Le faciès gris montre des "stries" radiales centrées sur le mont sous-marin qui suggèrent des projections caractéristiques du volcanisme explosif. Ce faciès est également visible sur un petit mont dans le prolongement NW de 38°20N et sur des petits monts culminant à 600 mètres sur le segment de dorsale au nord, à 25 km au NW de la carotte 91-KS06. On peut faire l'hypothèse qu'il existe plusieurs points d'émissions volcaniques, actifs ou fossiles. Les dépôts volcano-gravitaires de la carotte 92-KS04 peuvent provenir du mont axial dans le prolongement nord de 38°20N. Le verre translucide en surface de 91-KS06 peut témoigner de l'activité volcanique récente du segment nord à 38°45N. [Fouquet *et al.*, Submitted], sur la base de l'imagerie estime la surface des dépôts volcanoclastiques à ~67 km^2. [Fouquet *et al.*, Submitted; Ondréas *et al.*, Submitted] montrent néanmoins que l'activité tectonique domine largement sur le volcan 38°20N depuis

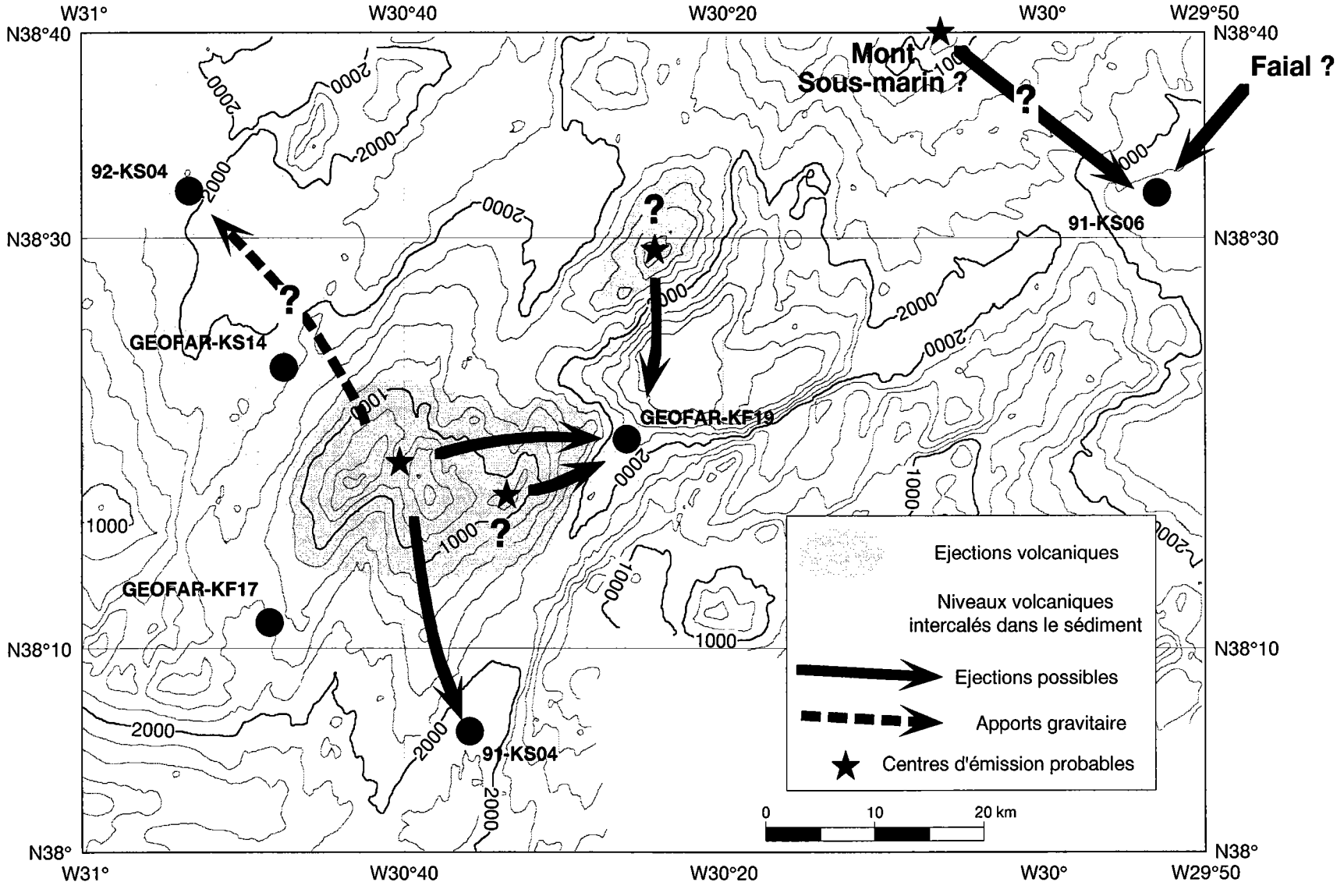


Fig. IV-3: Le segment de dorsale du mont sous-marin de 38°20N. Les flèches indiquent la trajectoire possible pour le matériel volcanique. Le mont sous marin se compose essentiellement de matériel volcanique et la périphérie consiste en une alternance de matériel volcanique et de sédiment pélagique.

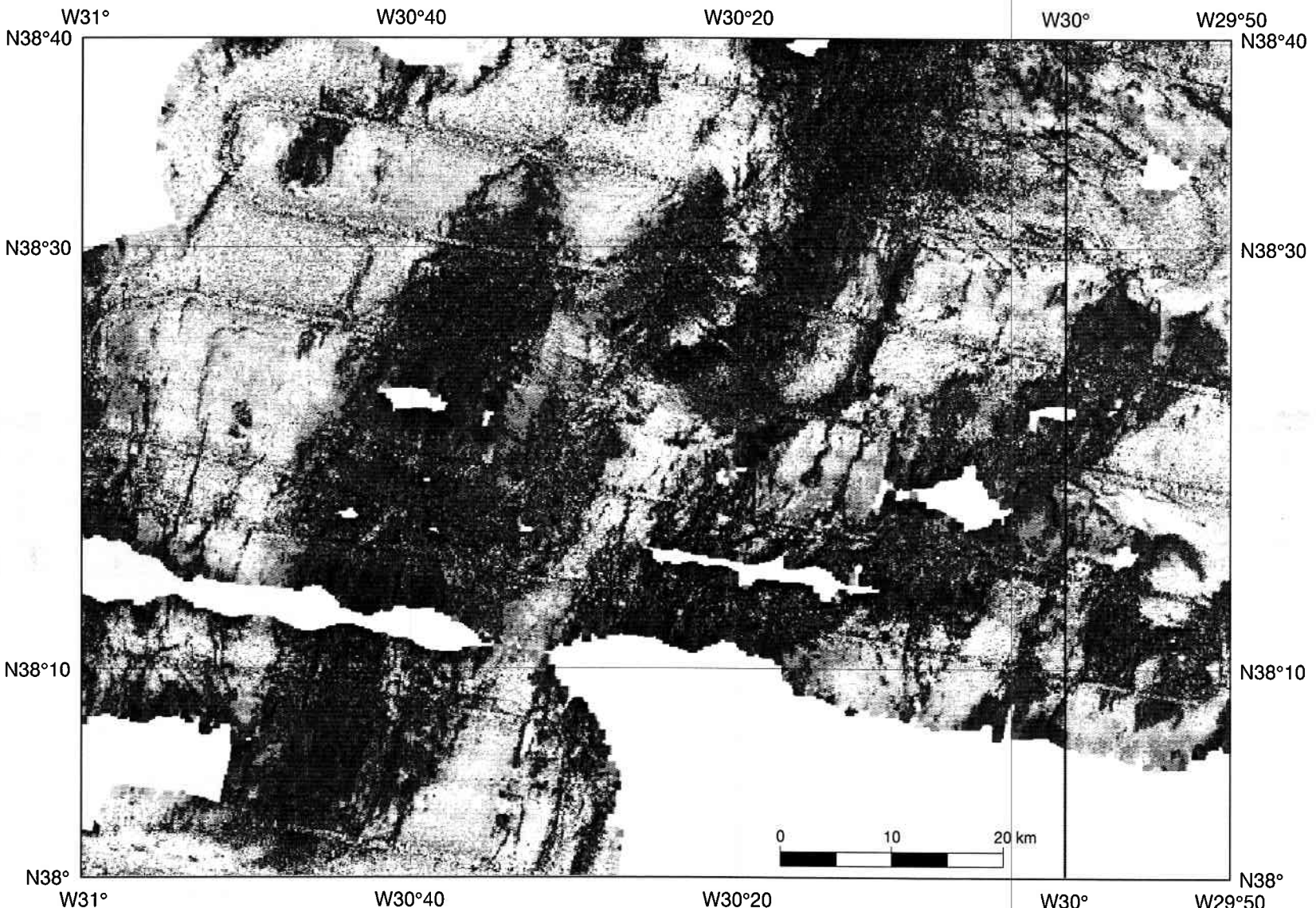


***Fig. IV-4**: Image de la réflectivité acoustique du fond sur le segment du mont sous-marin de 38°20N. Les zones claires peuvent être interprétées comme sédiment. Les zones noires comme roche. Le cône d'éjections volcaniques du mont se caractérise par un faciès gris accompagné de linéations radiaires centrées sur le mont.*

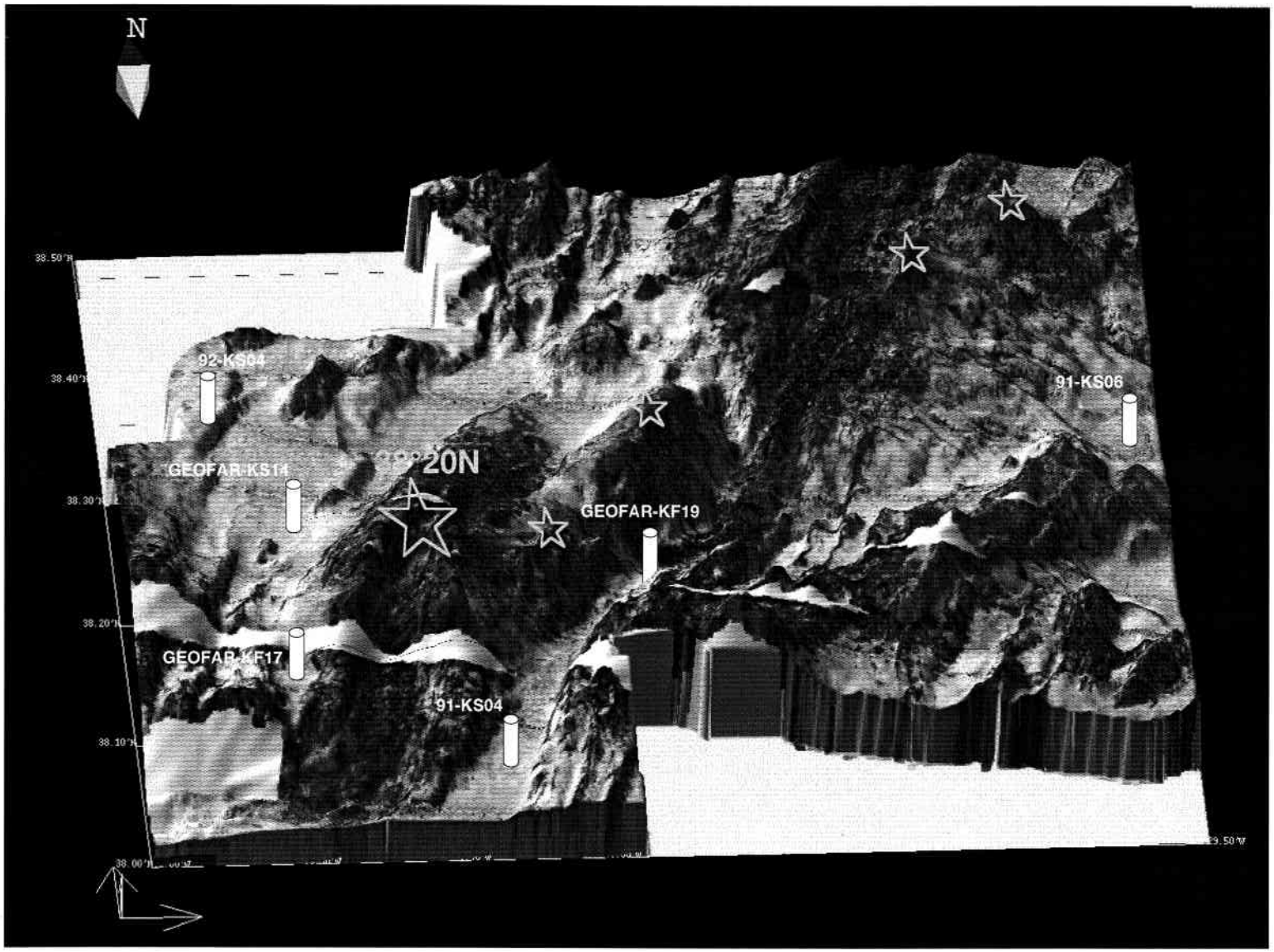


***Fig. IV-5**: Vue 3D de la réflectivité du fond au niveau du segment de mont sous-marin 38°20N. Les cylindres indiquent la position des carottes. Les étoiles indiquent les sources potentielles pour ce matériel. Les dépôts résultent soit directement d'éruptions du mont, soit de remobilisations postérieures par des processus gravitaires. Exagération verticale x7.*

environ 300 ka car il est traversé par une vallée créée par l'extension à l'axe de la dorsale. Une vallée similaire plus importante existe sur le segment à 38°40N ce qui montre que l'activité tectonique y prédomine également. Une prédominance tectonique n'exclut cependant pas une certaine activité volcanique, cette dernière peut seulement être insuffisante pour combler l'espace créé par l'extension.

91-KS04

base (cm)	épaisseur	Age (ka)	Densité	% CaCO3	Mode (µm)	Caractéristiques
251	9 cm	50	1.99	15	48.85	Base nette
289	3 cm	57	1.52	39	77.02	Contours diffus
324	7 cm	63	1.73	19	40.72	Base nette
365	9 cm	74	1.59	29	58.61	Base érosive nette

***Tab. IV-3**: Caractéristiques des niveaux volcaniques observés dans la carotte 91-KS04.*

92-KS04

base (cm)	épaisseur	Age (ka)	Densité	% CaCO3	Taille	Caractéristiques
50	1 cm	52	1.71	30	<1 mm	Fin, base érosive
75	5 cm	65	1.95	10	1 à 2 mm	Base érosive, granoclassé
87	5 cm	75	1.61	41	Très fin	Pas de clastes visibles
93	6 cm	75	2.00	4	1 à 2 mm	Base érosive, granoclassé
137	2 cm	155	?	?	<1 mm	Lentille 2 x 3 cm
155	10 cm	165	1.98	4	Jusqu'à 2-3 mm	Haut et bas érosifs, granoclassé
210	6 cm	220	1.59	37	Très fin	Pas de clastes visibles
225	4 cm	230	1.70	17	Très fin	Pas de clastes visibles
241	16 cm	230	1.95	4	Jusqu'à 2-3 mm	Base érosive, granoclassé
246	5 cm	230	2.00	6	Jusqu'à 2-3 mm	Base érosive, granoclassé
273	2 cm	250	1.82	?	1 mm	Fin, base érosive
291	7 cm	265	1.63	?	1 mm	Contours flous, mélange

***Tab. IV-4**:Caractéristiques des niveaux volcaniques observés dans la carotte 92-KS04.*

2.2. Menez Gwen

Autour de Menez Gwen (Fig. IV-7) la carotte la plus proche située à 33 km (GEOFAR-KF05) ne contient pas de cendres volcaniques. Ondréas *et al.* [Submitted] et Fouquet *et al.* [Submitted] décrivent sur le mont des dépôts volcanoclastiques d'origine explosive sur une épaisseur de 240 mètres, similaires à ceux de 38°20N. L'imagerie EM12 montre également un faciès gris strié (Fig. IV-7), mais il ne couvre ni le grabben axial ni les flancs du volcan, son étendue est moindre que sur 38°20N. La superficie des éjections est estimée à ~15 km^2 [Fouquet *et al.*, Submitted]. Ces auteurs et Ondréas *et al.* [Submitted], estiment d'après la taille du grabben axial que l'activité tectonique y domine depuis 150 ka.

2.3. Lucky Strike

Sur Lucky Strike (Fig. IV-8) seule la carotte KG18 contient du matériel volcanique en quantité. Il s'agit généralement de verre intimement mêlé à un sédiment pélagique sableux

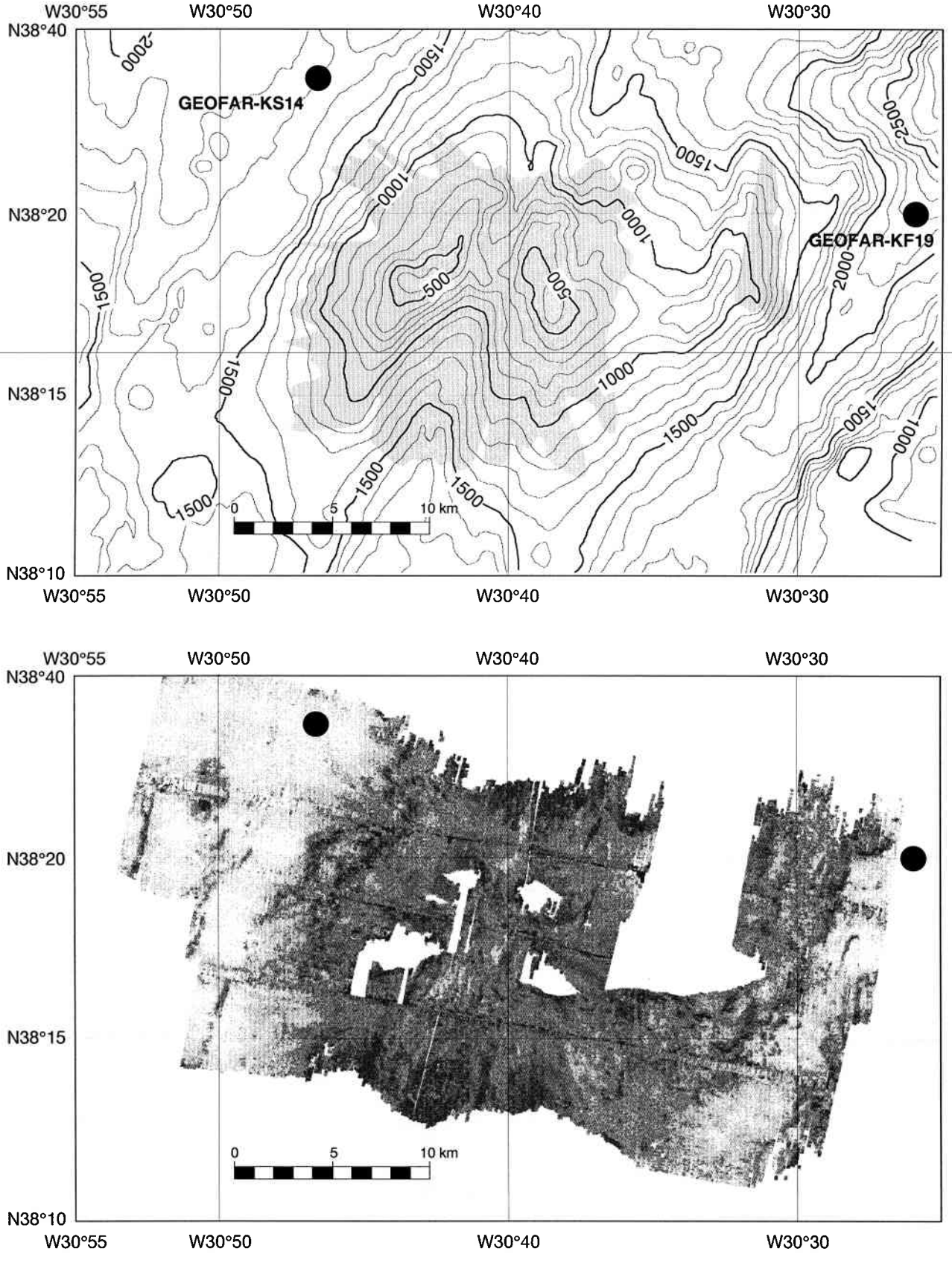


Fig. IV-6: *Zoom sur le mont sous-marin de 38°20N et position des carottes les plus proches. La carte de la réflectivité acoustique du fond montre clairement le cône d'éjections volcaniques en gris avec des linéations radiaires centrées sur le sommet du mont. Les limites de ce faciès sont reportées en gris sur la carte bathymétrique.*

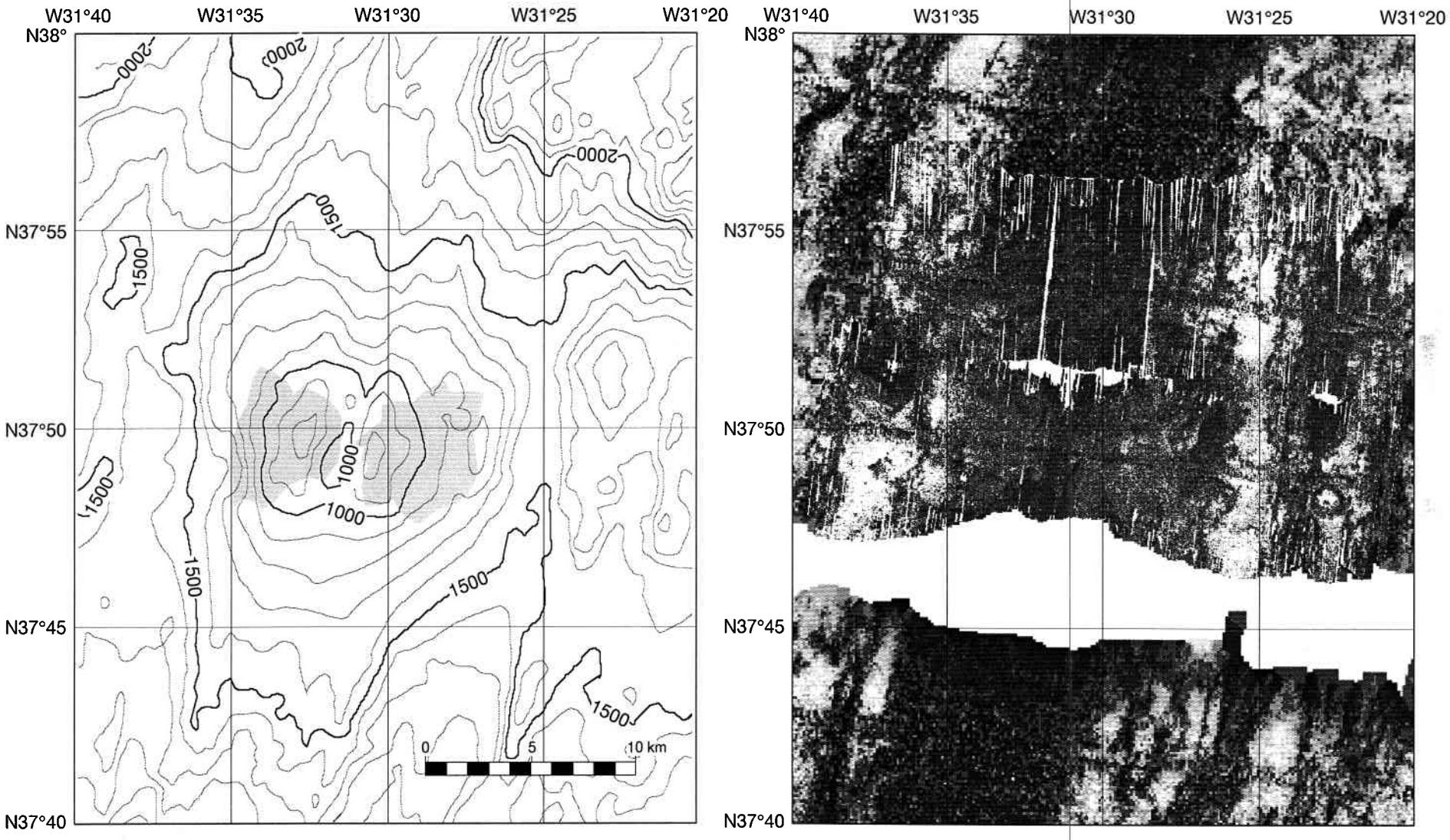


Fig. IV-7: Zoom sur le mont sous-marin Menez Gwen. Les éjections volcaniques apparaissent sur les flancs est et ouest du volcan sur la carte de réflectivité acoustique. Le faciès est gris et montre certaines linéations radiaires centrées sur le volcan. Le faciès correspondant est reporté en gris sur la carte bathymétrique.

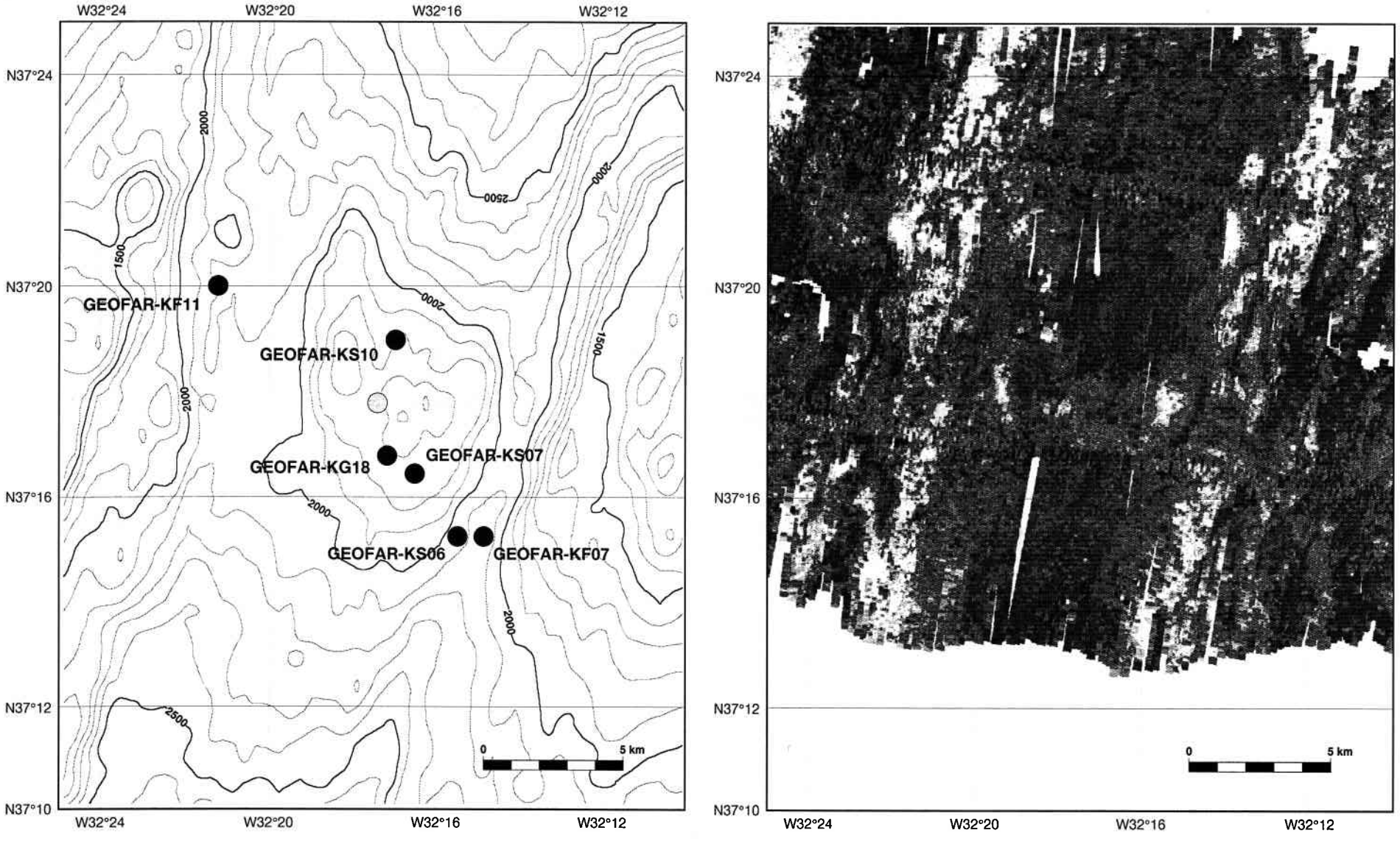


Fig. IV-8: Zoom sur le mont sous-marin Lucky Strike. Les éjections volcaniques se cantonnent sur le sommet mais n'apparaissent pas sur la réflectivité acoustique.

(KF11, KF07, KS06 et KG18) ou de lithoclastes (KS07 et KS10). Ondréas *et al.* [Submitted] et Fouquet *et al.* [Submitted] ont observé à l'intérieur de la caldeira quelques brèches volcaniques, indurées par l'activité hydrothermale, entourant des éjections volcaniques bien litées. Ces dernières témoignent d'un volcanisme explosif. L'imagerie EM12 permet d'estimer la surface des dépôts d'explosion à ~2.8 km^2 [Fouquet *et al.*, Submitted].

2.4. Conclusion

La présence d'éjection produite par un volcanisme éruptif sous-marin est possible en raison de la faible profondeur d'eau. La superficie des dépôts aux 3 sites est directement liée à la profondeur [Fouquet *et al.*, Submitted] (38°20N: ~67 km^2 et 400 m de profondeur minimum; Menez Gwen: ~15 km^2 et 700 m; Lucky Strike: ~2.8 km^2 et 1600 m). Cette tendance se révèle également au niveau des sites mêmes car les pillows frais et les laves se situent aux endroits les plus profonds. Nos observations montrent que sur 38°20N l'aire d'éjection est supérieure à la superficie du cône identifié sur l'imagerie. Les niveaux de 91-KS04 (et par analogie ceux de KF19) peuvent correspondre à des éruptions plus fortes que la moyenne ce qui implique une extension de l'aire d'éjection jusque dans la partie nord de la faille transformante de 38°N et dans le bassin au NE du mont. L'imagerie acoustique montre à l'intérieur de ce bassin un faciès très foncé (Fig. IV-4), à un endroit où la morphologie est plane (juste au NW de KF19), or à une telle morphologie sur la dorsale correspond généralement à un faciès clair correspondant à du sédiment. Le processus de dépôt des niveaux volcaniques peut être primaire ou secondaire. Des remobilisations gravitaires ont eu lieu entre 273 ka et 50 ka. La morphologie du volcan de 38°20N ne permet pas de mettre en évidence des loupes d'arrachement ce qui implique que les niveaux volcaniques de 92-KS04 représentent soit un petit volume remobilisé ou bien de réels dépôts d'explosion. Cette deuxième hypothèse implique alors une source autre que 38°20N.

3. Rôle des courants et paléocirculation de surface sur le plateau des Açores

3.1. Introduction

L'action de courants de fond est un processus sédimentaire majeur dont l'influence sur le modelé des fonds océaniques fût montré par Hollister *et al.* [1978] notamment. Actuellement l'océan Atlantique nord est caractérisé par une circulation profonde vigoureuse qui trouve essentiellement son origine dans la formation des eaux profondes nord atlantiques (EPNA) en Mer de Norvège et en Mer du Labrador par refroidissement des eaux chaudes de surface en provenance du sud, advectées par le système Gulfstream/Dérive Nord Atlantique. Leur formation est à l'origine de la circulation thermohaline qui permet l'échange de chaleur entre les pôles et l'équateur, le "conveyor belt"[1] [Broecker *et al.*, 1990]. Après leur plongée les eaux profondes s'écoulent suivant le relief [McCave & Tucholke, 1986] au sein de courants géostrophiques encore appelés "courants de contours"[2]. L'Atlantique nord possède une morphologie permettant des variations de vitesse des eaux sur le fond (brusques changements de direction des pentes et des passages étroits comme les zones de fractures) et est caractérisé par des apports pélagiques importants [Faugères & Stow, 1993]. La combinaison de ces paramètres se manifeste par un ensemble de processus sédimentaires: érosion, vannage, transport qui aboutissent à la construction de rides sédimentaires de grande taille appelés "drifts" [Hollister & Heezen, 1972]. En contraste le plateau des Açores connaît des apports sédimentaires faibles (cf. chapitre III), l'action des courants de fond ne peut donc pas s'y manifester par la construction de drifts similaires à ceux observé dans le nord de l'atlantique. Le plateau des Açores avec une élévation moyenne à -2000 mètres et sa position au milieu de l'atlantique nord ne se situe pas sur le trajet des eaux profondes. La région n'est donc pas, *a priori*, favorable à l'expression de courants de fond et encore moins à leur enregistrement par le sédiment.

Lors des périodes Glaciaires la circulation thermohaline nord-Atlantique se trouve bouleversée. La descente du front polaire jusqu'aux latitudes de 42°N correspond à une "expansion" du gyre sub-glaciaire, elle est associée à une contraction du gyre subtropical qui se traduit par un fort gradient thermique à la latitude des Açores [McIntyre *et al.*, 1976]. Le système Gulfstream/Dérive Nord Atlantique, qui matérialise la limite entre les deux gyres, représente la zone de gradient thermique maximum [Keffer *et al.*, 1988]. Cette limite est alors repoussée vers le sud, dans la région des Açores [Crowley, 1981]. Aux hautes latitudes la réduction des apports d'eaux chaudes qui en résulte, associé à la présence de la banquise, réduit considérablement la formation de l'EPNA et la vigueur des courants de contour ce qui aboutit une réduction des processus sédimentaires hydrodynamiques [Manighetti & McCave, 1995b].

---

[1] littéralement "courroie de transmission" en français
[2] ligne de niveau se traduit par "contour line" en anglais

Nous avons observé sur le plateau des Açores les indices de l'action de courants. A l'échelle régionale les carottes les moins profondes se caractérisent par un vannage important (sédiment riche en sable, associé à de faibles taux de sédimentation, Fig. IV-9 et IV-10).

Un fort contraste lithologique LGM/Holocène est observé sur la ride sédimentaire de Faial. Au Glaciaire le sédiment est très grossier et associé à de forts taux de sédimentation. Le sédiment est également très riche en spicules de spongiaires. La stratigraphie isotopique montre un hiatus de 10 ka entre le stade 2 et l'Holocène, associé à fort contraste textural. Le profil 3.5 kHz montre que la ride sédimentaire est asymétrique et montre des réflecteurs se pinçant vers le flanc doux (Fig. IV-11 et IV-12). Ces indices permettent d'affirmer que la ride est une accumulation de sédiment édifiée par l'action d'un courant, similaire, à une petite échelle, aux drifts observés dans l'atlantique nord [Stow & Holbrook, 1984].

Nous allons à l'aide de la texture identifier le signal hydrodynamique et établir sa variabilité spatio-temporelle. Cette étude sera divisée en 2 parties:

- Une partie essentiellement bibliographique qui s'intéressera à la relation existant entre l'hydrodynamisme et la texture du sédiment. Nous définirons les classes granulométriques et les paramètres texturaux sensibles à l'hydrodynamisme, ainsi que les méthodes qui nous permettront d'extraire le signal hydrodynamique. Nous discuterons ensuite la possibilité et l'intérêt d'utiliser les phases biogène et terrigène en ce sens.
- La deuxième partie concernera l'expression de l'hydrodynamisme dans l'espace et dans le temps sur le plateau des Açores. L'étude comprendre une approche basse résolution temporelle (environ 6 ka) à partir de 7 carottes et une approche haute résolution (environ 2 ka) à partir d'une carotte prélevée sur la ride sédimentaire.

3.2. Principe de l'enregistrement de l'hydrodynamisme par le sédiment

Le terme "courant" est un concept qui considère un flux continu, délimité dans l'espace et caractérisé par une vitesse. Dans notre étude ce terme signifie l'intégration sur une période donnée des facteurs susceptibles de mettre en mouvement des particules. A grande profondeur (>1000 mètre) ces facteurs sont les courants géostrophiques, la marée et les ondes inertielles. Les courants géostrophiques sont très localisés et généralement très puissants. Dans l'Atlantique NE et NW par exemple ils contrôlent la composante résiduelle. L'énergie fournie par la marée est présente dans tous les océans et mers ouvertes du globe, elle est fonction de la profondeur d'eau. Elle représente une importante source d'énergie sur le fond.

L'hydrodynamisme correspond à l'énergie du milieu et à sa capacité à mettre une particule en suspension, ce phénomène se traduit généralement par un transport. La mise en

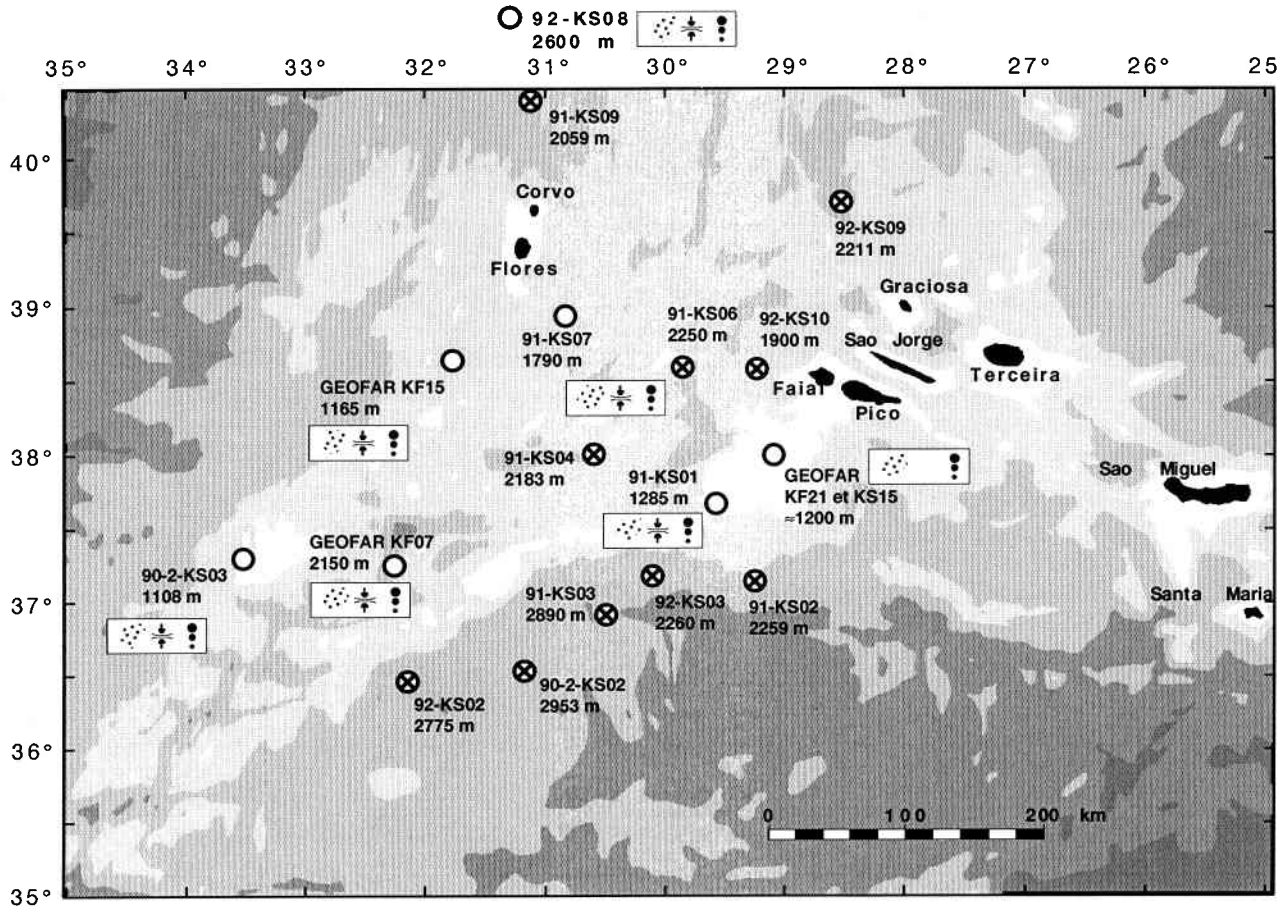


Fig. IV-9 : Position des carottes présentant des indices de courants de fond.
Carottes avec indices de courant, Carottes servant de référence texturale pélagique,
Sédiment sableux, Faibles taux de sédimentation, Granoclassement inverse.

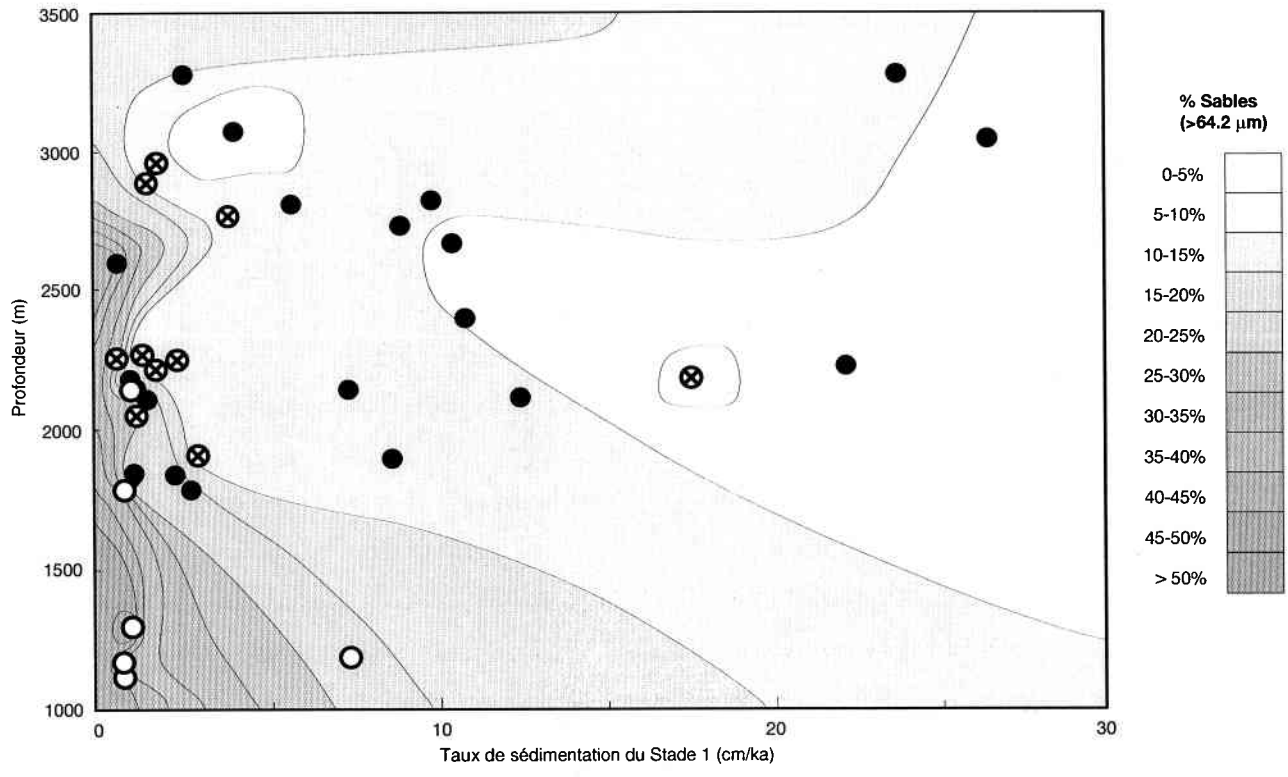


Fig. IV-10: Caractéristiques des carottes contenant des indices de courants de fond par rapport aux autres carottes du plateau des Açores. La teneur en sables (%) est celle de la surface ce qui explique la relative faible teneur en sable de GEOFAR KF21, néanmoins la surface reflète généralement la texture générale des carottes. Le taux de sédimentation (cm/ka) est le taux moyen du Stade isotopique 1 qui, compte tenu de la résolution moyenne, peut être considéré comme l'Holocène. Remarquez que les 4 carottes au-dessus de 1500 mètres ont toutes subi l'action d'un courant.

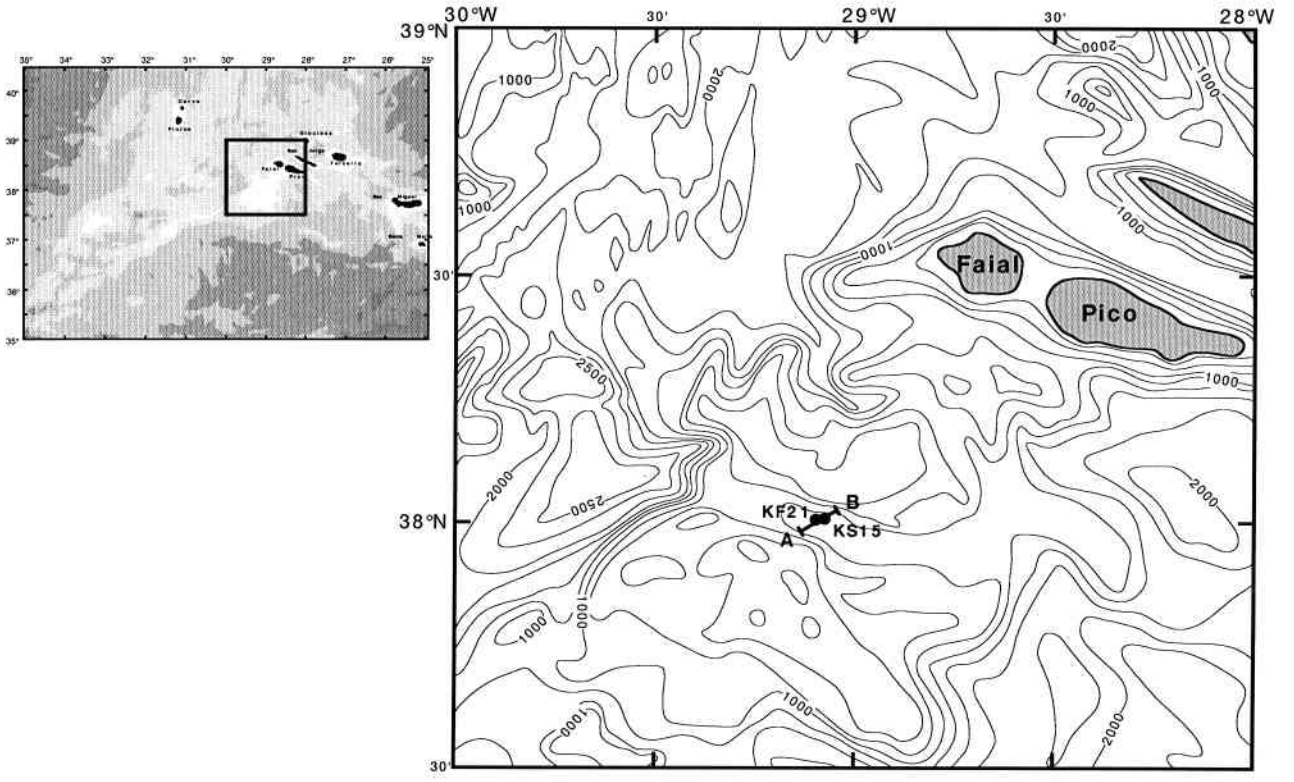


***Fig. IV-11**: Position de la ride sédimentaire de Faial. Elle se situe dans un corridor de 10 km de large et d'environ 750 mètres de profondeur qui incise un plateau culminant à -250 mètres. La géométrie de la ride n'est pas visible à cette échelle. Le profil sondeur de sédiment fait un angle de 45° avec l'axe du corridor. La bathymétrie a été établie par Serge Monti (IFREMER DRO/GM).*

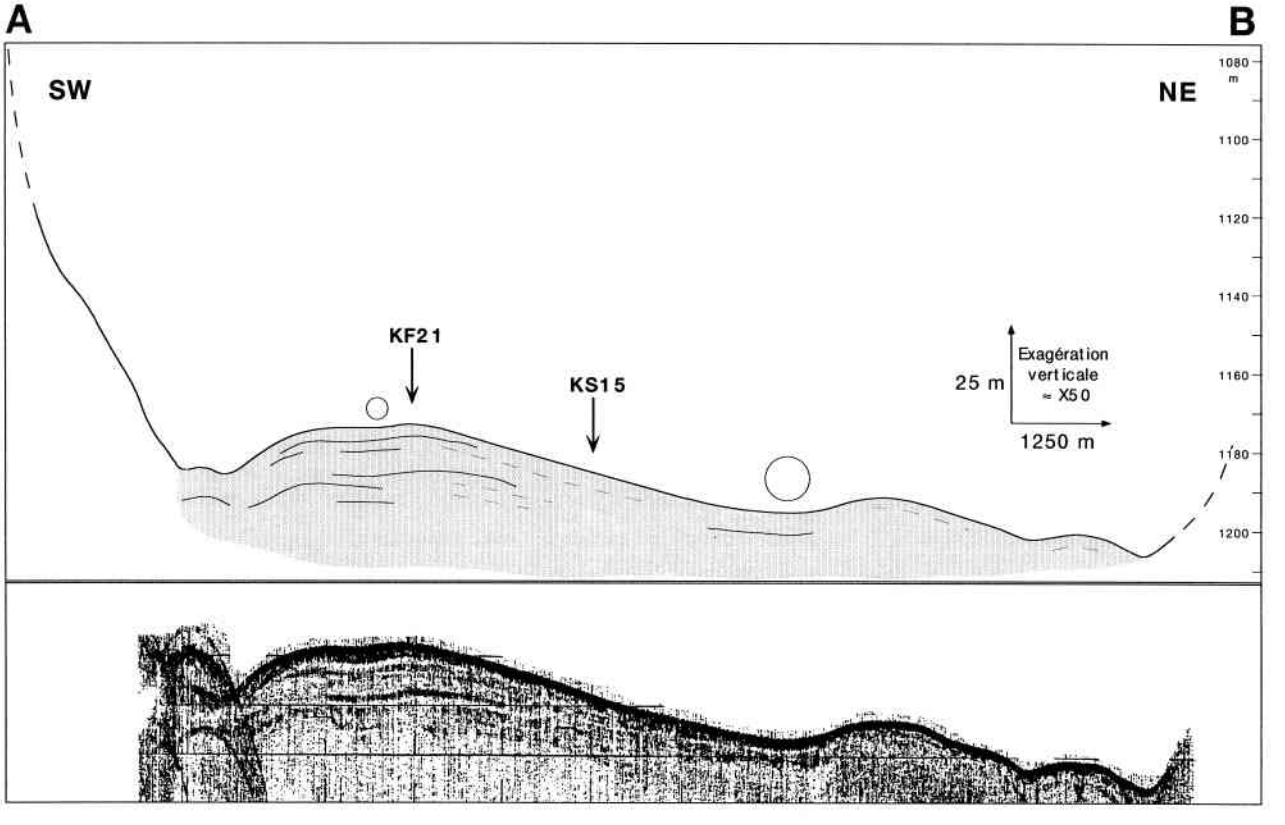


***Fig. IV-12**: Profil 3.5 kHz (EPSHOM) du drift des Açores. La coupe est à environ 45° de l'axe du drift (d'après la géométrie du corridor). La forme est caractéristique d'un dépôt par un courant. La partie haute correspond à un taux de sédimentation élevé et la partie basse à un taux de sédimentation bas. Les taux de sédimentation sont contrôlés par la l'énergie des courants (la taille des cercles est proportionnelle à l'énergie des courants supposés).*

mouvement est également fonction de la taille de la particule. La texture du sédiment peut ainsi refléter l'énergie du milieu.

L'enregistrement de l'hydrodynamisme par la texture du sédiment peu se résumer par une relation "simpliste" qui décrit le phénomène du vannage:

"forte énergie" ---------> texture grossière et faible taux de sédimentation
"faible énergie" --------> texture fine et fort taux de sédimentation

En d'autres termes sous l'action d'un courant il se produit un vannage des particules fines qui laisse en place un résidu grossier. A l'opposé la relation entre l'hydrodynamisme et la texture peut correspondre à une dynamique d'accumulation. Un courant transporte une certaine charge sédimentaire, caractérisée par une texture, proportionnelle à l'énergie du courant. La présence d'un obstacle peut localement faire chuter l'énergie de celui-ci et déposer les particules en suspension. La taille des particules déposées sera proportionnelle à l'énergie initiale du courant et à la chute d'énergie. L'interprétation de la texture du sédiment déposé est la même que pour un vannage, plus l'énergie du courant est forte plus la texture sera grossière. Dans ce cas les fortes énergies peuvent être associées à de forts taux de sédimentation.

Les variations temporelles de texture peuvent donc en principe être interprétées en terme de variation d'énergie du milieu. Cependant la question n'est pas si simple. L'énergie sur le fond peut être décrite par deux paramètres qui sont l'énergie moyenne (K_M)[3] et la variabilité de l'énergie (K_E)[4]. Une énergie moyenne peut correspondre à un régime constant au niveau de cette moyenne (K_M moyen et K_E égal à zéro) ou bien à un régime variable dont la moyenne est la même que le régime contant (K_M moyen et K_E élevé). Si on pose l'hypothèse que le seuil critique d'énergie au-delà duquel la texture du sédiment est modifiée se situe juste au-dessus de l'énergie moyenne, dans le premier cas la texture du courant ne portera pas de trace du courant (Fig. IV-13-B), dans le deuxième cas elle enregistrera une énergie qui n'est pas représentative de l'énergie moyenne mais des événements paroxysmaux (Fig. IV-13-C). Ce courant étant également défini par sa direction, l'énergie moyenne peut intégrer des valeurs négatives et être égale à zéro. Ainsi l'énergie peut être toujours supérieure à zéro en valeur absolue mais aboutir à un bilan de déplacement d'eau nul (K_M zéro et K_E élevé) (Fig. IV-13-D). Les paroxysmes d'énergie peuvent être supérieurs à la vitesse critique, la texture du sédiment restera stable et n'enregistrera pas l'énergie du milieu (Fig. IV-13-C). Cette vision du phénomène proposée par McCave *et al.* [1995] lui permet de postuler que la texture du sédiment enregistre essentiellement les événements paroxysmaux d'énergie et ne permet donc de déterminer ni K_E ni K_M.

[3] K_M = Mean Kinetic Energy
[4] K_E = Eddy Kinetic Energy

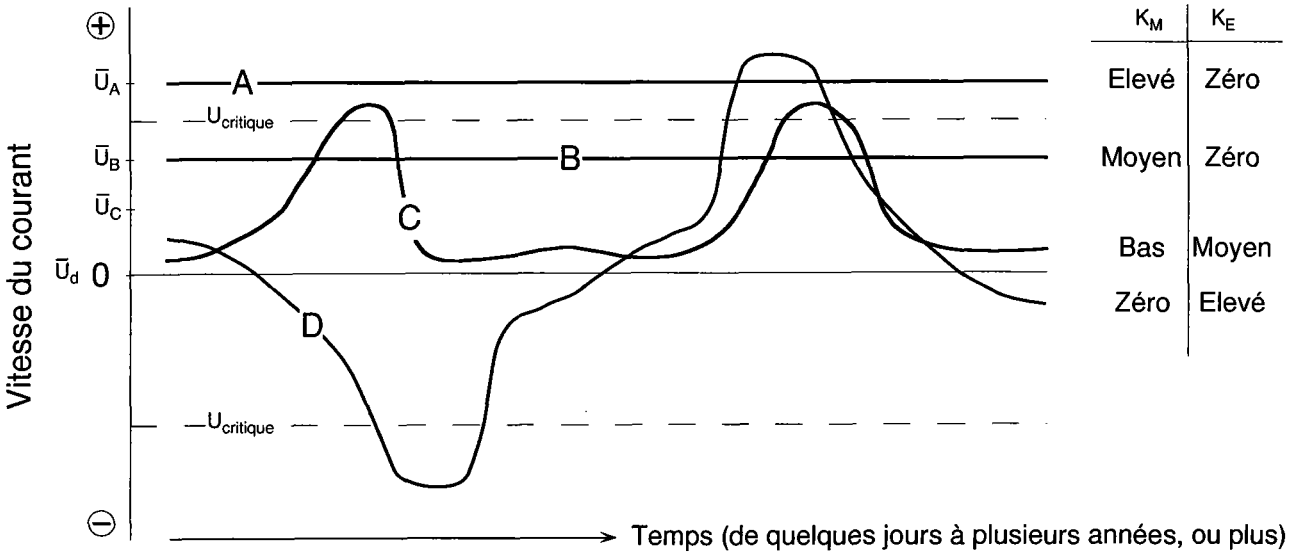


Fig. IV-13: Variations temporelles des courants [McCave et al., 1995]. A: Vitesse constante au dessus du niveau critique de vannage, le niveau d'énergie moyen (K_M) est élevé, le niveau de variabilité (K_E) est nul, le sédiment est affecté par le vannage. B: Vitesse constante au-dessous de niveau critique de vannage, le K_M est moyen et le K_E est nul, le sédiment ne montre pas de trace de l'action d'un courant. C: la vitesse du courant varie et dépasse occasionnellement le niveau critique de vannage, le K_M est bas, le K_E est moyen le sédiment sera affecté par le vannage. D: le courant a une vitesse très variable avec des directions variables (vitesses positives et négatives), le K_M est égal à zéro et le K_E est élevé, la résiduelle est nulle, pas de vannage. Auffret et al. [1981] montrent néanmoins que l'action d'un courant peut "réorganiser" le sédiment et créer un granoclassement inverse malgré une résultante nulle. La texture du sédiment enregistre les paroxysmes d'énergie et ne permet pas d'appréhender K_E ni même réellement K_M.

3.3. Comportement des particules dans un courant: peut-on considérer toutes les classes de taille?

Plusieurs auteurs suggèrent d'utiliser la fraction silteuse [Blaeser & Ledbetter, 1982; Haskell & Johnson, 1993; Ledbetter & Johnson, 1976; Manighetti & McCave, 1995b; McCave *et al.*, 1995; Revel *et al.*, 1996; Robinson & McCave, 1994; Wang & McCave, 1990], d'autres utilisent la totalité des classes [Auffret & Pastouret, 1979; Massé *et al.*, 1994; Pastouret *et al.*, 1978; Pudsey, 1992; Rea & Hovan, 1995]. Les particules inférieures à 10 µm tendent à être cohésives car les forces de van der Waal (attraction magnétique) prenant le pas sur la gravité. Les particules argileuses (<10 µm) n'existent généralement que sous la forme d'agrégats. Selon McCave *et al.* [1995] la vitesse de frottement[5] nécessaire pour rompre les forces de liaison est supérieure à la vitesse de frottement nécessaire pour mettre ou garder un agrégat en mouvement. Dans le cas d'un courant faible les agrégats peuvent résister, les particules <10 µm qui les composent n'ont donc pas en elles même de signification hydrodynamique.

[5] shear velocity

Cependant McCave *et al.* [1995] précisent que dans le cas d'un courant fort un sédiment présentera un déficit de particules argileuses car les agrégats sont emportés tels quels ou peuvent se rompre. Auffret *et al.* [1994] ont observé un processus de désagrégation suivi de remise en suspension. Il est donc permis de postuler que les particules argileuses conservent un intérêt hydrodynamique lors des processus de remobilisation sur le fond.

Les processus hydrodynamiques tendent à agir sur la particule "primaire" uniquement pour les diamètres supérieurs à 10 µm. au-dessus de 63 µm les vitesses de courant nécessaires à la mise en suspension ($U_{100} > 28$ cm.s^{-1} nécessaire)[6], sont relativement rares au fond des océans, la fraction sableuse n'est donc *a priori* pas adapté pour étudier les processus hydrodynamiques. Cette vitesse est calculée pour des particules de densité 2.65 (quartz). Les sédiments du plateau des Açores sont riches en nannofossiles carbonatés situés entre 1 µm et 25 µm (cf. chapitre II) qui constituent la majeure partie de la phase argileuse. Les coccolithes qui les composent atteignent rarement le fond en tant que particule individuelle mais sont incorporés dans des pellets fécaux [Kenneth, 1982]. Néanmoins après désagrégation ils peuvent être remobilisé car ils sont moins cohésifs que les argiles terrigènes [Wang & McCave, 1990]. Il nous sera donc possible d'utiliser la fraction argileuse car les phénomènes de remobilisation sont courant. Les tempêtes benthiques par exemple (cf. Auffret *et al.* [1994]) sont des événements ponctuels paroxysmaux, liés au passage de tourbillons, qui remobilisent le sédiment, or ce sont ces phénomènes que la texture du sédiment enregistre préférentiellement [McCave *et al.*, 1995].

La fraction sableuse des sédiments du plateau des Açores est presque en totalité composée de foraminifères. Les tests de foraminifères, parce qu'ils sont creux, ont une densité inférieure à celle de la calcite (2.71), fonction de la proportion de calcite dans le volume occupé par le test (cf. chapitre I). Pour cette raison les tests sableux ont un comportement hydrodynamique similaire à du quartz silteux (densité 2.65) [Oehmig, 1993] et présentent potentiellement le même intérêt que la fraction silteuse.

De part la forte teneur en nannofossiles et en foraminifères il est permis de postuler que toutes les classes granulométriques des sédiments du plateau des Açores sont potentiellement sensibles au processus hydrodynamique et avons considéré le sédiment dans sa totalité. Nous avons également réalisé quelques décarbonatations sur des échantillons dont nous avons ensuite mesuré la distribution granulométrique. Pour ces échantillons résiduels il est nécessaire, selon McCave *et al.* [1995] de ne considérer que la fraction silteuse comprise entre 10 µm et 63 µm pour une interprétation en terme d'hydrodynamisme.

Dans la suite de ce chapitre "argile" signifiera les fractions ≤ 10.4 µm, "silt" signifiera les fractions >10.4 µm et ≤ 64.2 µm et "sable" signifiera les fractions > 64.2 µm. Les limites

[6] d'après la relation de [Miller *et al.*, 1977]: $U_{100} = 122.6\ D^{0.29}$, pour les particules D<0.2 cm à 100 cm du fond.

sont données selon McCave *et al.* [1995] et les limites de classes du microgranulomètre laser Coulter LS130 (cf. Annexe Techniques de sédimentologie).

3.4. Indice représentatif de la variabilité de la texture

La texture d'un sédiment se décrit par la distribution granulométrique, c'est à dire l'importance relative des classes de taille. Pour quantifier la texture il est nécessaire de définir des indices qui permettront de décrire le sédiment et de visualiser les variations de texture. Ces indices sont de deux ordres, relatifs (% d'une fraction) ou absolus (unité de longueur). L'indice absolu est le plus utilisé, sous la forme de la médiane [Auffret & Pastouret, 1979; Auffret *et al.*, 1981; Pastouret *et al.*, 1978; Rea & Hovan, 1995], de la moyenne [Blaeser & Ledbetter, 1982; Haskell & Johnson, 1993; Ledbetter, 1979; Ledbetter, 1984; Ledbetter & Ellwood, 1980; Ledbetter & Johnson, 1976; Manighetti & McCave, 1995b; McCave *et al.*, 1995; Pudsey, 1992; Robinson & McCave, 1994] ou même du mode [Revel *et al.*, 1996]. L'indice relatif, beaucoup moins populaire, est utilisé sous la forme de pourcentage en silts (10-30 µm) [Revel *et al.*, 1996], % >10 µm [Massé *et al.*, 1994], variations relatives en argiles-silts-sables [Pudsey, 1992], % de la fraction >10 µm dans la fraction fine (>63 µm) [Robinson & McCave, 1994; Wang & McCave, 1990]. Bien que les deux types d'indice permettent de décrire de façon similaire les variations de la texture, l'utilisation d'un indice absolu est appréciable car il contient de l'information sur la taille des particules. Il permet également de décrire la texture d'un groupe de classes de tailles (par exemple des argiles, silts ou sables), tandis que l'indice relatif nécessite de créer de nouvelles subdivisions. L'indice relatif est généralement utilisé lorsque l'abondance de certaines classes de tailles est représentative d'apports particuliers comme le détritique non carbonaté >63 µm caractéristique des délestages d'icebergs. L'indice absolu, parce qu'il est exprimé en unité de longueur, permet de se situer vis à vis des diagrammes de vitesse du courant en fonction de la taille [Miller *et al.*, 1977]. Pour ces raisons nous utiliserons la moyenne sur la totalité des classes (plus simple et plus rapide à calculer que la médiane).

Signification des indices

La moyenne est interprétée comme marqueur de la vigueur des courants de fond, plus elle est élevée plus l'énergie sur le fond est considérée comme forte. Il n'est cependant pas possible de déterminer s'il existe une relation linéaire entre la valeur de la moyenne et l'intensité de l'énergie des courants. Manighetti *et al.* [1995b] suggèrent de ne considérer que les variations et pas sa valeur car celle-ci peut dépendre de facteurs locaux.

D'une autre manière Auffret *et al.*[1981]; Wang & McCave [1990] et Gonthier *et al.* [1981] ont montré qu'un comportement similaire des indices texturaux des phases carbonatées et terrigènes témoigne de l'action de courants de fonds. Auffret *et al.* [1981] ont ainsi déterminé un indice statistique basé sur la dimension et la corrélation de la médiane des deux phases pour

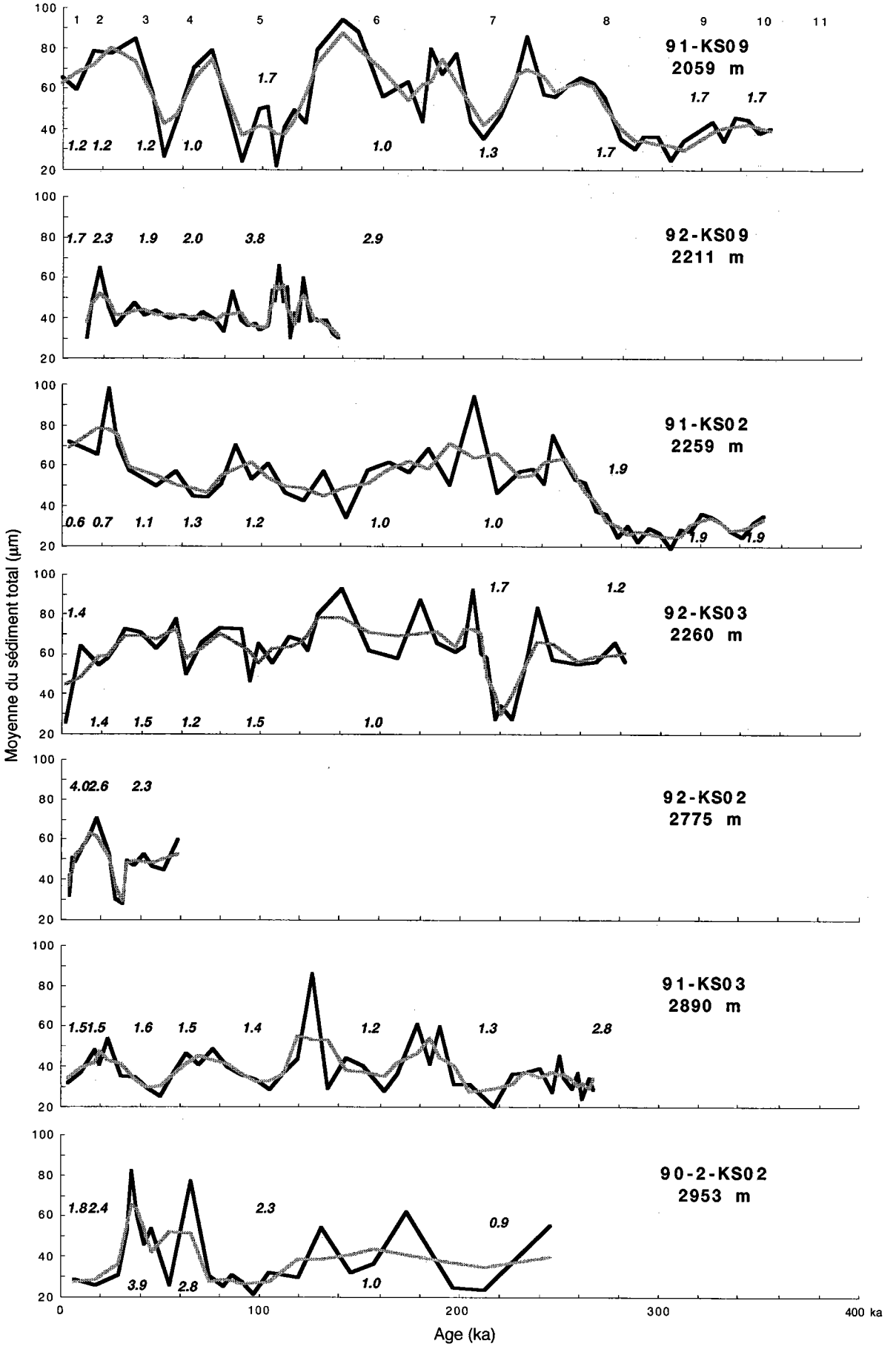


Fig. IV-14: Moyenne texturale du sédiment total pour les carottes ne présentant pas de signe de l'action d'un courant, utilisée pour établir la fonction d'apports pélagiques avec une résolution de 6 ka. La courbe en gris représente la courbe de la médiane lissée avec une moyenne mobile sur 3 points. Les chiffres en italique sont les taux de sédimentation moyens par stade isotopique (cm/ka).

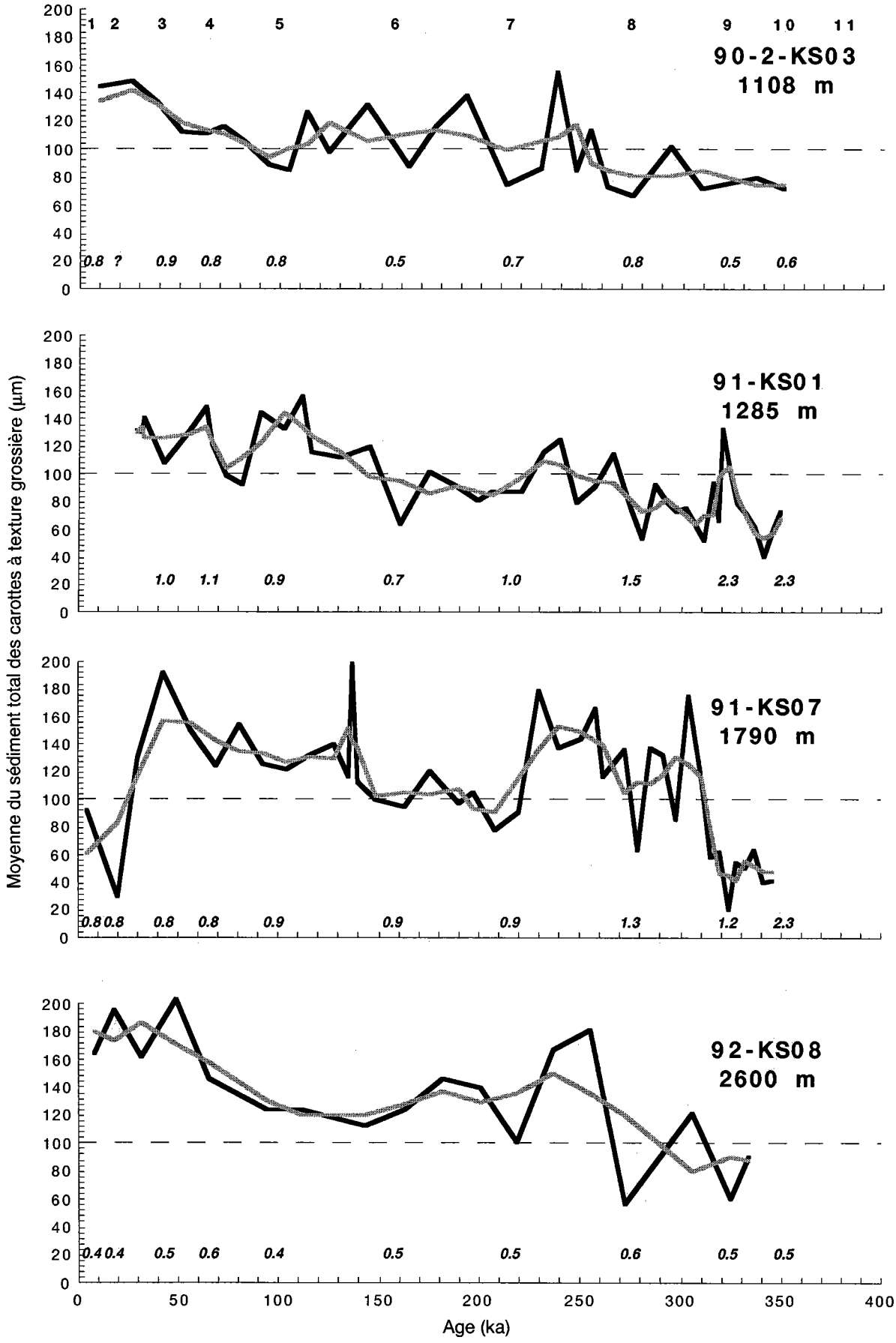


***Fig. IV-15**: Moyenne texturale du sédiment total des carottes à texture grossière. Elles présentent des granoclassements inverses et des faibles taux de sédimentation (chiffres en italique). La courbe en gris représente la moyenne (µm) lissée avec une moyenne mobile sur 3 points.*

estimer et comparer la vigueur relative des courants de fond à diverses époques et/ou dans divers sites. Ces auteurs ont également établi une relation entre leur coefficient d'hydrodynamisme pour des sédiments superficiels et la moyenne des courants mesurés sur site.

3.5. Phase biogène et terrigène: le problème de la texture à la source

La texture d'un sédiment est avant tout fonction de sa source, l'agent hydrodynamique n'est qu'un processus venant modifier la texture originelle. L'étude de l'hydrodynamisme par la texture se faisant généralement par l'étude des variations spatiales et temporelles il est primordial de s'assurer de la constance de la signature texturale du sédiment à la source ou bien d'en connaître les variations. Manighetti & McCave [1995b], sur le Banc de Rockall dans l'Atlantique Nord, ont défini un "blanc" appelé "fonction d'apport pélagique"[7] correspondant aux variations de texture de la phase terrigène dans des sédiments n'ayant pas été affectés par l'influence des courants. Ces auteurs font l'hypothèse que la signature texturale de la source de la phase terrigène est constante dans l'espace et soustraient la fonction d'apport des courbes de texture des sites soumis à l'influence de courants. D'une autre manière Revel *et al.* [1996] ont déterminé, sur le Gardar Drift, l'origine des particules terrigènes grâce aux rapports isotopiques du strontium ($^{87}Sr/^{86}Sr$) et du néodyme ($^{143}Nd/^{144}Nd$) et ont mis en évidence une origine Islandaise permanente pour les classes de taille terrigènes. Ces auteurs admettent cependant implicitement la constance de la signature texturale de la source.

La plupart des auteurs semblent admettre implicitement la constance spatio-temporelle de la signature texturale de la source [Auffret, 1983; Auffret & Pastouret, 1979; Auffret *et al.*, 1981; Blaeser & Ledbetter, 1982; Ellwood & Ledbetter, 1977; Ellwood & Ledbetter, 1979; Haskell & Johnson, 1993; Ledbetter, 1979; Ledbetter, 1984; Ledbetter & Ellwood, 1980; Ledbetter & Johnson, 1976; Massé *et al.*, 1994; Pastouret *et al.*, 1978; Pudsey, 1992]. Cette hypothèse est réaliste car la plupart d'entre eux utilisent la phase terrigène non carbonatée dont la texture à la source peut être considérée comme stable dans le temps. Des variations peuvent être liées au régime des vents mais elles peuvent être considérées comme mineures vis à vis des variations engendrées par les courants.

La phase biogène se caractérise par une forte variabilité temporelle de la productivité (cf. chapitre II) [Manighetti & McCave, 1995b; van Kreveld-Alfane, 1996] ayant des répercussions sur la texture. Pour ce motif elle n'est que rarement employée dans l'étude des paléocourants [Auffret, 1983; Gonthier *et al.*, 1981; Pastouret *et al.*, 1978; Pudsey, 1992].

[7] pelagic input function

3.6. Méthode d'extraction du signal hydrodynamique (SH)

Sur le plateau des Açores la phase biogène représente entre 80% et 100% des apports. Pour ce motif nous utiliserons la texture de la totalité du sédiment pour l'étude du paléohydrodynamisme. Selon la méthode de Manighetti *et al.* [1995b] nous déterminerons une fonction d'apports pélagiques représentative des variations texturales pour la totalité des composants. La morphologie du fond contrôle fortement la distribution des apports sédimentaires sur le plateau des Açores (cf. chapitre III). Les zones de fracture se caractérisent par des apports latéraux représentant entre 75 et 92% des apports et tendent à contenir plus de fines, au-dessus de 2000 mètres le sédiment tend à être vanné. Seules 7 carottes[8] (Fig. IV-14) contiennent des sédiments dont la lithologie et la texture ne semblent pas biaisées par la morphologie.

Fonction d'apport pélagique avec une résolution de 6 ka (FAP 6 ka)

La moyenne de ces 7 carottes tend à être plus grossière durant le Glaciaire (cf. Chapitre II) (Fig. IV-14). Cette tendance est associée à une baisse du flux carbonaté (cf. chapitre III) liée à une baisse de la productivité carbonatée dans l'Atlantique nord [Manighetti & McCave, 1995a; van Kreveld-Alfane, 1996]. La corrélation entre la texture et la baisse de la productivité s'explique par une plus forte baisse de productivité des nannofossiles vis à vis des foraminifères [Manighetti & McCave, 1995a; van Kreveld-Alfane, 1996] (Tab. IV-5). Deux échantillons de la carotte 91-KS03 (97 ka et 185 ka) montrent les même contrastes Glaciaire/Interglaciaire que ceux observés par van Kreveld-Alfane [1996]. A l'exception du flux terrigène qui reflète une différence de position vis à vis du front polaire Glaciaire, les variations du flux carbonaté et surtout du rapport des flux de foraminifères de nannofossiles sont similaires[9].

	Atlantique nord-est (48°23'N-25°05'W [van Kreveld-Alfane, 1996]			**Açores (36°46'N-30°30'W)**		
	Interglaciaire	**Glaciaire**	**Δ I-G**	**Interglaciaire**	**Glaciaire**	**Δ I-G**
% CaCO3	80	30	-50	88	75	-12
Flux Total	2.60	4.00	+54%	1.12	0.80	-29%
Flux terrigène	0.50	2.80	+460%	0.13	0.20	+54%
Flux CaCO3	2.10	1.20	-43%	0.99	0.60	-39%
nanno./foram.	1.10	0.50	-55%	1.00	0.49	-51%

***Tab. IV-5**: Comparaison des flux et des caractéristiques des sédiments Interglaciaires/Glaciaires entre les Açores et l'Atlantique nord est [van Kreveld-Alfane, 1996].*

[8] 90-2-KS02, 91-KS02, 91-KS03, 91-KS09, 92-KS02, 92-KS03, et 92-KS09

[9] Les variations de flux de nannofossiles et de foraminifères pour la carotte 91-KS03 sont déduites de la texture en convertissant la courbe granulométrique volumique obtenue par le Coulter LS130 en courbe granulométrique massique (cf. chapitre I), puis en faisant l'hypothèse que le rapport Argiles/Sables est représentatif du rapport nannofossiles/foraminifères.

Nous avons choisi d'effectuer une moyenne des 7 carottes afin de minimiser les variations locales et les incertitudes liées à la stratigraphie. La courbe obtenue montre que le sédiment tend à être plus grossier pendant les périodes froides et plus fin pendant les périodes chaudes (Fig. IV-16). Le taux de sédimentation moyen est estimé à 1.59 $cm.ka^{-1}$, ce qui associé à un pas d'échantillonnage de 10 cm autorise une résolution d'environ 6 ka. La moyenne de la fonction est 47 µm et l'amplitude des variations est de 43 µm. La résolution à l'intérieur du sédiment vanné est d'environ 12 ka, il n'y aura donc pas de perte d'information liée à la soustraction du signal pélagique.

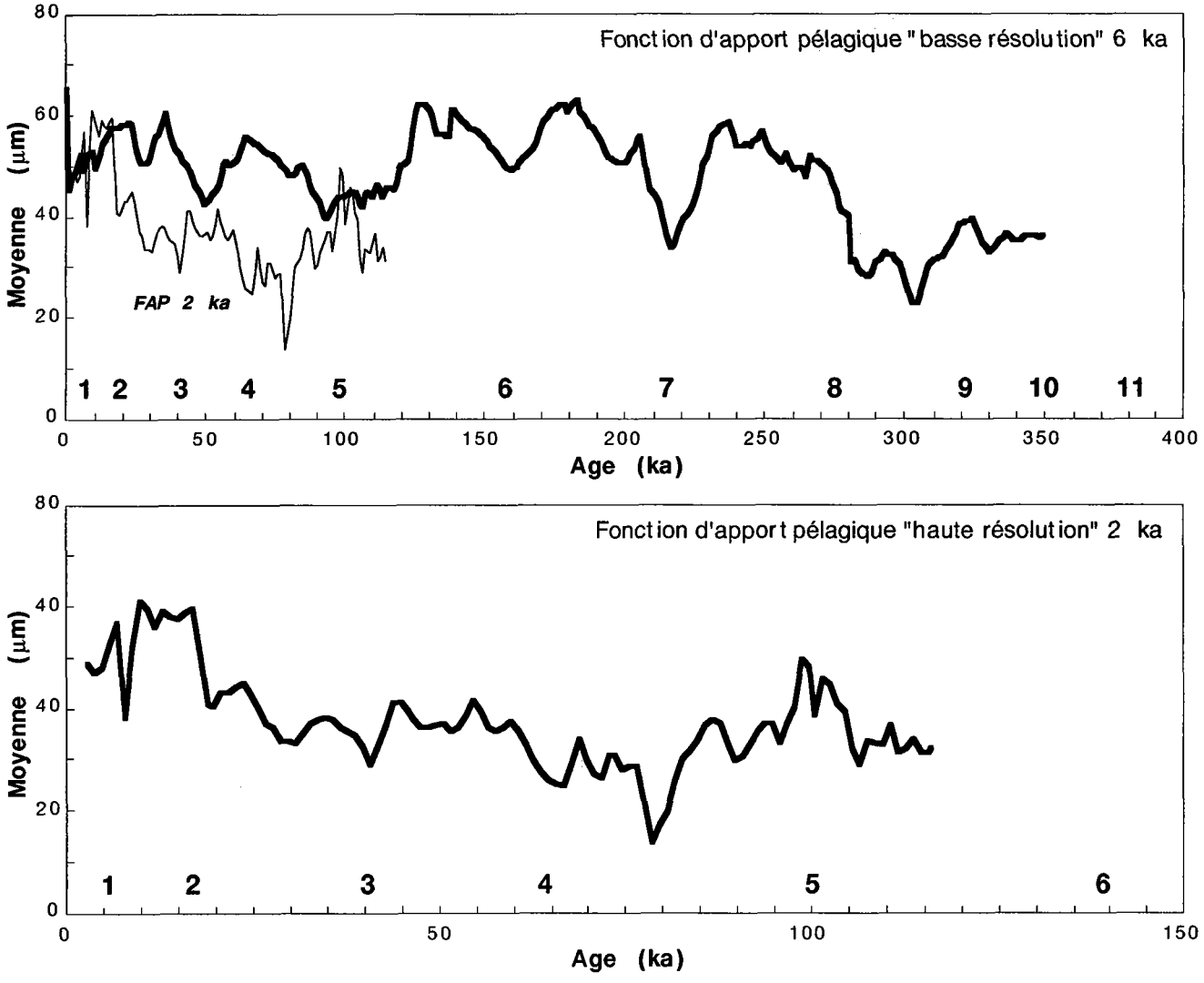


Fig. IV-16: Fonctions d'apport pélagique basse résolution et haute résolution. La courbe haute résolution est également sur le même graphe que la courbe basse résolution.

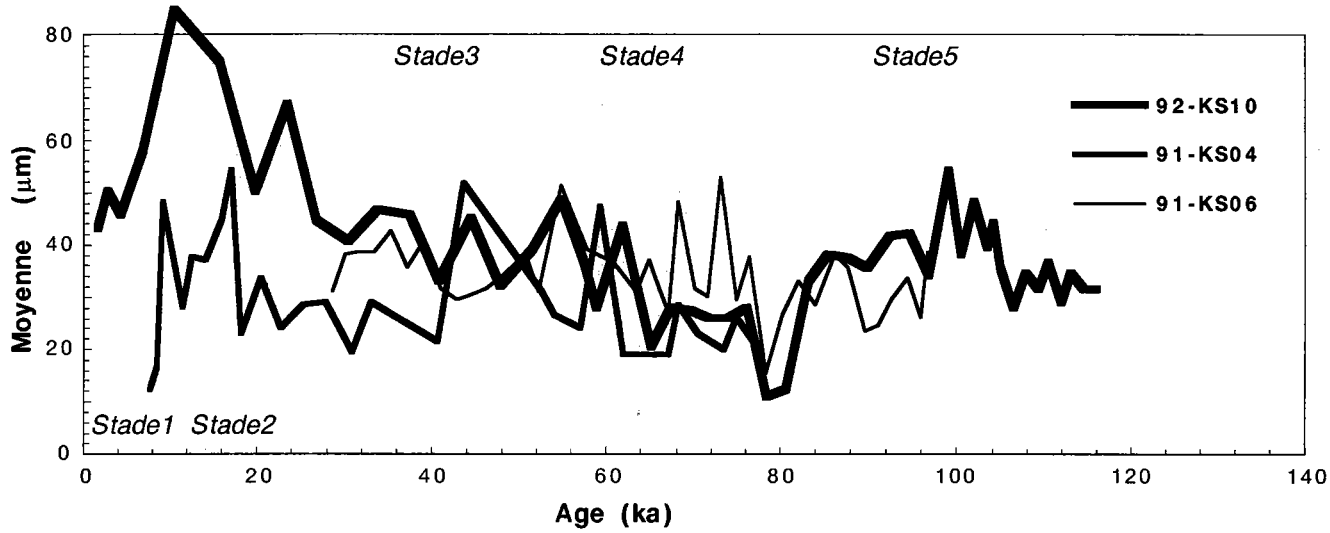


***Fig. IV-17**: Moyenne du sédiment total pour les carottes 91-KS04 et 92-KS10. La texture de 92-KS10 tend à être plus grossière que 91-KS04.*

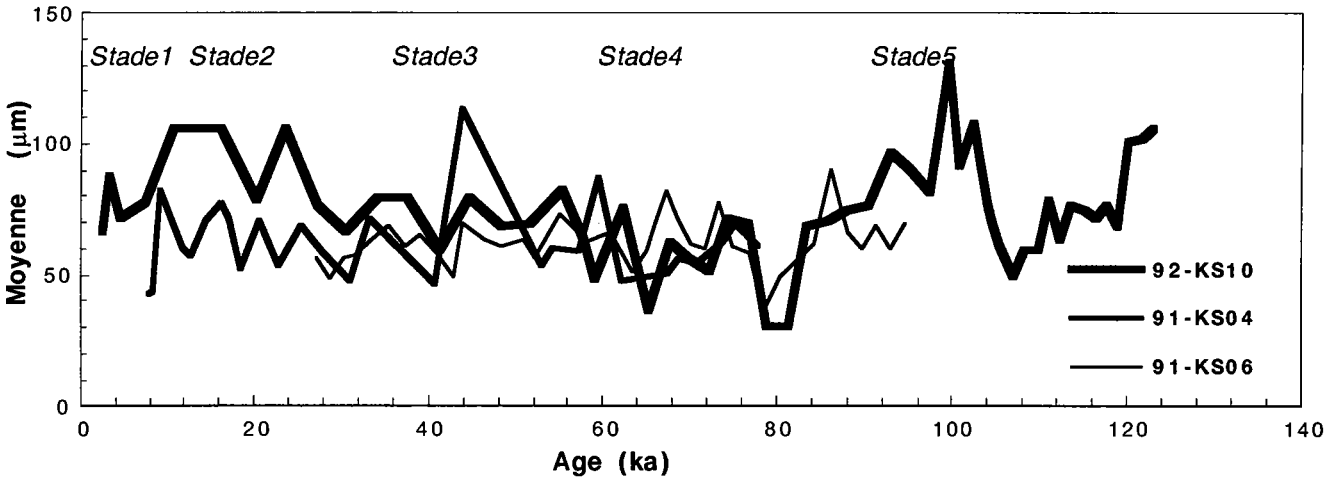


***Fig. IV-18**: Moyenne de la fraction supérieure à 10 µm (sédiment total) pour les carottes 91-KS04 et 92-KS10. Notez la remarquable similitude des courbes entre 40 ka et 80 ka. La texture plus grossière de 0 à 40 ka pour 92-KS10 peut s'expliquer par un l'action d'un agent hydrodynamique ou par des apports de matériel volcanique plus grossier en provenenance des îles.*

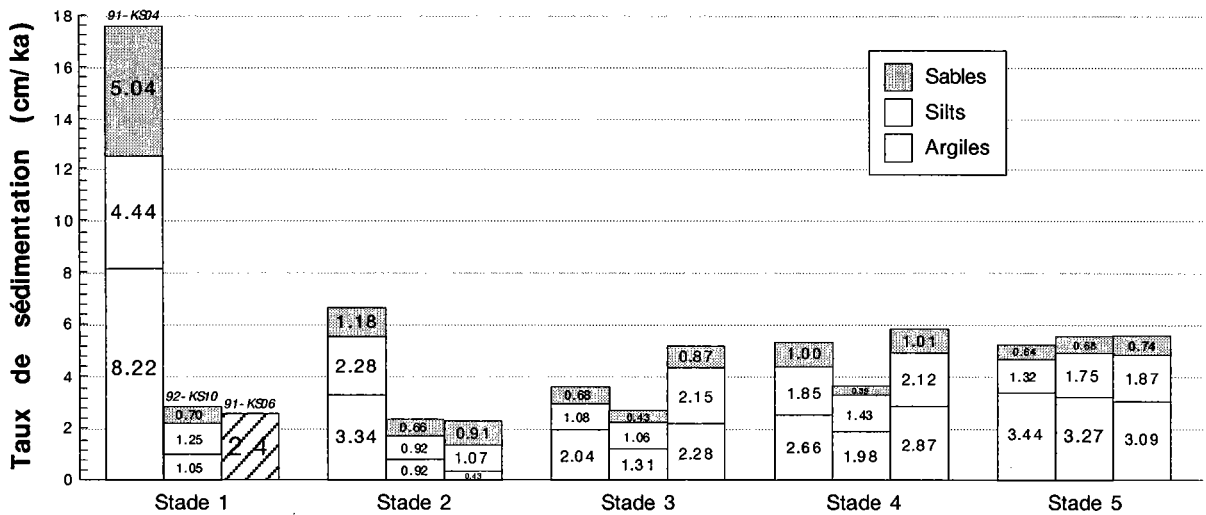


***Fig. IV-19**: Les taux de sédimentation des fraction argileuses, silteuses et sableuses des carottes 91-KS04, 92-KS10 et 91-KS06 du stade isotopique 1 au stade isotopique 5.*

Fonction d'apport pélagique avec une résolution de 2 ka (FAP 2 ka)

Les taux de sédimentation sur la ride sédimentaire de Faial permettent une résolution moyenne de 2 ka avec un pas d'échantillonnage de 10 cm. La fonction d'apports pélagiques définie plus haut n'est donc pas adaptée pour extraire le signal hydrodynamique car il en résulterait une perte d'information. Les seules carottes offrant une résolution supérieure à 2 ka et pour lesquelles nous disposons de mesures granulométriques sont les carottes 91KS04, 92-KS10 et 91-KS06. Les sites de ces 3 carottes sont très différents l'un de l'autre: 91KS04 se situe à l'extrémité est d'un bassin transformant à 2183 mètres de profondeur, 91-KS06 se trouve dans un bassin sur le flanc est de la ride à 2250 mètres et 92-KS10 se situe dans un large bassin entre Faial et la dorsale à 1900 mètres (Fig. IV-9). La stratigraphie des carottes 91-KS04 et 92-KS10 est établie à partir des variations du $\partial^{18}O$ par corrélation avec la courbe SPECMAP et les limites des stades isotopiques selon Imbrie *et al.* [1984]. La stratigraphie de la carotte 91-KS06 est établie par corrélation graphique de la réflectance avec la carotte 92-KS10 (cf. chapitre I).

Ces 3 carottes ont des taux de sédimentation moyens compris entre 4 et 5 cm.ka-1 ce qui implique des apports latéraux compris entre 60 et 70%. Ces apports ne modifient quasiment pas la signature pélagique tant pour la texture que pour la lithologie (cf. chapitre III), ces carottes sont potentiellement fiables pour être utilisées comme référence texturale pélagique. On constate néanmoins que la moyenne tend à être plus basse que pour la FAP 6 ka (Fig IV-16 et IV-17). Aucune des trois carottes n'est idéale comme fonction d'apport pélagique: le sédiment de la carotte 91-KS04 montre un surplus de fraction fine (Fig. IV-18 et IV-19) et contient des niveaux de cendres volcaniques qui peuvent contaminer la texture, le sédiment de la carotte 92-KS10 semble avoir subi l'action de courants entre 16 ka et 9 ka car la texture est grossière et le taux de sédimentation faible, la stratigraphie de la carotte 91-KS06 n'est pas aussi fiable que celle des deux autres. Pour les mêmes raisons que la FAP 6 ka Il est préférable de choisir la moyenne de ces trois courbes, le signal hydrodynamique de la carotte 92-KS10 sera ainsi atténué et cette fonction peut être considérée comme un signal hydrodynamique "minimal". La moyenne de cette fonction est de 37 µm et l'amplitude des variations de 47 µm, elles sont du même ordre que celles observées pour la FAP 6 ka et peuvent être considérées comme significatives des variations pélagiques (Fig. IV-16).

3.7. Mise en évidence du signal hydrodynamique (SH)

Le SH est obtenu en soustrayant la FAP de la courbe de la moyenne du sédiment total. La soustraction des FAP de la texture des carottes se fait en rééchantillonnant les FAP aux points d'échantillonnage des carottes à l'aide du logiciel AnalySeries© [Paillard *et al.*, 1996] puis en soustrayant point à point. Les FAP montrent une amplitude de variation d'environ 40 µm, afin d'éviter des erreurs liées à l'incertitude sur la stratigraphie il convient d'être prudent dans

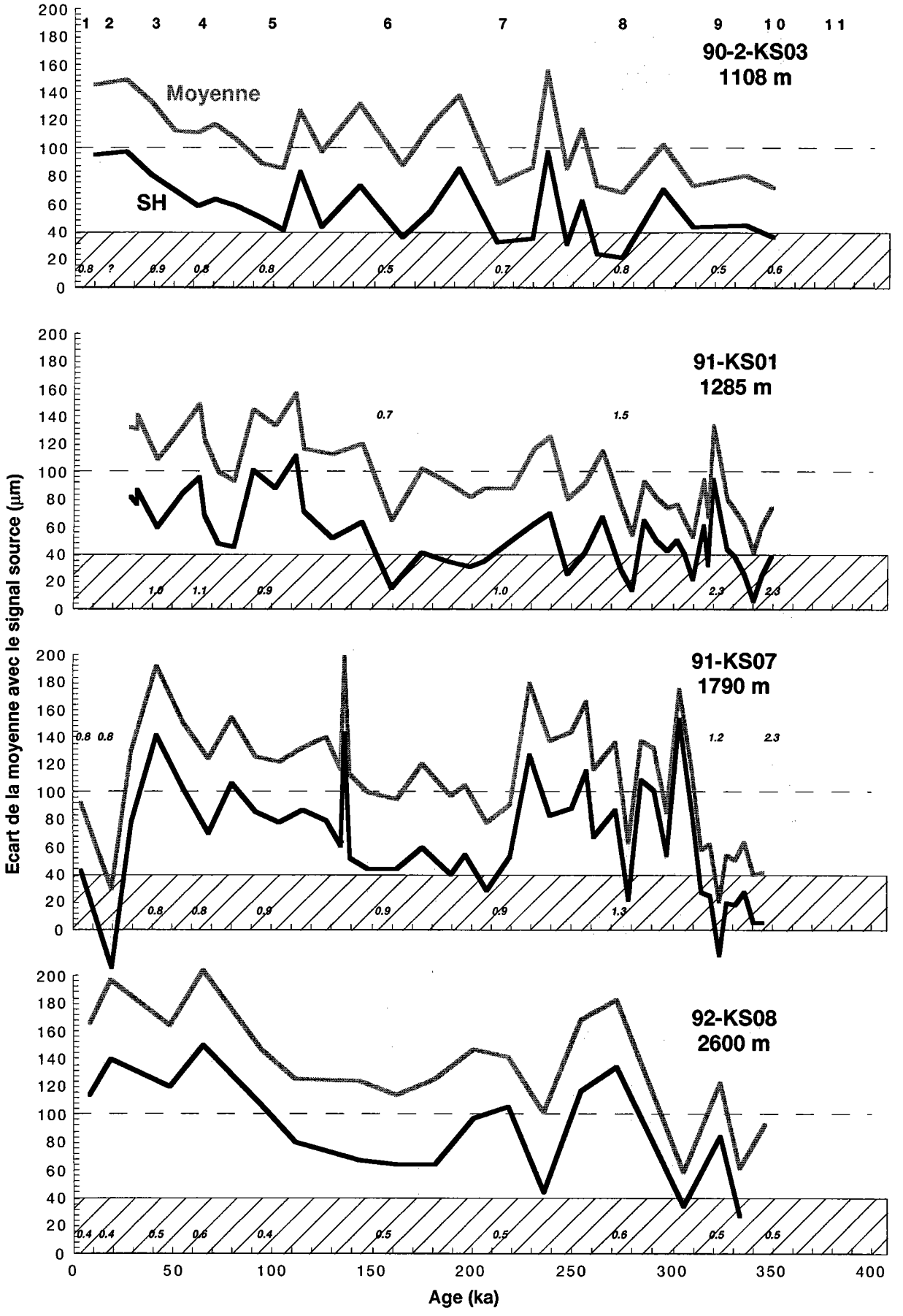


Fig. IV-20: Signal Hydrodynamique pour le sédiment vanné (courbe noire). Les hachures signalent les écarts inférieurs à 40 µm qui sont considérés comme non significatifs. La courbe en gris est la moyenne du sédiment total. Les chiffres en italique indiquent le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique.

l'interprétation en terme d'hydrodynamisme du SH compris ±40 µm. Cette fenêtre de ±40 µm sera visualisée sur les courbes du SH par des hachures.

Le SH dans les sédiments vannés (FAP 6 ka)

La moyenne du sédiment est comprise entre 20 µm et 200 µm et montre une forte variabilité (Fig. IV-15). Le SH est à deux points près toujours positif, mais un certain nombre de valeurs sont inférieures à 40 µm. La soustraction de la FAP a eu pour effet d'abaisser les valeurs de la moyenne d'environ 60 µm, mais n'affecte pas de façon notable les variations de la moyenne. Ceci montre que le SH est suffisamment fort pour oblitérer la variabilité de la texture liée à la source biogène. Le SH est compris entre -28 µm et 152 µm, il est généralement inférieur à 100 µm. Un maximum relatif est atteint au stade 8 et le maximum absolu est atteint au stade 3. Les 4 carottes tendent à avoir un SH élevé au stade 8, suivi d'une chute aux stades 7 et 8. Dans les 4 carottes le SH est inférieur à 40 µm au stade 10 (Fig. IV-20). Le SH moyen sur les 4 carottes tend à croître du stade 10 au stade 2 (Fig. IV-21) mais avec une décroissance plus ou moins forte au Stade 6. La variabilité du SH est contrôlée par la résolution de l'enregistrement liée au taux de sédimentation.

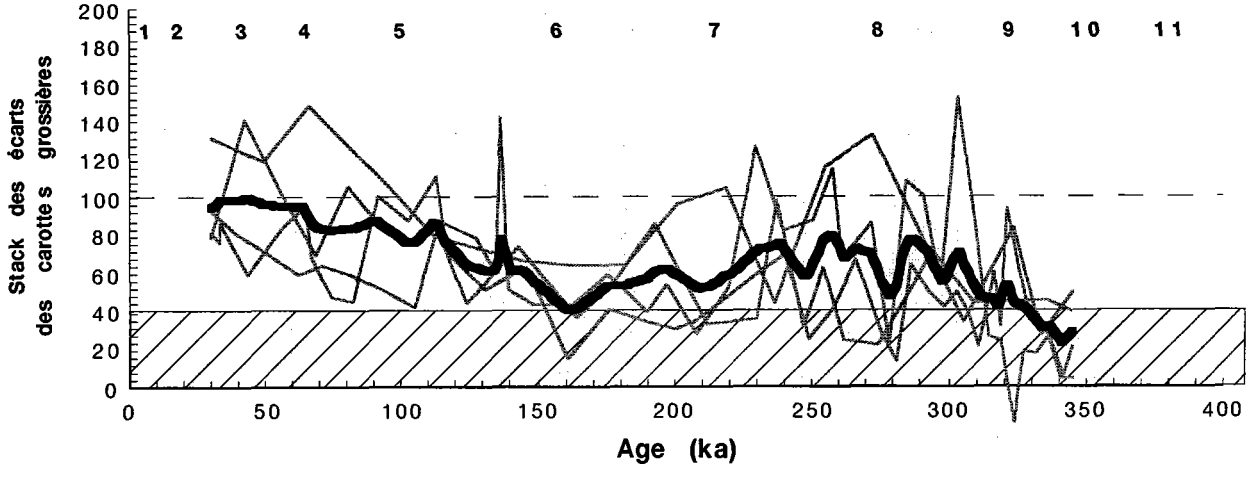


Fig. IV-21: Stack (trait noir épais) des SH pour les carottes à texture grossière. Les tendances générales ressortent: faible signal pour les stades 10, 9 et 6, fort signal pour les stades 8, 7, 5, 4 et 3. Le SH est supérieur à 40 µm pour tous les stades sauf le stade 10 et le début du stade 9.

Le SH sur la ride sédimentaire (FAP 2 ka)

La moyenne du sédiment est comprise entre 40 µm et 230 µm, la variabilité est moins grande que pour le sédiment vanné (Fig. IV-22). Comme précédemment la soustraction de la FAP a pour effet d'abaisser les valeurs de la moyenne d'environ 60 µm sans en modifier réellement les variations, le SH est suffisamment fort pour oblitérer la variabilité à la source (Fig. IV-23). Le SH est inférieur à 40 µm du stade 5 jusqu'au milieu du stade 4 (64 ka) et à l'Holocène (9 ka jusqu'à l'actuel). Le plus fort SH est observé entre 46 ka et 38 ka, et de 22 ka jusqu'à 19 ka (début du hiatus). La totalité du stade 2 et du stade 3 ont néanmoins un signal hydrodynamique supérieur à 40 µm.

Comportement de la phase résiduelle et de la phase carbonatée

Une méthode simple pour mettre en évidence l'action de courant est d'examiner le comportement textural de deux phases *a priori* indépendantes: la phase biogène carbonatée et la phase non-carbonatée (résiduelle). La phase carbonatée étant majoritaire elle est largement représentative de la texture du sédiment total.

Les moyennes de la fraction totale des deux phases ont un comportement remarquablement similaire tant pour KF21 que pour KS15 (Fig. IV-24). Les variations de la moyenne sont néanmoins plus molles pour la phase résiduelle et une meilleure corrélation est observée pour les sédiments grossiers du glaciaire. La moyenne des carbonates est largement supérieure à celle des résiduels pour les sédiments grossiers glaciaires (Stades 2, 3 de KF21), mais elles sont similaires pour les sédiments fins interglaciaires (Stade 1 et 5 de KF21). La moyenne des résiduels atteint jusqu'à 100 µm du fait de la présence de spicules de spongiaires.

Relation entre SH en teneur en sables

Le calcul du SH nécessite le calcul de la moyenne et la connaissance de la stratigraphie. La teneur en sable constitue le paramètre textural le plus facile à obtenir, il est donc intéressant de déterminer la relation entre le SH et la teneur en sable afin d'estimer le signal hydrodynamique à partir de ce paramètre simple.

La figure IV-25 montre une différence dans la relation entre le SH et la teneur en sables de part et d'autre de 40 µm. Cette différence de comportement est liée à l'incertitude qui existe sur la signification du SH inférieur à 40 µm en terme d'hydrodynamisme. Il existe une relation linéaire entre la teneur en sables et le SH pour les valeurs supérieures à 40 µm:

$$\% \text{ Sables} = (0.26 * SH) + 36.53 \qquad (r = 0.71)$$

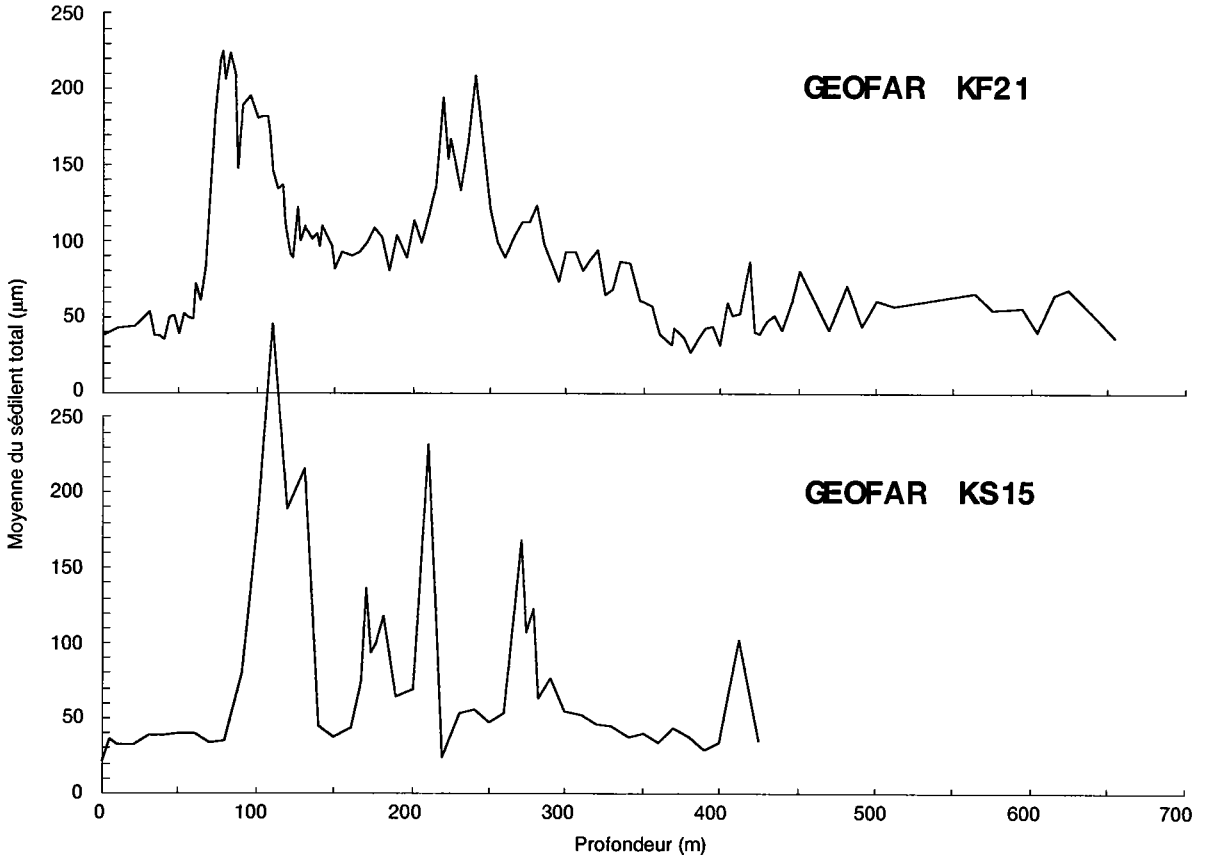


Fig. IV-22: Moyenne du sédiment total pour les carottes KF21 et KF15. La première provient du sommet de la ride sédimentaire, la deuxième du flanc doux.

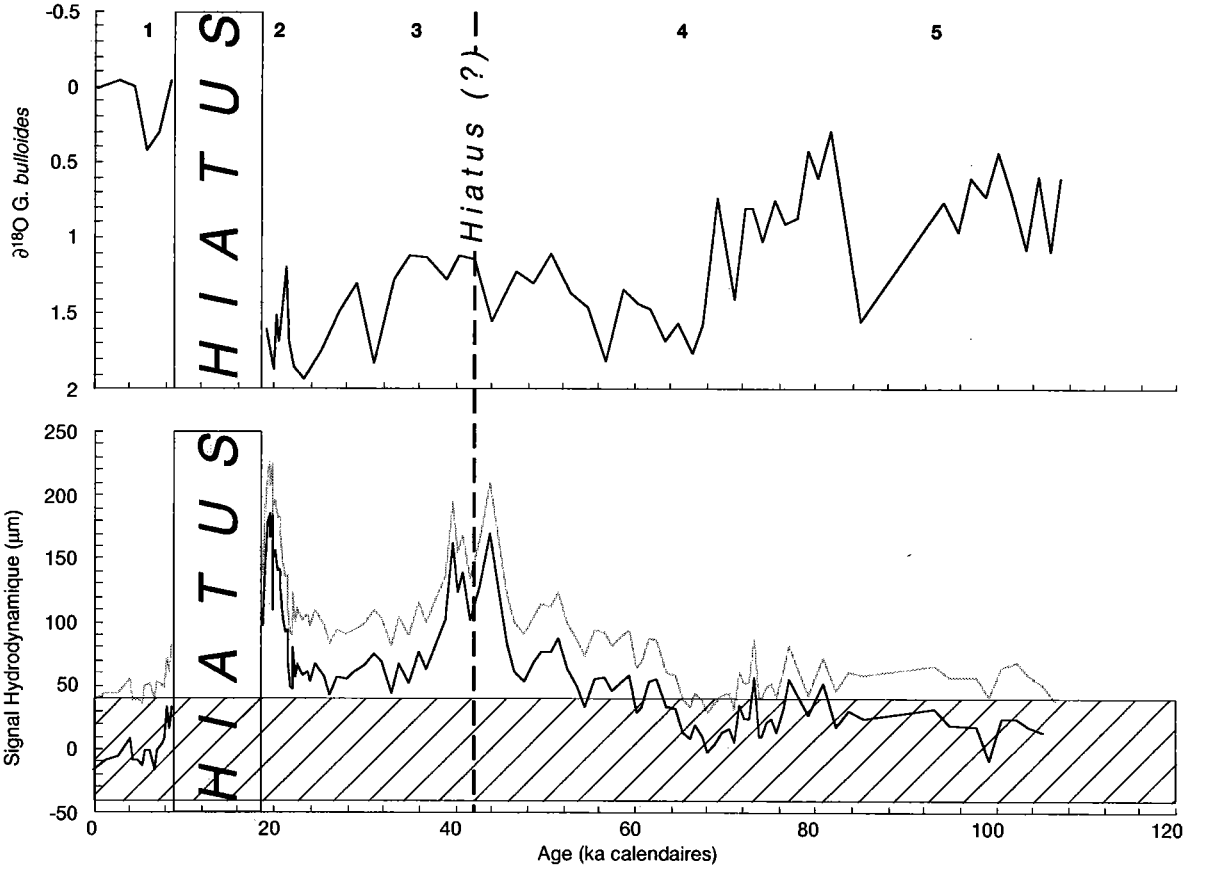


Fig. IV-23: Signal Hydrodynamique pour KF21 (la courbe en gris est la moyenne texturale). La courbe du ∂18O montre que les stades isotopiques froids sont corrélés aux épisodes de forte énergie.

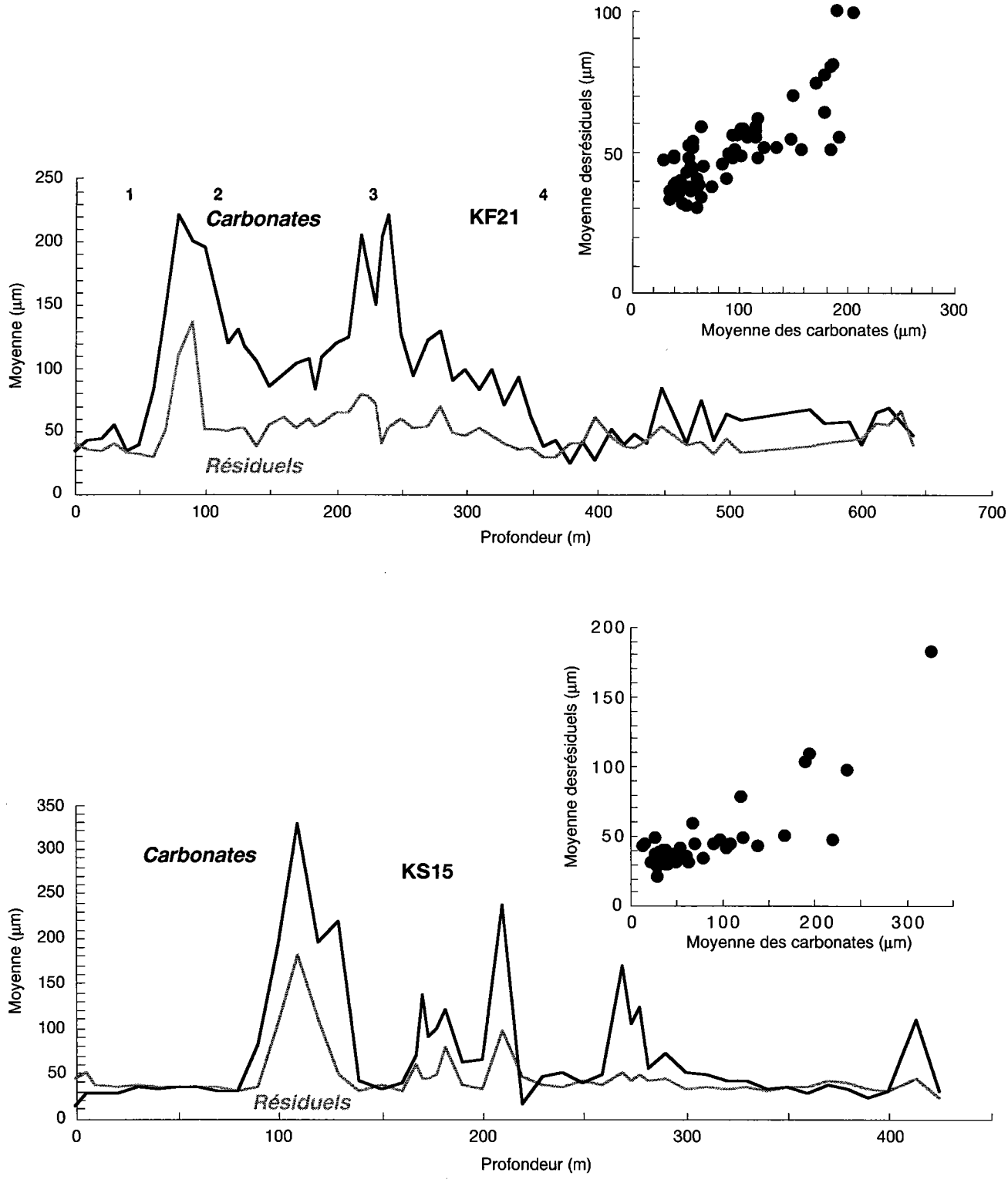


***Fig. IV-24**: Corrélation entre la moyenne des carbonates et la moyenne de la phase résiduelle pour les carottes GEOFAR KF21 et KS15. La bonne corrélation observée est un indice de l'action d'un courant.*

Le signal hydrodynamique égal à zéro coupe l'ordonnée à 36.5%. Il est donc possible de postuler que les teneurs en sables >35% pour les sédiments du plateau des Açores peuvent être interprétées comme la signature de l'action d'un courant.

3.8. Caractéristiques texturales des sédiments présentant un SH élevé

Ces sédiments se caractérisent par une forte teneur en sable (Tab. IV-6). Le rapport de la teneur en argile sur la teneur en silts à décroître lorsque le SH augmente (Fig. IV-26). Cette caractéristique signifie que l'action d'un courant tend à ôter préférentiellement les fines. Le rapport du sédiment est fonction du site et baisse en fonction de la teneur en sable et l'énergie ambiante.

	% Argiles	% Silts	% Sables
91-KS09	40.8	36.4	22.8
92-KS09	50.5	34.3	15.2
91-KS02	51.6	26.7	21.7
92-KS03	45.1	31.5	23.4
92-KS02	52.4	29.9	17.7
91-KS03	55.2	26.9	17.9
90-2-KS02	49.1	35.1	15.8
90-2-KS03	*28.2*	*16.4*	*55.4*
91-KS01	*31.7*	*17.4*	*50.9*
91-KS07	*25.5*	*24.8*	*49.7*
92-KS08	*36.0*	*15.3*	*48.7*

***Tab. IV-6**: Teneurs moyennes en argiles silts et sables du sédiment vanné.*

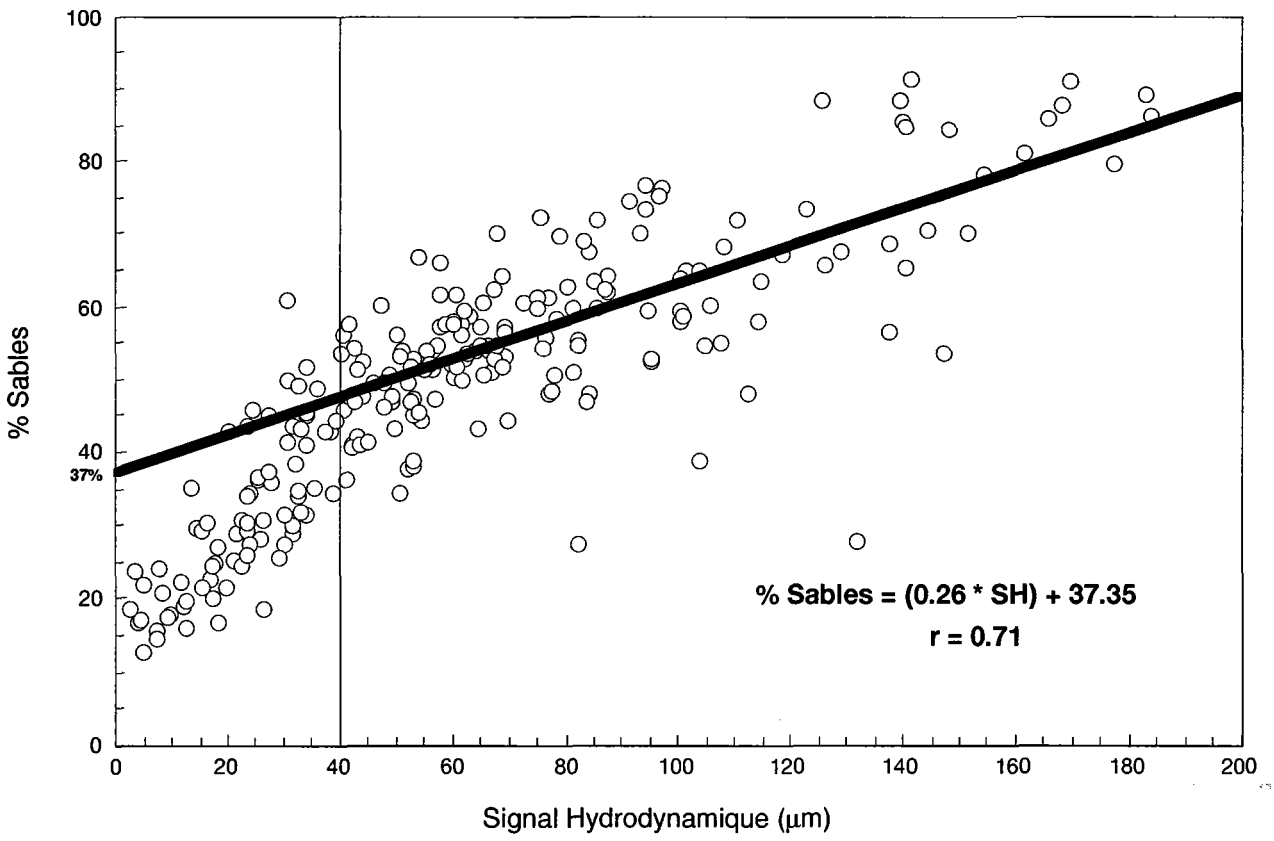


***Fig. IV-25**: Relation entre le SH et la teneur en sable du sédiment. Le SH inférieur à 40 µm doit être interprété avec précaution. L'ajustement réalisé pour le signal >40 µm montre que les teneurs en sable >35% sont liées à l'action d'un courant. La relation entre le SH et la teneur en sable est linéaire.*

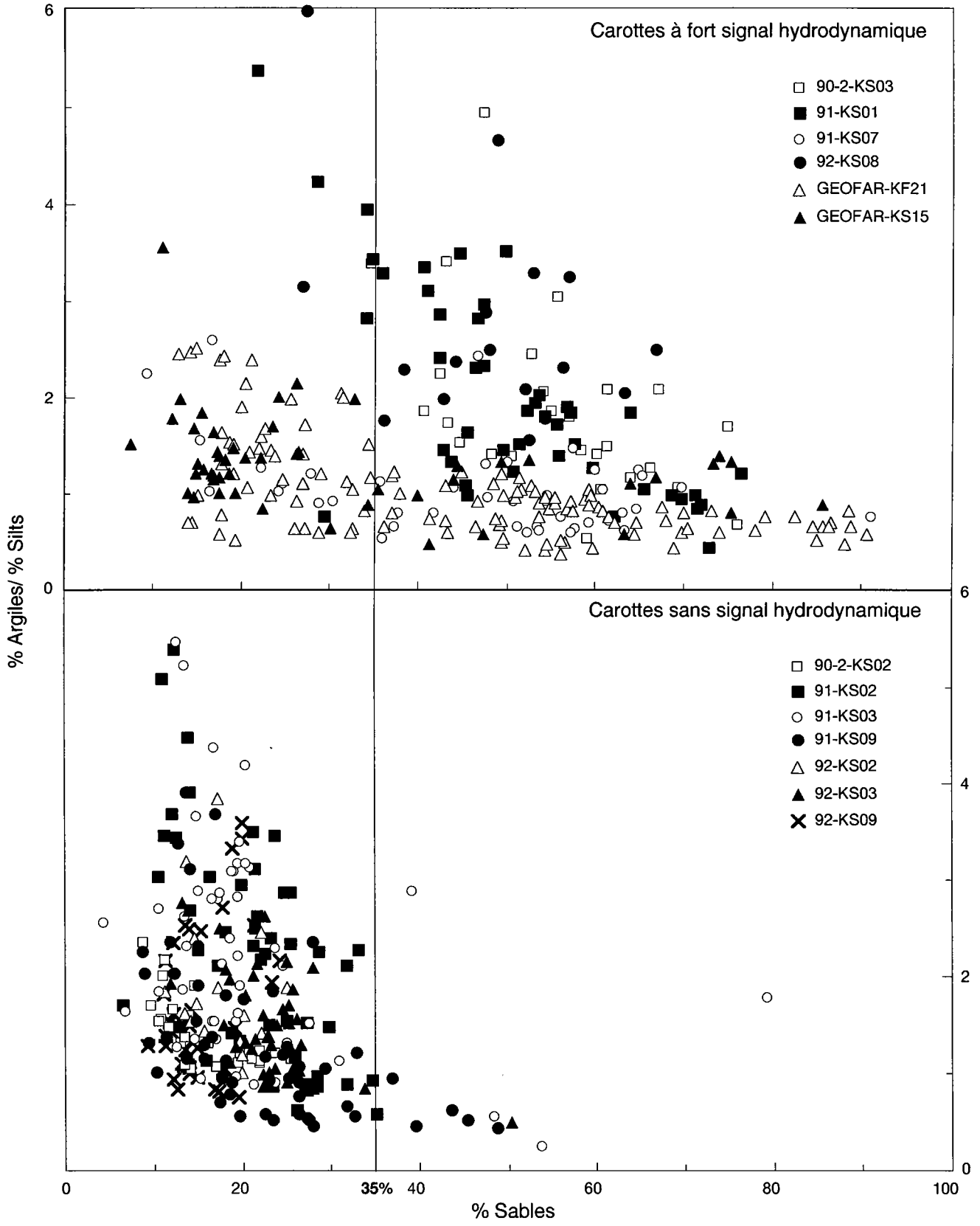


***Fig. IV-26**: Caractéristiques texturales des sédiments: le rapport entre la teneur en argiles et la teneur en silts tend à diminuer avec la teneur en sables. Il est proportionnel au SH mais est également fonction du site. La teneur de 35% de sables marque la limite au delà de laquelle la signature texturale du SH est supérieure à celle de la source.*

Les sédiments de la ride sédimentaire ne montrent pas de comportement différent de celui des autres carottes bien que la dynamique soit accumulative et non pas vannante. Dans ces deux carottes (KF21 et KS15) le rapport % argiles/% silts est plus faible que pour les autres carottes pour un SH faible et reflète peut-être un processus de piège à sédiment similaire aux bassins de la dorsale (chapitre III) (Fig. IV-26). Le sédiment de la carotte 91-KS07 montre les mêmes caractéristiques mais ne se situe pas dans le même contexte morphologique.

3.9. Signification des variations de l'indice hydrodynamique

La ride de Faial contient 70 cm de sédiment holocène sans SH notable, il n'y a donc pas actuellement de courant suffisamment fort au niveau de la ride pour affecter la texture du sédiment. Il est raisonnable de postuler que les conditions hydrodynamiques étaient similaires durant le stade 5: les sédiments datant de cette époque ne contiennent pas non plus de signal hydrodynamique (Fig. IV-23). Nous devons dans cette hypothèse admettre que le SH élevé constant observé sur les sédiments du plateau des Açores depuis environ 400 ka est une apparence et que les fortes énergies glaciaires ont remis en suspension et vanné le sédiment interglaciaire. Le SH reflète donc la variabilité des paroxysmes à l'échelle du cycle Glaciaire/Interglaciaire (100 ka). Il n'a pas été possible de mettre en évidence des hiatus dans les carottes à sédiment vanné. De tels hiatus existent probablement mais ne correspondent pas toujours à des discontinuités lithologiques. La stratigraphie n'est pas suffisamment précise pour les mettre en évidence. Nous devons faire l'hypothèse que la sédimentation a été "continue" à l'échelle de 400 ka.

Cas particulier de la ride sédimentaire de Faial

Les taux de sédimentation des carottes GEOFAR KF21 et KS15 sont supérieurs aux taux moyens observés sur le plateau des Açores et s'expliquent par la morphologie très encaissée du site qui est un canyon de 10 km de large et 1 km de profondeur (Fig. IV-11 et IV-12). Ce canyon tend à collecter les apports en provenance du plateau suivant le processus des pièges à sédiment sur la dorsale (cf. chapitre III).

La dynamique de dépôt sur la ride sédimentaire est complexe. La morphologie de la ride est le reflet des taux de sédimentation ante-holocène plus faibles sur le flanc (carotte KS15) que sur le sommet (KF21). La morphologie et les caractéristiques stratigraphiques et texturales de la ride sont comparables à celles observées sur la ride de Faro sur la marge sud du Portugal [Stow *et al.*, 1986]. Les points communs en sont:

- la morphologie asymétrique
- un amincissement des dépôts sur le flanc doux
- la présence de forts taux de sédimentations sur la crête et de faibles taux sur le flanc doux
- la présence de séries grossières à granoclassement inverse

- la présence de hiatus

Ces similitudes sont un argument supplémentaire pour l'origine hydrodynamique de la ride.

La dynamique de dépôt d'une ride sédimentaire doit être considérée en 3 dimensions. Elle se caractérise par des zones d'érosion et des zones de dépôts dont la position peut varier.

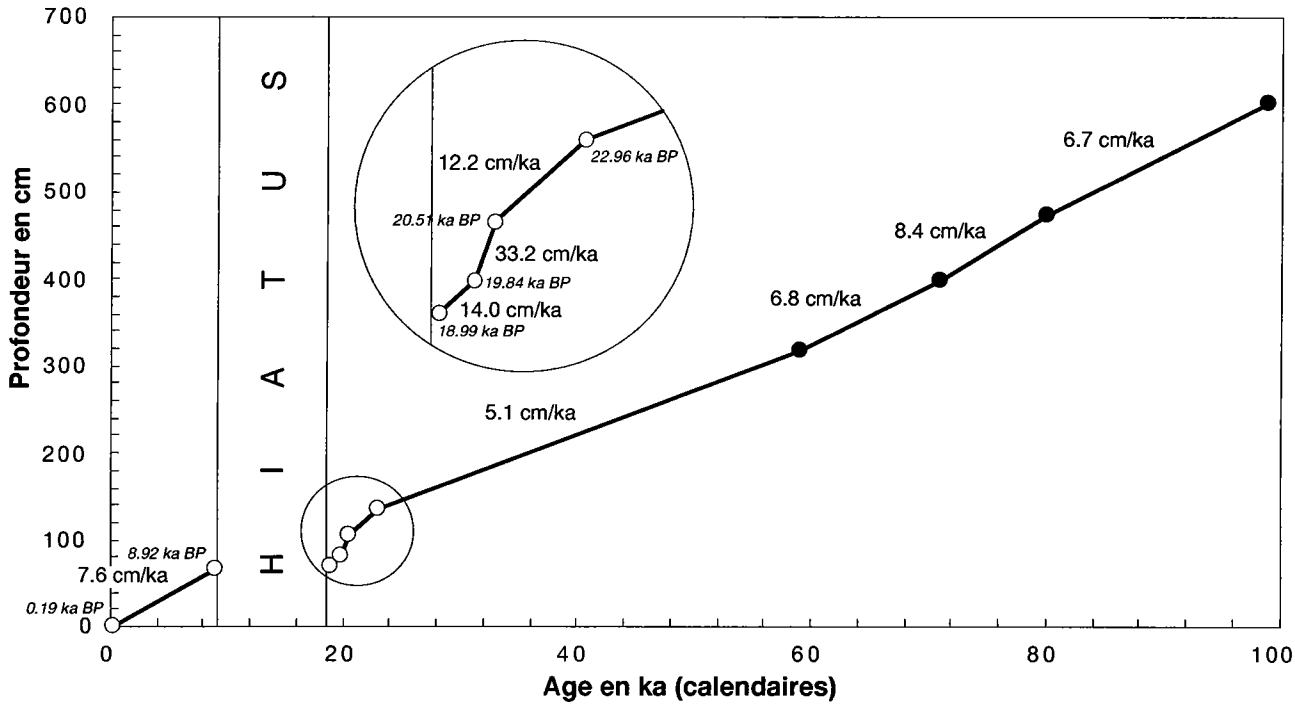


Fig. IV-27: Stratigraphie et taux de sédimentation de GEOFAR-KF21. Les ronds noirs indiquent les âges obtenus par la corrélation de la courbe $\partial^{18}O$ (G. bulloides) avec la courbe SPECMAP. Les ronds blancs indiquent les âges obtenus par datation ^{14}C sur la fraction carbonatée, corrigés en âges calendaires selon Bard et al. [1993]. Les incertitudes sur les âges ^{14}C sont données dans le chapitre I, Tab. I-6.

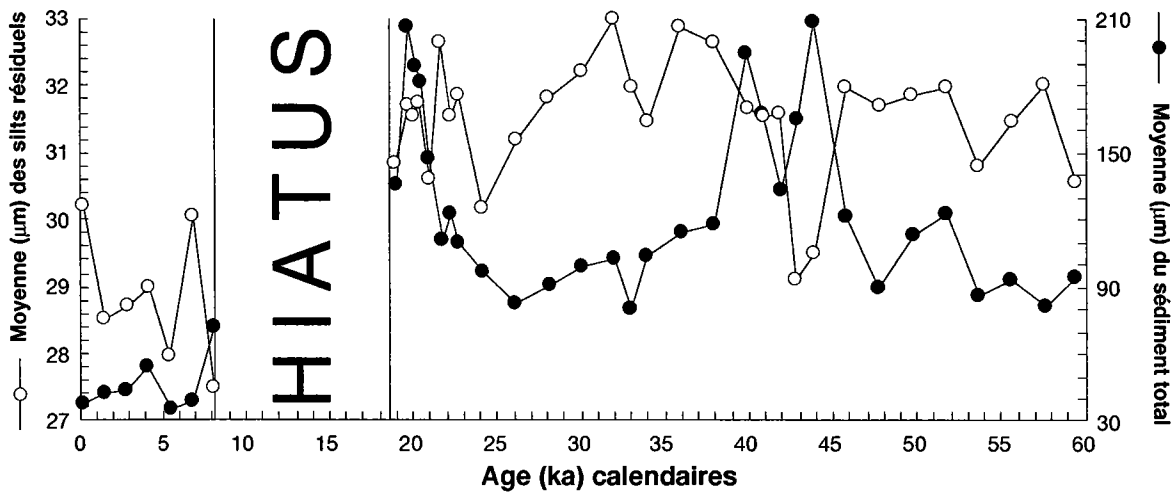


Fig. IV-28: Texture de la carotte GEOFAR-KF21 illustrée par la moyenne du sédiment total et de la moyenne des silts résiduels qui sont supposés être la phase et la fraction la plus sensible à l'action de courants [McCave et al. 1995].

Les variations verticales de la texture peuvent ainsi refléter un déplacement de ces zones. Néanmoins la morphologie de la ride indique que la crête constitue le centre privilégié de dépôt et le flanc doux le centre privilégié d'érosion ou de faible dépôt. La teneur en sables atteint des valeurs plus élevées sur le flanc, ce qui plaide en faveur d'une plus grande vigueur des courants. L'absence de figures telles que des lentilles sigmoïdes [Stow *et al.*, 1986] permet de supposer que l'aggradation est le phénomène qui domine la dynamique du dépôt et que la position des centres d'accumulation et d'érosion n'a pas varié dans le plan du profil 3.5 kHz durant l'intervalle de temps considéré. La présence du hiatus montre cependant que la crête de la ride est passée brusquement de l'état de zone de dépôt intense à l'état de zone de non-dépôt (érosion?). Les sédiments particulièrement grossiers qui précèdent le hiatus (KF21 de 23 ka à 19 ka) (Fig. IV-28) et les taux de sédimentation particulièrement élevés associés (Fig. IV-27) confirment le rôle de centre d'accumulation de la crête. La phase précédant le hiatus (de 19.84 ka à 18.99 ka) montre un taux de sédimentation diminué de moitié et une texture moins grossière. Cette baisse ultime du taux de sédimentation peut refléter l'amorce du déplacement de la zone d'accumulation pouvant être liée à un renforcement des courants. La texture du sédiment devrait dans ce cas devenir encore plus grossière, mais il est possible qu'une certaine contamination par les sédiments holocènes discordants altère le signal textural. L'hypothèse la plus plausible pour expliquer le hiatus est donc un déplacement de la zone d'accumulation lié à la progradation de la ride, probablement perpendiculaire au profil 3.5 kHz. Une telle progradation est également décrite sur la ride de Faro [Stow *et al.*, 1986] mais uniquement sur la base de données acoustiques.

La reprise brutale de la sédimentation holocène peut s'expliquer soit par un arrêt brutal des courants soit par un déplacement irréversible de la zone d'accumulation. Une troisième hypothèse fait appel à un mouvement gravitaire ayant fait disparaître le sédiment déposé entre 19 ka et 9 ka. Le profil 3.5 kHz ne permet pas de mettre en évidence de telles instabilités sur la ride. Les hiatus décrits par [Stow *et al.*, 1986] sur la ride de Faro sont interprétés comme directement liés à un renforcement des courants.

La texture des sédiments glaciaires peut être interprétée comme proportionnelle à la vigueur des courants, car les taux de sédimentation sont élevés et proportionnels au SH. L'initiation du hiatus peu être considérée comme un seuil franchi dans la vigueur des courants et l'équilibre de la ride, sa durée doit alors être interprétée comme une conséquence de la dynamique propre à la ride.

3.10. Estimation des vitesses de courant associées aux fortes énergies

De nombreux auteurs ont étudié les relations existant entre la taille des particules et l'énergie nécessaire à sa mise en mouvement [Hjulsröm, 1935; 1939; McCave, 1984; Miller *et al.*, 1977; Sundborg, 1956] (Fig. IV-29). L'énergie est toujours traduite en vitesse, soit la

vitesse de frottement sur la particule (U_*), soit la vitesse de l'eau 1 mètre au-dessus du fond ($\overline{U}_{100}$), la relation entre ces deux vitesses étant donnée par l'équation [Sternberg, 1968]:

$$U_*^2 = 3.1*10^{-3} * \overline{U}_{100}^2 \quad (1)$$

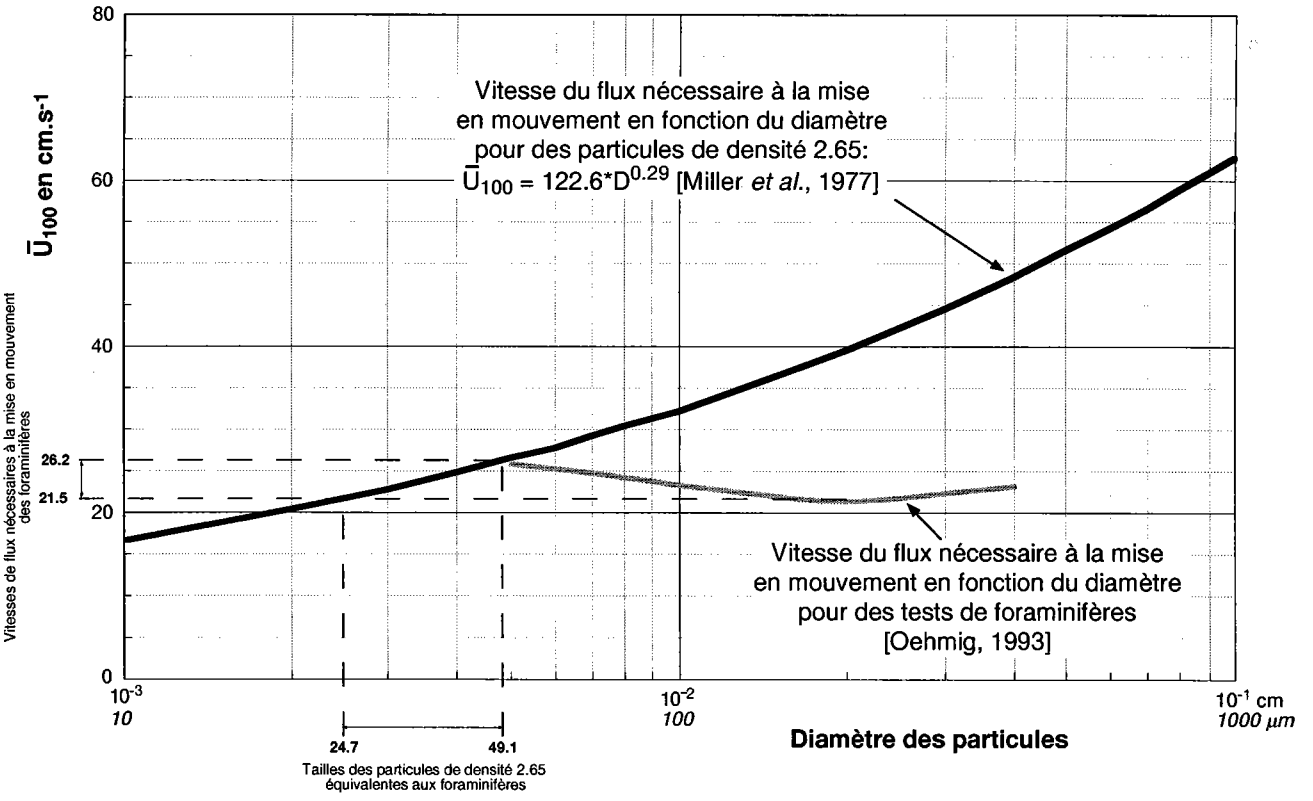


***Fig. IV-29**: Vitesses critiques (1 mètre au dessus du fond) pour mettre en mouvement des particules sphériques. La courbe en noir [Miller et al., 1977] est valable pour des particules de densité 2.65 (type quartz). La courbe grise [Oehmig, 1993] est valable pour des tests de foraminifères sphériques (Neogloboquadrina pachyderma). Les faibles vitesses obtenues pour les foraminifères sont liées à leur faible densité (sphères creuses), la tendance inverse à la courbe de Miller et al. [1977] viens du fait que la proportion de "vide" augmente avec la taille des tests.*

Le vannage se manifeste par une forte diminution des particules <10 µm mais dans le cas extrême (Fig. IV-30) les classes plus grossières de 100 à 200 µm, riches en foraminifères, commencent également à diminuer. La vitesse nécessaire à la mise en mouvement de telles particules peut être déterminée par le diagramme de Miller [1977], elle est comprise entre $\overline{U}_{100}$ = 35 cm.s^{-1} et $\overline{U}_{100}$ = 40 m.s^{-1} pour une densité des particules de 2.65 (Fig. IV-29). Oehmig [1993] a cependant démontré que le comportement hydrodynamique des foraminifères peut être assimilé à celui du quartz silteux car ils ont une densité très inférieure à celle de la calcite [Oehmig, 1993] (Fig. IV-29) (cf. chapitre I). Une forme non-sphérique tend également à abaisser la vitesse nécessaire à la mise en mouvement [Prager *et al.*, 1996]. Les expériences de Oehmig [1993] montrent que la densité des tests de foraminifères diminue lorsque leur taille augmente, il en résulte que les gros foraminifères sont plus sensibles au vannage que les petits car leur équivalence hydrodynamique se rapproche de celui des silts fins quartzeux. La gamme des vitesses nécessaires à la mise en mouvement des foraminifères entre 60 µm et 300 µm est comprise entre $\overline{U}_{100}$ = 21.5 cm.s^{-1} et 26.2 cm.s^{-1} (Fig. IV-29) est très inférieure à celle nécessaire à la mise en mouvement du quartz de même taille[10] (entre $\overline{U}_{100}$ = 26 cm.s^{-1} et 48 cm.s^{-1}). La gamme de vitesse est faible et implique qu'une faible variation des vitesses de courant au-delà de $\overline{U}_{100}$ = 24 cm.s^{-1} peut produire un vannage important sur les sédiments riches en foraminifères. Cette vitesse de 24 cm.s^{-1} peut donc être considérée comme un seuil au-delà duquel une faible augmentation aura un effet important sur le vannage. Une autre implication de cette caractéristique est que un courant de vitesse supérieure $\overline{U}_{100}$ = 26.2 cm.s^{-1} peut théoriquement provoquer le non-dépôt ou l'érosion et créer un hiatus si ce seuil est franchi.

L'absence apparente de hiatus et la relative abondance des foraminifères >100 µm permet d'estimer la vitesse maximale atteinte par les courants à U_{100} = 23 cm.s^{-1}. L'absence de courbe de vitesse pour les particules <10 µm laisse une incertitude sur les vitesses minimales nécessaires au vannage des nannofossiles, mais le prolongement de la courbe de [Miller *et al.*, 1977] indique la nécessité de vitesses supérieures à 10 cm.s^{-1}. Il est donc possible de postuler que les vitesses des courants responsables du vannage sur le plateau des Açores avaient des vitesses comprises entre:

$$\mathbf{10\ cm.s^{-1} < U_{100} < 23\ cm.s^{-1}}$$

[10] Les vitesses calculées par Oehmig [1993] sont exprimées en U_* et sont comprises entre 0.77 cm.s^{-1} et 0.94 cm.s^{-1}. Leur équivalent en $\overline{U}_{100}$ est respectivement 21 cm.s^{-1} et 26 cm.s^{-1} d'après Miller [1977] où nous avons pu caculer que $\overline{U}_{100}/U_*$ = 27.9. La formule de Sternberg [1968] donne un rapport $\overline{U}_{100}/U_*$ = 17.96, mais Oehmig [1993] faisant référence à Miller [1977] nous avons utilisé la conversion de ce dernier.

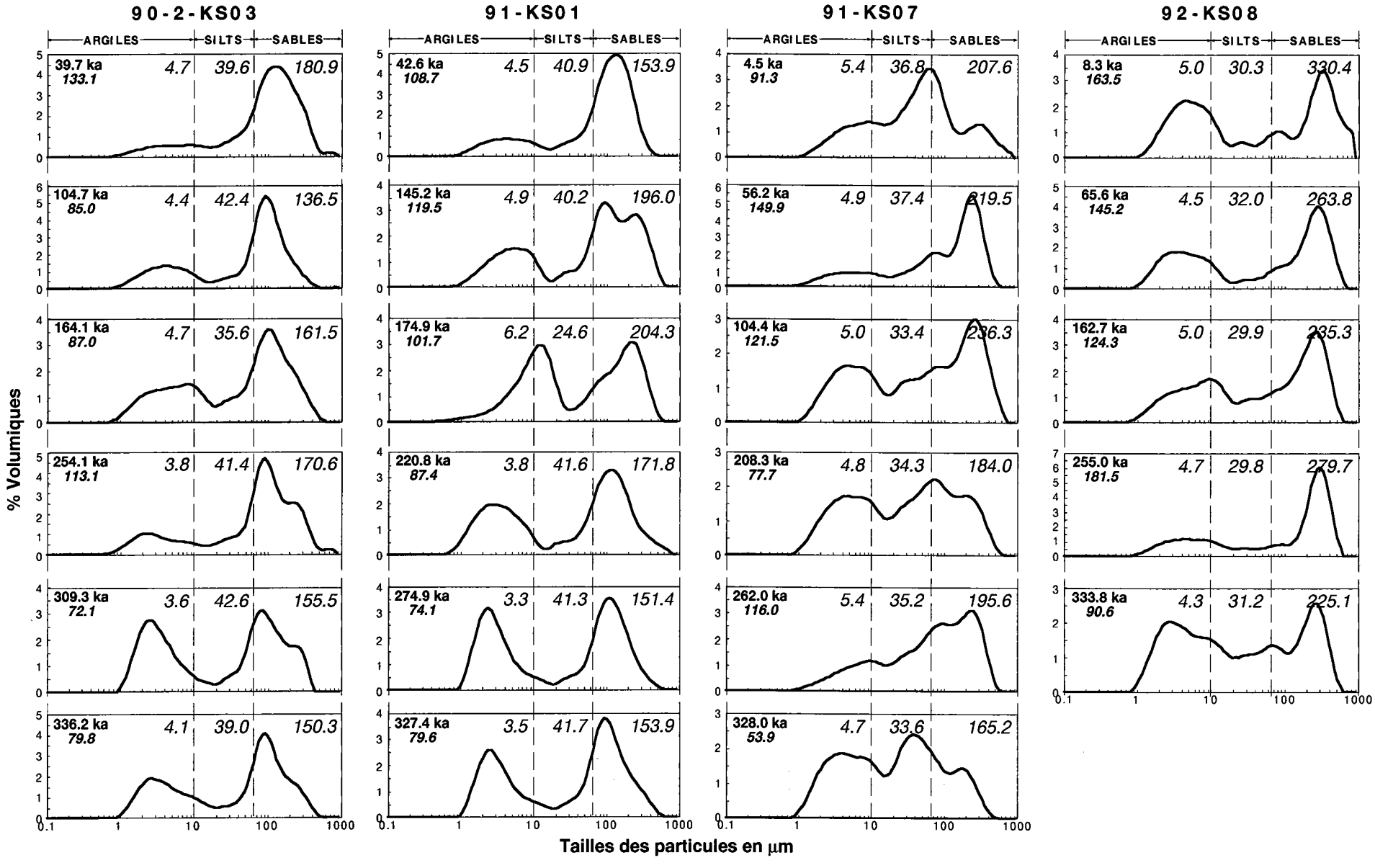


Fig. IV-30: Courbes granulométriques représentatives de la texture des sédiments vannés, la texture grossière du sédiment se matérialise par une forte diminution de la fraction argileuse. Le nombre en italique sous l'âge donne la moyenne (µm) du sédiment total, les 3 autres nombres donnent respectivement la moyenne des argiles, des silts et des sables (µm).

3.11. Variabilité de l'hydrodynamisme sur le plateau des Açores

Les variations spatio-temporelles peuvent être visualisées à partir de graphes à trois dimensions, 2 dimensions spatiales et 1 dimension temporelle. Cette représentation est réalisée à partir d'une grille qui implique des interpolations et donc un certain moyennage des données. L'avantage de la méthode est de faire ressortir les tendances régionales, son inconvénient est de sous-estimer les carottes vannées car du fait de leur faible résolution celles-ci sont sous-représentées vis à vis des carottes à plus haute résolution. Un autre biais est la diminution des points avec l'âge.

La variabilité spatio-temporelle de l'hydrodynamisme de 0 à 400 ka

La variation temporelle du SH ne dégage pas de tendance vis à vis de la position géographique (Fig. IV-31a et IV-31b). Les valeurs significatives sont atteintes pour différentes latitudes et époques. A l'est de 33°W (Fig. IV-31b) les teneurs en sables sont supérieures à 35%, mais cette tendance n'est contrôlée que par une seule carotte (90-2-KS03) et ne peut donc être interprétée comme une tendance pour le plateau des Açores. A l'ouest de 33°W le signal hydrodynamique est faible et aucune tendance ne se dessine. Le signal hydrodynamique est par contre fortement déterminé par la profondeur (Fig. IV-31c). En effet, aux profondeurs inférieures à 1500 mètres les teneurs en sables sont systématiquement supérieures à 35%. En dessous de 1500 mètres la variabilité de la texture est dans la gamme des variations liées à la productivité. Le fort SH au-dessus de 1500 mètres correspond aux carottes 90-2-KS03, 91-KS01, GEOFAR-KF21 et GEOFAR-KS15. Le signal hydrodynamique de la carotte 92-KS08 (2600 mètres) n'apparaît pas car c'est la seule carotte dans cette tranche d'eau à posséder un SH significatif. Le signal de la carotte 91-KS07 (1790 mètres) pour les mêmes raisons n'est visible qu'à partir de 250 ka. La variation temporelle du signal hydrodynamique est celle déjà observée pour les 4 carottes porteuses de signal hydrodynamique. La résolution est d'environ 10 ka ce qui permet de dégager les tendances à l'échelle du cycle glaciaire/interglaciaire au maximum.

Durant les derniers 400 ka l'énergie un courant semble avoir systématiquement imprimé sa marque sur le sédiment jusqu'à une profondeur d'environ 1500 mètres. Cette profondeur n'a été dépassée que vers la fin du Stade 8 pour atteindre environ 1800 mètres (carottes 91-KS07). Le signal le plus fort est observé durant la fin du dernier glaciaire (Stade 3 essentiellement) et durant la fin du stade 8, mais on observe également un maximum secondaire à la fin du stade 6. Les variations concernent essentiellement le gradient d'énergie sur le fond en fonction de la profondeur. Durant les stades 3 et 8 les conditions d'énergie étaient sensiblement les mêmes à 1100 mètres, mais le gradient était plus important durant le stade 3, la limite de l'énergie décelable était atteinte à 1500 mètres tandis qu'elle était atteinte à 1800 mètres au stade 8. Durant les stades 5, 6 et 7 l'énergie à 1100 mètres était beaucoup plus faible mais la limite décelable est stable à 1500 mètres, le gradient était donc plus faible.

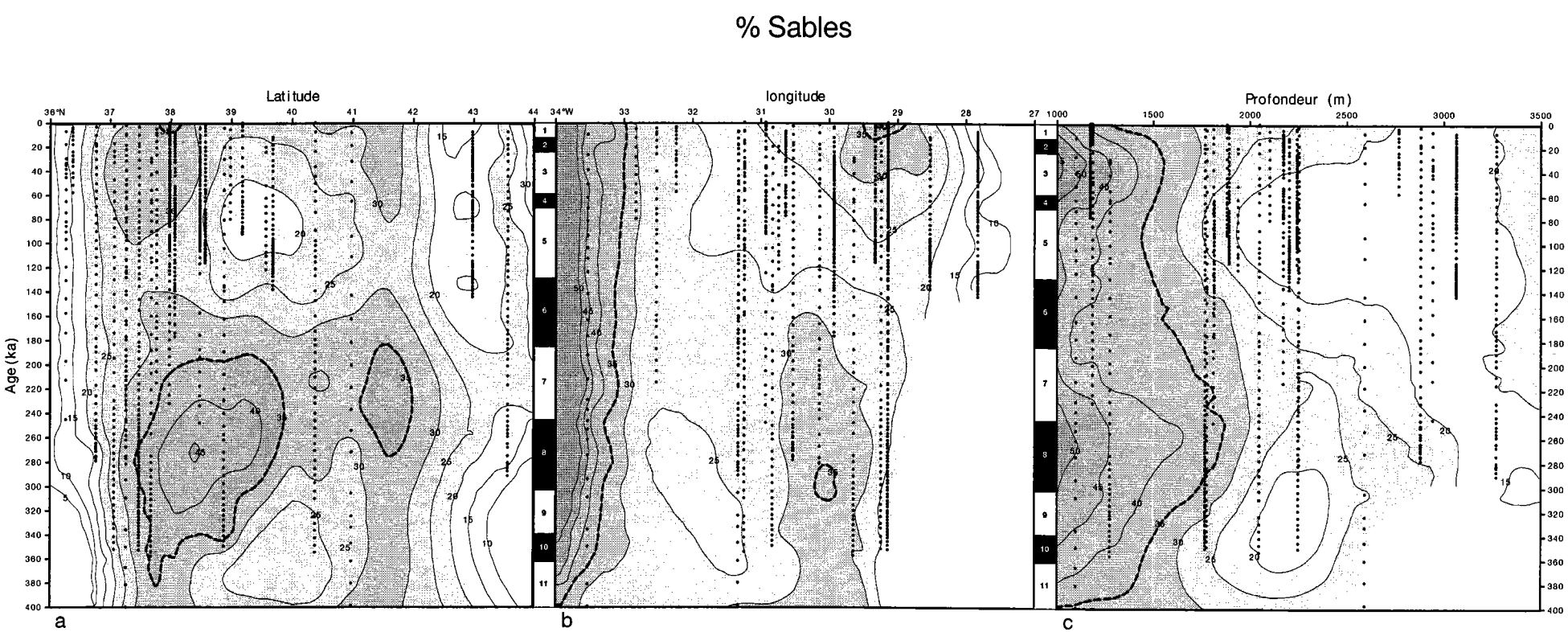


***Fig. IV-31**: Variations temporelles de la teneur en sables en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur. Les teneurs en sable >35% peuvent être considérées comme liées à l'action d'un agent hydrodynamique. Les teneurs <35% sont liées aux variations de productivité. Seule la profondeur semble exercer un réel contrôle sur la teneur en sable: la teneur est supérieure à 35% au dessus de 1800 mètres. Les carottes situées à l'est de la région sont également très riches en sables, mais elles correspondent en fait à des carottes à faible profondeur (environ 1000 mètres).*

L'époque récente semble caractérisée par une importante chute d'énergie (observée sur la tendance générale et en particulier sur les carottes GEOFAR-KF21 et GEOFAR-KS15 et sur 91-KS07. Cette tendance n'apparaît pas pour les carottes 90-2-KS03, 91-KS01 et 92-KS08, mais il est possible que le sédiment holocène n'ait pas été prélevé (sommet des carottes manquant). Un échantillon de surface (KG21-1160 m) montre des teneurs en sables supérieures à 35% (39%), il correspond à la carotte GEOFAR-KF15 qui possède une texture grossière associée à de faibles taux de sédimentation (Fig. IV-9). Il semble donc que l'époque récente soit caractérisée par un hydrodynamisme significativement plus faible que celui des époques glaciaires. L'absence de SH dans le sédiment holocène de la carotte KF21 laisse penser que ces courants capables d'affecter le sédiment sur le plateau des Açores présentent un caractère local. Les vitesses de courant actuelles en surface ne dépassent pas 10 $cm.s^{-1}$ (Fig. IV-32) [Maillard & Käse, 1989], ce qui est insuffisant pour vanner le sédiment. Les variations semblent avoir une cyclicité d'environ 100 ka. Les plus fortes énergies correspondent sensiblement aux maximum de $\partial^{18}O$ de stades 3, 6 et 8 de la courbe SPECMAP, c'est à dire aux paroxysmes de froid.

La résolution de 2 ka (Fig. IV-23) fait apparaître un fort contraste entre le Glaciaire et l'Holocène. Le stade 5 ne montre pas de signal hydrodynamique significatif même si le signal est plus élevé que durant l'Holocène. Le signal hydrodynamique devient significatif au milieu du stade 4 et le reste jusqu'au début du hiatus à 19 ka. Deux maxima sont atteints de 46 ka à 38 ka et de 22 ka à 19 ka. La stratigraphie laisse supposer qu'il existe un hiatus vers 42 ka.

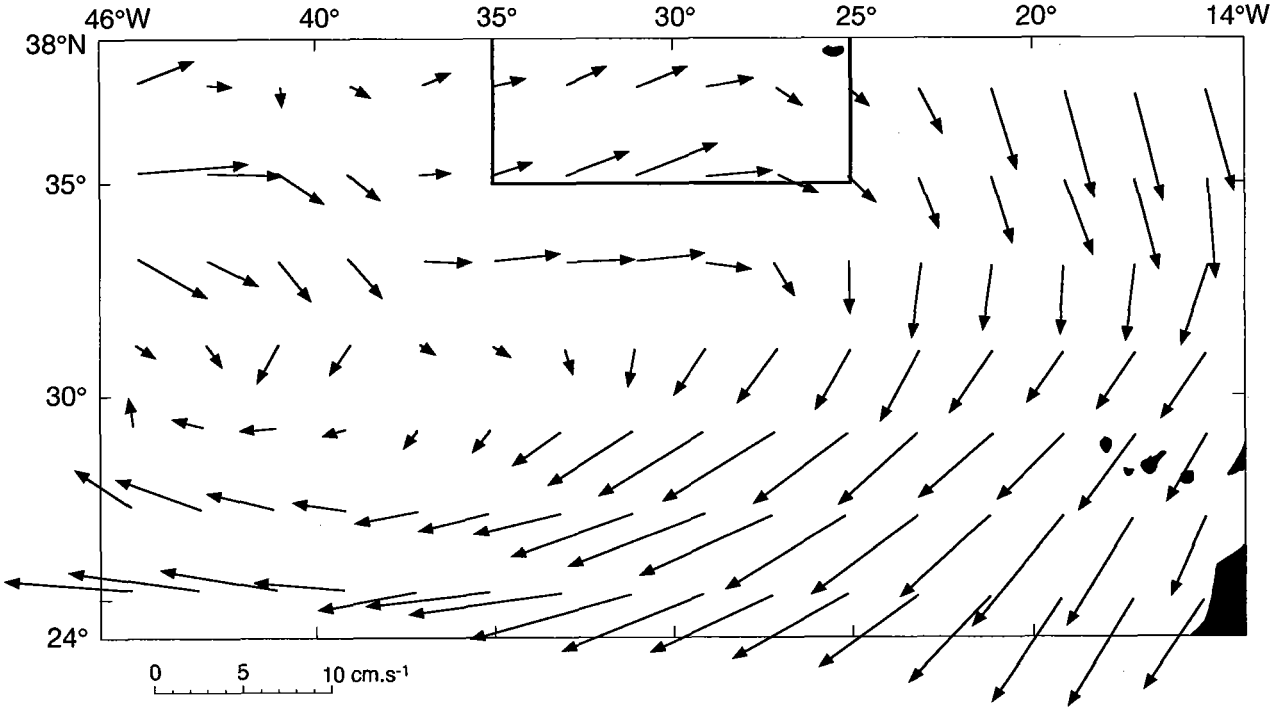


Fig. IV-32: Courants moyens de surface actuels moyennés sur une surface de 2° X 2° à partir de bouées dérivantes, pour la région Açores-Canaries [Maillard & Käse, 1989]. Le cadre indique le Plateau des Açores au sud de 38°N.

La comparaison du SH à faibles et à haute résolution montre que l'enregistrement de l'hydrodynamisme semble essentiellement contrôlée par la résolution de l'enregistrement car KF21 montre de brusques variations sur moins de 5 ka qui ne sont pas visibles sur les sédiments vannés. Il convient néanmoins de toujours considérer, quelle que soit la résolution de l'enregistrement, que seuls les paroxysmes d'énergie sont enregistrés.

3.12. Implications paléocéanographiques: sur les traces du Gulfstream

A l'échelle de 400 ka la position des maximums d'énergie que nous avons identifiés est remarquablement corrélée aux maxima de volume de glace donnés par le $\partial^{18}O$ de la courbe SPECMAP [Imbrie *et al.*, 1984] (Fig. IV-33). Comme noté par Crowley [1981] la position du front polaire est fonction du volume des glaces (bien qu'en retard de quelques milliers d'années [Ruddiman & McIntyre, 1979; Ruddiman *et al.*, 1980]), l'énergie des courants sur le plateau des Açores au-dessus de 1500 mètres pourrait donc être contrôlée par les avancées vers le sud du front polaire. L'avancée maximale du front polaire lors du dernier maximum glaciaire se caractérise par une forte avancée de la banquise jusqu'à 50°N [McIntyre *et al.*, 1976] et la présence d'icebergs jusqu'à 42°N à la longitude des Açores. La descente du front polaire se manifeste par la descente vers le sud des eaux polaires, par une extension du gyre subpolaire et par la contraction du gyre subtropical. Le trajet du couple Gulfstream-Dérive Nord Atlantique[11] est déviée de son chemin actuel et se trouve forcé au sud du front polaire suivant une direction est-ouest (Fig. IV-34). Crowley [1981] montre, sur la base des associations de foraminifères, que lors des maxima glaciaires ce trajet se situe approximativement sur le plateau des Açores. Keffer [1988] démontre également, d'après les caractéristiques actuelles de la position du Gulfstream[12], qu'il passait aux environ de 40°N à la longitude des Açores lors du dernier maximum glaciaire. Crowley [1981], montre que la position sud du Gulfstream implique un renforcement des vitesses de flux E-W d'une part à cause du fort gradient thermique entre les eaux subpolaires et les eaux subtropicales qui induit un renforcement des vents, et d'autre part à cause de la géométrie du gyre subtropical qui en se contractant voit ses eaux centrales migrer vers l'ouest ce qui pour des raisons d'équilibre physique nécessite une augmentation de la vitesse du flux.

Les épisodes de fort vannage coïncident donc avec le passage du Gulfstream sur le plateau des Açores. Les vitesses maximales actuellement observées sur la marge américaine sous le passage du Gulfstream entre 3500 et 2500 mètres de profondeur (17 $cm.s^{-1}$) et à 700 mètres de profondeur (90 $cm.s^{-1}$) [Fuglister, 1963] et l'augmentation de vigueur prédite durant les avancées Glaciaires par [Crowley, 1981] laissent penser que les vitesses de courant au Glaciaire étaient largement suffisantes pour produire un vannage des sédiments.

---

[11] Le couple Gulfstream-Dérive Nord Atlantique représente la limite nord actuelle du gyre subtropical. Durant le Glaciaire nous appellerons cette limite nord "Gulfstream" afin d'être en accord avec la terminologie de Crowley [1981]

[12] Le Gulfstream se situe sur la ligne d'Ekman Pumping égale à zéro, c'est à dire une où il n'y a ni convergence ni divergence des eaux de surface.

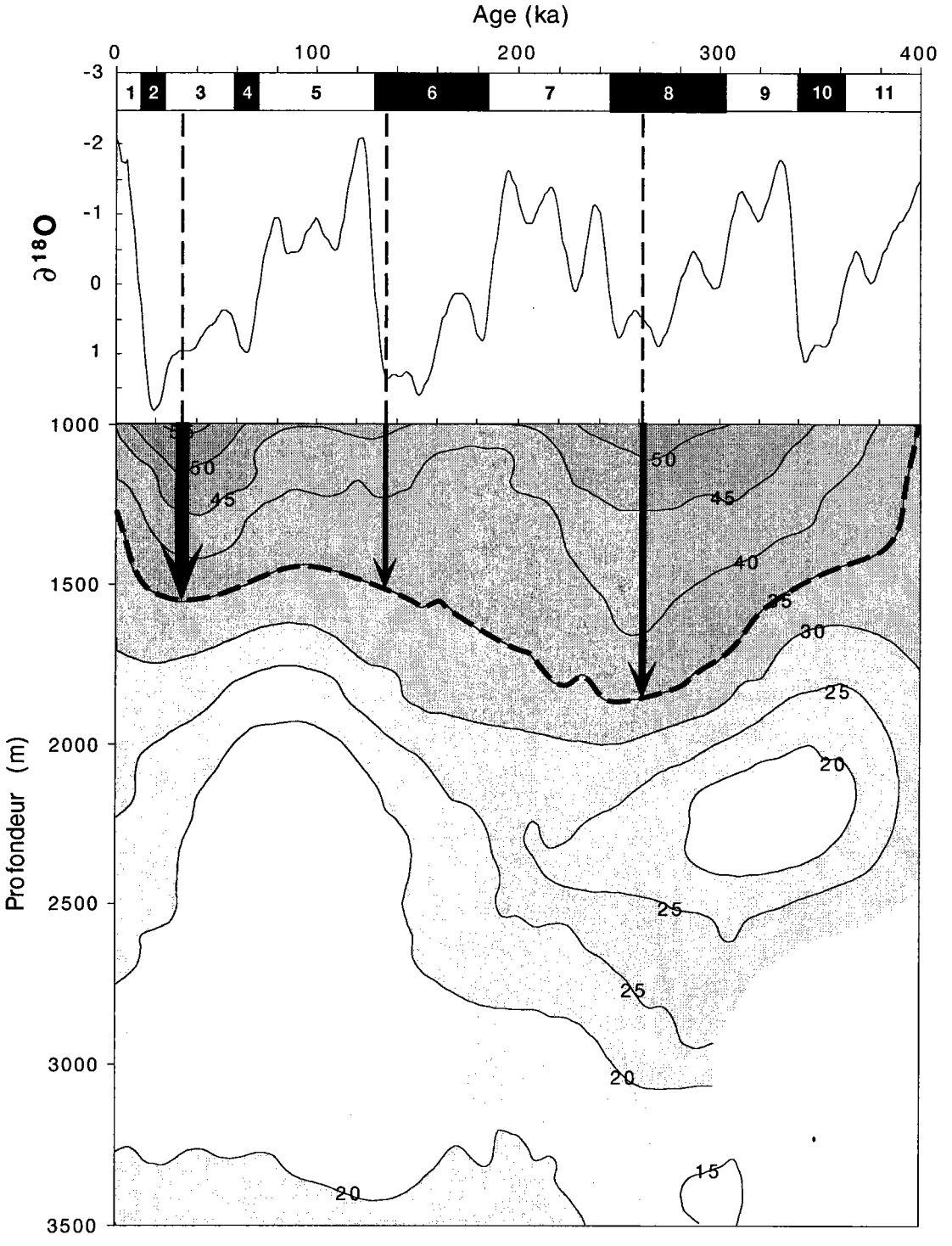


Fig. IV-33: Comparaison entre la courbe SPECMAP et la teneur en sable des sédiments de la région des Açores en fonction du temps et de la profondeur. Les variations de teneurs en sables >35% correspondent au sédiment vanné et montrent trois "pics" interprétés par un renforcement de l'hydrodynamisme au LGM (s.l.) à 150 ka (fin du stade 6) et à 250 ka (fin du stade 8). Ces 3 époques correspondent à de fortes avancées du front polaire et du Gulfstream vers le sud [Crowley, 1981]. L'épaisseur des flèches est proportionnelle au gradient de la teneur en sables en fonction la profondeur d'eau.

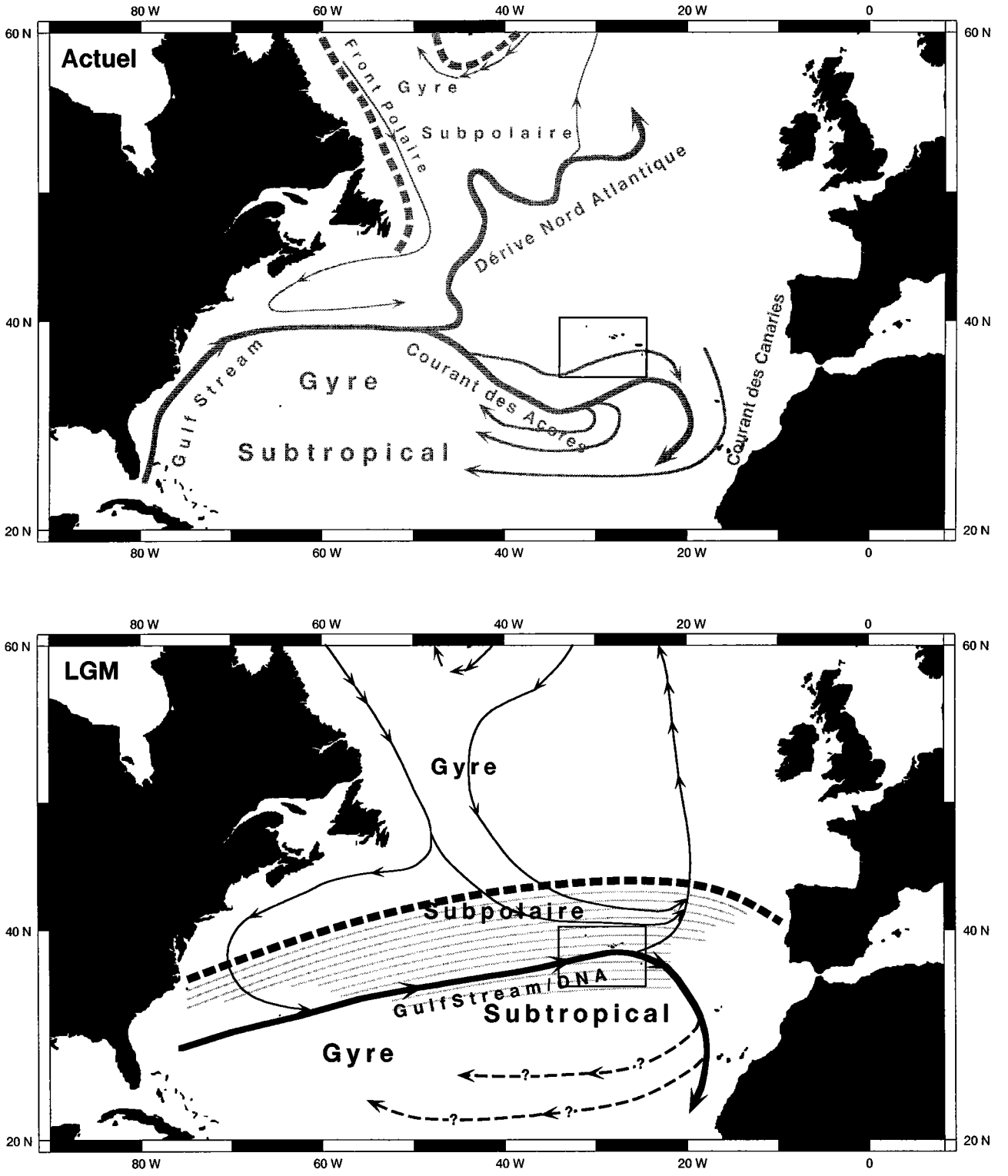


Fig. IV-34: Circulation de surface actuelle (en gris) et durant le dernier maximum glaciaire (LGM, en noir). Le front polaire est indiqué en traits pointillés épais, le Gulfstream en traits épais plein. La circulation actuelle du Gulfstream est d'après Sy [1988] et Maillard & Käse [1989]. La position actuelle du front polaire est d'après Ruddiman & McIntyre [1981], la position actuelle du Gyre Subpolaire est d'après Brown et al. [1989]. La position Glaciaire du Gulfstream est d'après Crowley [1981] pour la partie à l'est de 45°W et d'après Robinson et al. [1995] pour la partie à l'ouest de 45°W. La circulation Glaciaire du Gyre Subglaciaire est d'après Robinson et al. [1995]. La position Glaciaire du front polaire est d'après McIntyre [1976] et CLIMAP [1976]. Les traits en gris (B) représentent la zone à fort gradient thermique des eaux de surface durant le Dernier Maximum Glaciaire d'après Crowley [1981] et McIntyre [1976]. Le cadre indique la région étudiée

Crowley [1981] met en évidence durant les derniers 150 ka, 7 avancées majeures du front polaire (150 ka, 110 ka, 93 ka, 73 ka, 52 ka, 36 ka et 18 ka), associées au passage du Gulfstream dans la région des Açores. Notre SH (Fig. IV-33) n'en montre que 2 chacun aux maxima glaciaires. La résolution dans le sédiment vanné ne permet pas d'appréhender une telle variabilité, cependant durant les derniers 150 ka nous observons constamment un haut niveau d'énergie qui témoigne probablement des 5 autres avancées du front polaires.

Le SH élevé enregistré sur la ride sédimentaire de Faial durant la quasi-totalité du dernier Glaciaire (de la fin du stade 4 jusqu'au milieu du stade 2) avec deux maxima à 46 ka à 38 ka et de 22 ka à 19 ka (Fig. IV-23) sont en accord avec les observations de Crowley [1981]. La résolution de l'enregistrement dans la carotte KF21 permet d'affirmer que le SH élevé reflète une présence permanente du Gulfstream.

Un modèle conceptuel de l'énergie du Gulfstream à une résolution de 10 ka.

Si l'énergie sur le fond augmente durant les 3 derniers maximums glaciaires, les teneurs en sable et surtout les gradients de teneur en sable en fonction de la profondeur diffèrent pour les 3 événements. Les teneurs à 1750 mètres de profondeur sont quasiment les mêmes pour les 3 événements (Fig. IV-33 et Tab. IV-7) mais différentes à 1000 mètres. Ces caractéristiques peuvent être expliquées par l'énergie et la position du Gulfstream. D'une manière générale la descente du Gulfstream vers le sud durant les maxima glaciaires est associée à une augmentation de l'énergie du flux. Pendant le stade 6 celui-ci est descendu plus au sud que durant le LGM, mais le front polaire est resté plus au nord [Crowley, 1981]. Il en résultait probablement un plus faible gradient de température entraînant un régime des vents plus faible et une énergie moindre qu'au LGM. Les caractéristiques sont donc:

- LGM: forte vigueur, fort gradient, position du Gulfstream fixée à 36°N [Crowley, 1981]
- Stade 6: faible vigueur, faible gradient position du Gulfstream fixée à 34°N (entre 30° et 35°N d'après Crowley [1981]).

Si on compare ces caractéristiques à celles fournies par les teneurs en sables on constate une bonne coïncidence (Tab. IV-7):

- LGM forte énergie à 1000 mètres et fort gradient
- Stade 6: faible vigueur à 1000 mètres et faible gradient.

Sur une moyenne de 10 ka il est possible de schématiser très simplement le Gulfstream par une veine d'eau dont la vitesse est maximale au centre et décroît sur les côtés et en profondeur (Fig. IV-35). Les paramètres à fixer sont l'énergie du flux au centre de la veine et les gradients de

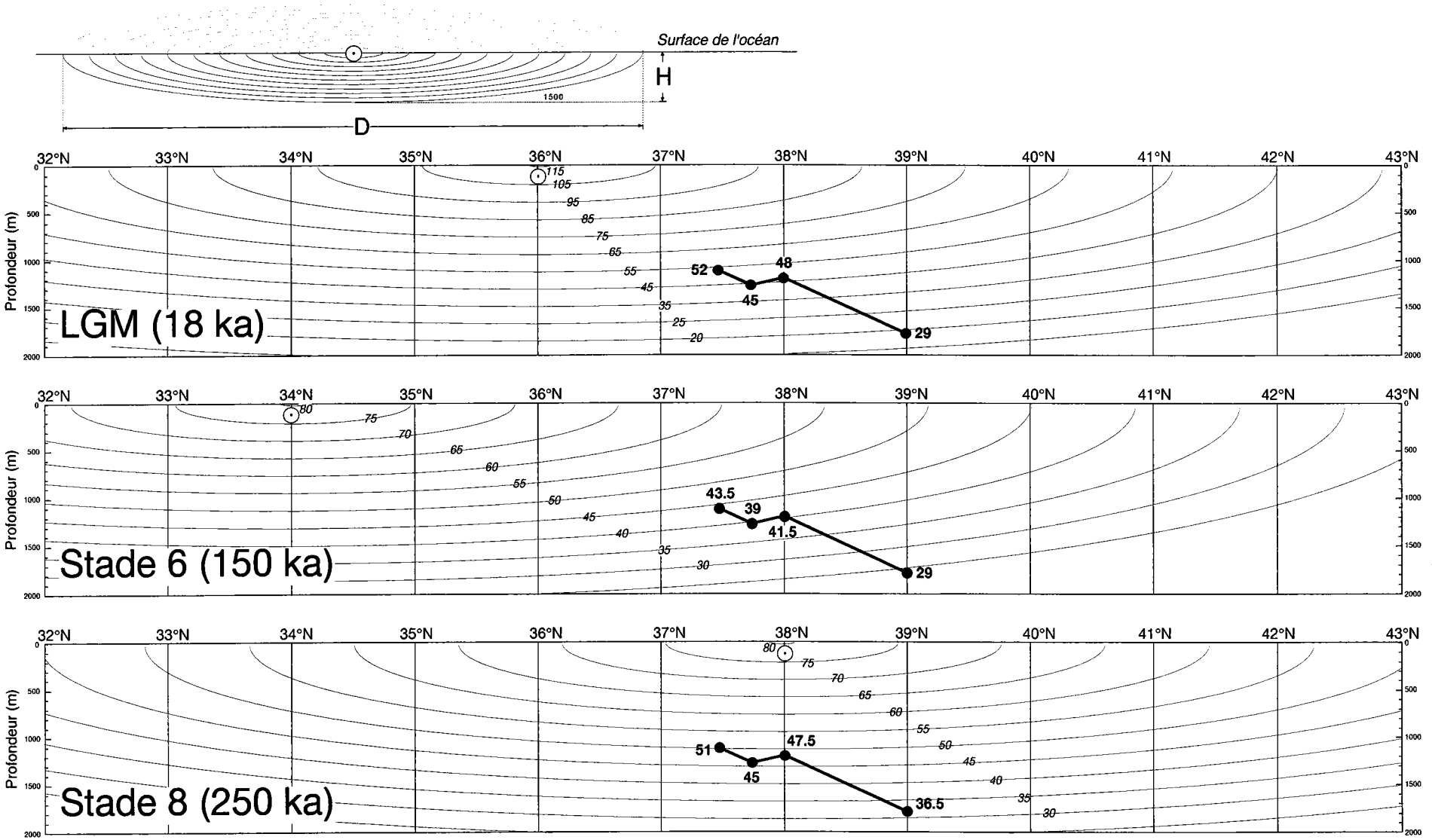


***Fig. IV-35**: Modèle conceptuel du Gulfstream sur une période de temps de 10 ka, permettant d'expliquer les teneurs et les gradients de teneurs en sables de la Figure H29 pour les 3 derniers maxima glaciaires (260 ka, 150 ka et 18 ka). Le Gulfstream est schématisé par des lignes "d'iso-énergie" concentriques qui implique un gradient constant en surface (horizontal) et à l'aplomb du centre du flux maximum (vertical). Le rapport entre le gradient horizontal et le gradient vertical est de 300 (le rapport est de 6 sur la figure car il y a une exagération verticale x50). Les positions du Gulfstream pour le LGM et 150 ka sont d'après Crowley [1981]. Plus le Gulfstream se situe au sud, plus le flux central est fort, plus le gradient d'énergie entre la périphérie et le centre du Gyre est important, sauf pour 150 ka où malgré une position très sud du Gulfstream le flux et le gradient sont considérés comme faibles car le front polaire est anormalement situé au nord (faibles gradients de température, vents faibles [Crowley, 1981]). Les valeurs d'énergie sont calées sur les teneurs en sables au-dessus de 1800 mètres. Les caractéristiques du Gulfstream et sa position par rapport au plateau rendent compte des différences de teneurs et de gradient de teneur en sable entre les 3 derniers maximums glaciaires.*

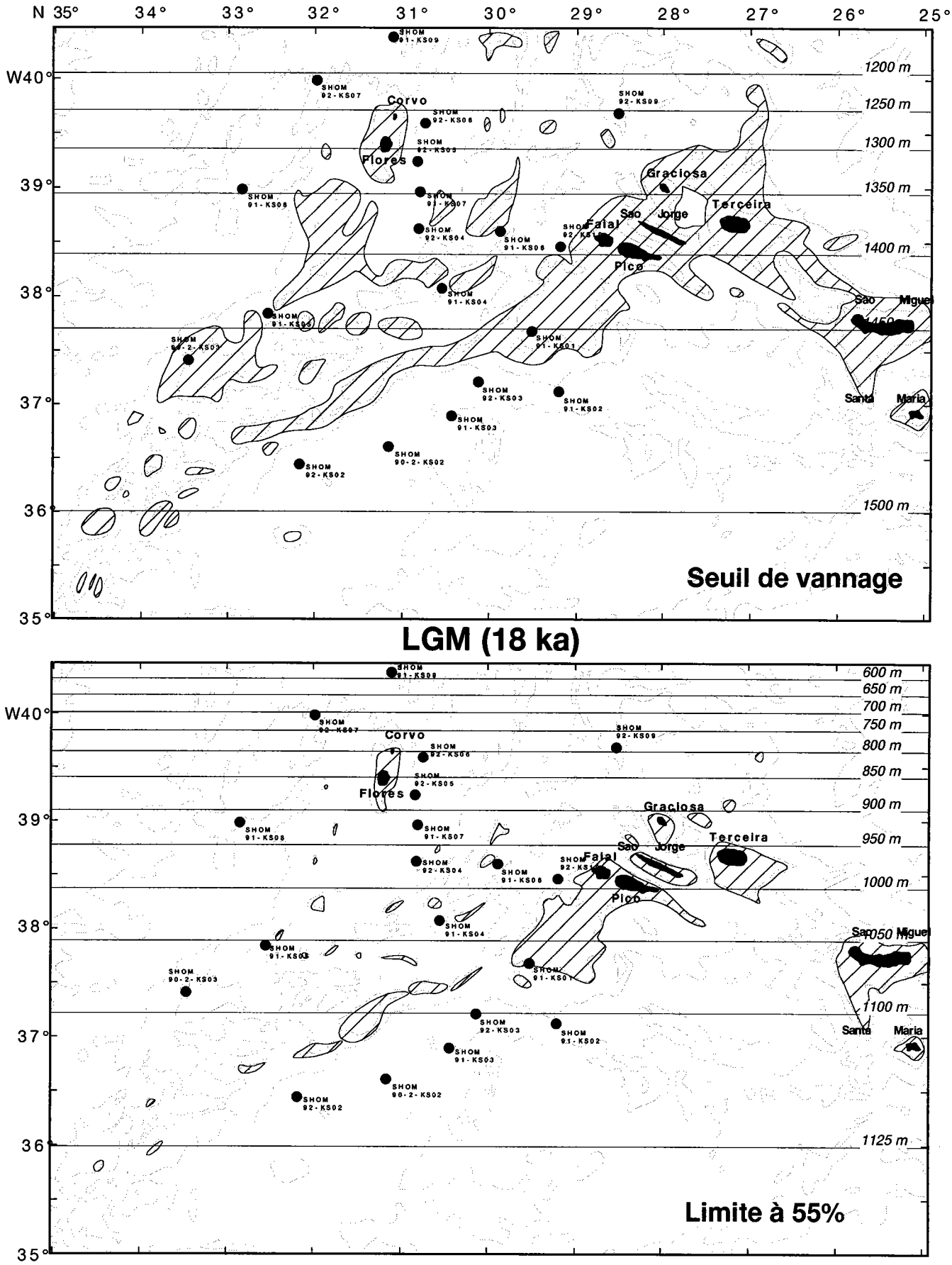


***Fig. IV-36a**: (Haut) Carte des profondeurs au-dessus de laquelle s'exerce le vannage (teneur en sable 35%). (Bas) profondeurs au-dessus desquelles la teneur en sable devrait être supérieure à 55%. Situation durant le maximum glaciaire du Stade 2 (18 ka). Les lignes transversales indiquent la profondeur de la ligne d'isoénergie correspondante, d'après le modèle conceptuel de la Figure IV-35. La veine centrale se situe à 36°N.*

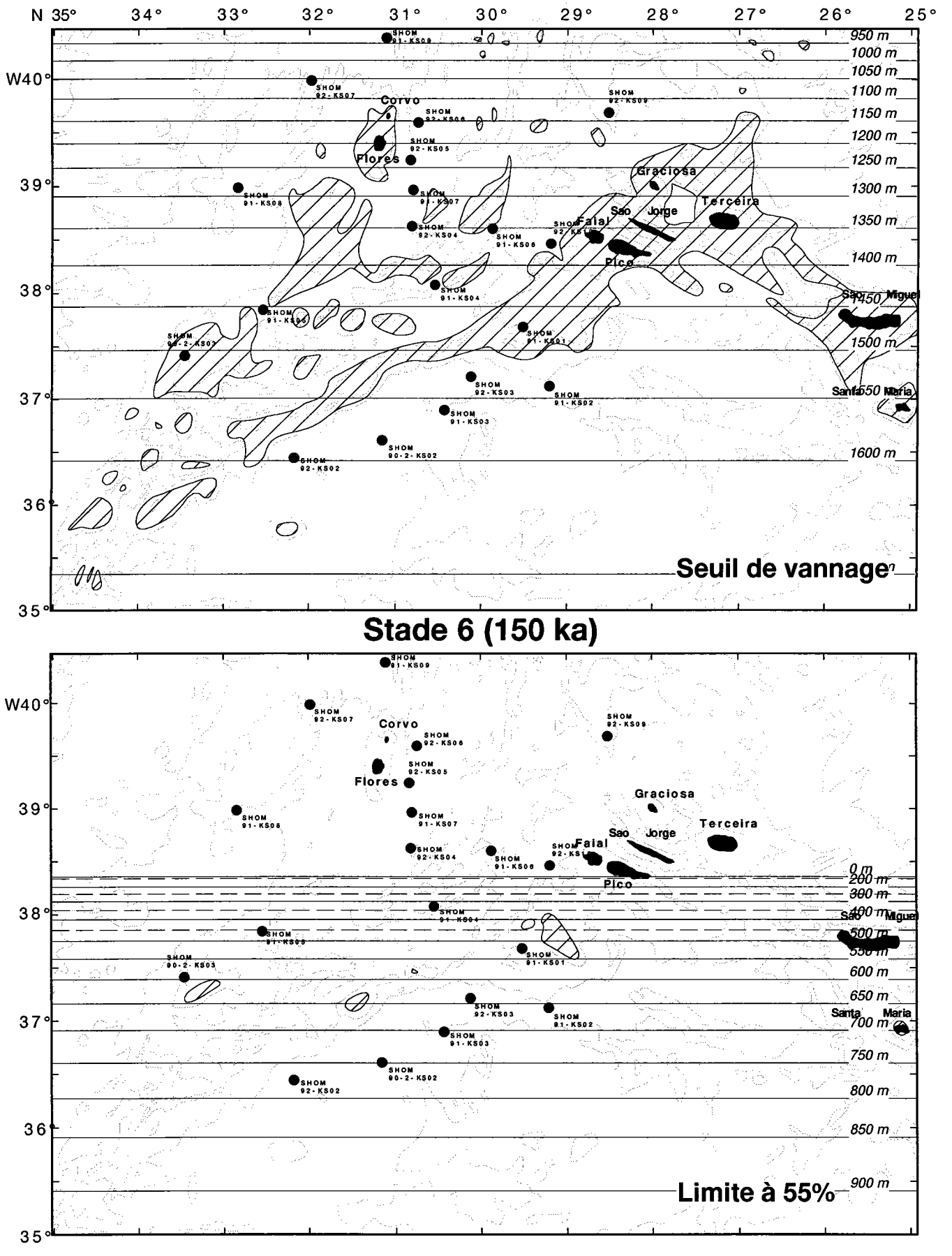


***Fig. IV-36b**: (Haut) Carte des profondeurs au-dessus de laquelle s'exerce le vannage (teneur en sable 35%). (Bas) profondeurs au-dessus desquelles la teneur en sable devrait être supérieure à 55%. Situation durant le maximum glaciaire du Stade 6 (150 ka). Les lignes transversales indiquent la profondeur de la ligne d'isoénergie correspondante, d'après le modèle conceptuel de la Figure IV-35. La veine centrale se situe à 34°N.*

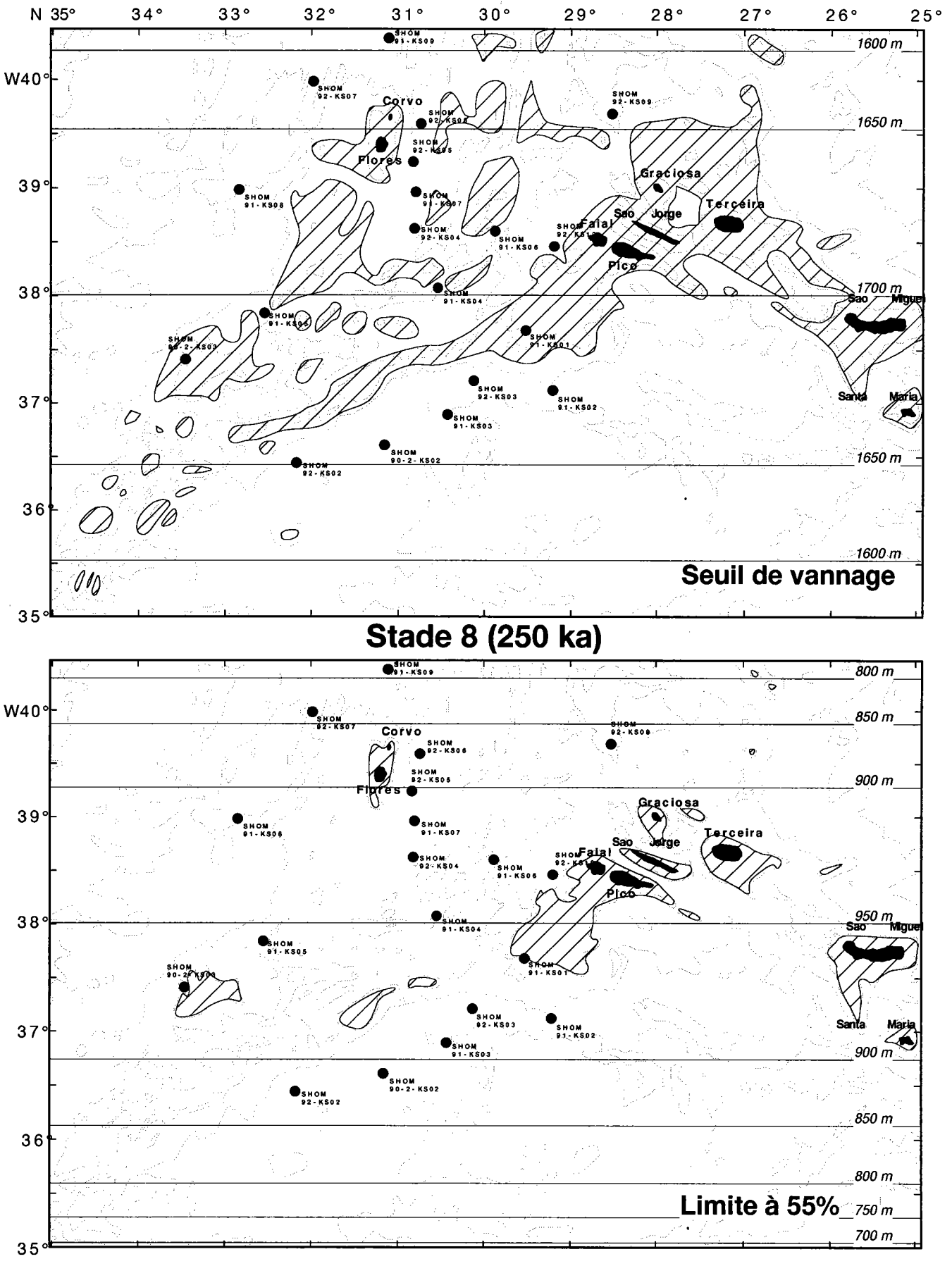


Fig. IV-36c: (Haut) Carte des profondeurs au-dessus de laquelle s'exerce le vannage (teneur en sable 35%). (Bas) profondeurs au-dessus desquelles la teneur en sable devrait être supérieure à 55%. Situation durant le maximum glaciaire du Stade 8 (250 ka). Les lignes transversales indiquent la profondeur de la ligne d'isoénergie correspondante, d'après le modèle conceptuel de la Figure IV-35. La veine centrale se situe à 38°N.

décroissance latéralement et en profondeur. Les gradients sont considérés comme constant, et le rapport entre le gradient vertical et le gradient horizontal a été fixé à 300. Les lignes d'isoénergie du Gulfstream ont ainsi la forme d'une demi-ellipse dont le rapport entre les axes est de 300 (Fig. IV-35). L'hypothèse est également faite que le flux est strictement E-W et qu'il n'y a pas de variation longitudinale de l'énergie. En positionnant ce Gulfstream conceptuel aux latitudes citées plus haut et en calant l'énergie sur l'échelle des teneurs en sables avec les valeurs et les gradients observés pour les profondeurs correspondant aux carottes 90-2-KS03, 91-KS01 et KF21 d'après la figure IV-35 on obtient effectivement la plus forte énergie de surface au LGM. De même les valeurs qui peuvent en être déduites pour la teneur en sable à la latitude de la carotte 91-KS07 sont inférieures à 35% comme observé sur la Figure IV-35. En ce qui concerne le Stade 8 (250 ka) la position du Gulfstream n'est pas connue. Si on tient compte des caractéristiques de la teneur en sables (Fig. IV-35 et Tab. IV-7) il est nécessaire de le positionner à la latitude de 38°N avec la même énergie en surface et le même gradient que durant le Stade 6 afin d'expliquer le gradient et surtout la plus grande profondeur du vannage (≈1800 mètres).

	LGM (18 ka)	Stade 6 (150 ka)	Stade 8 (250 ka)
% Sables à 1000 m	56	46	54
% Sables à 1250 m	46	39	45
% Sables à 1500 m	37	35	42
% Sables à 1750 m	30	30	38
Gradient (%.m^{-1})	3.5 10^{-2}	2.1 10^{-2}	2.1 10^{-2}

***Tab. IV-7**: Valeurs des teneurs en sables à différentes profondeurs pour les 3 derniers maxima glaciaires. La teneur en sables est proportionnelle à l'énergie. Les 3 époques diffèrent essentiellement par le gradient d'énergie. Ces différences de gradient s'expliquent par la position et l'énergie du Gulfstream (Fig. IV-35).*

Ce modèle conceptuel permet de déterminer les sites susceptibles d'avoir subi un vannage (Fig. IV-36a, b et c). Nous avons reporté pour les 3 dernier maxima glaciaires la profondeur limite au-dessus de laquelle l'énergie était efficace (limite des 35% de sable, Figs. IV-33 et IV-35) et la profondeur correspondant à 55% de sable (Figs. IV-33 et IV-35). Ces limites suivent approximativement les isobathes lorsque la veine centrale se situe vers 38°N comme au stade 8, par contre les lignes d'isoénergie remontent rapidement si la veine est éloignée (au sud ou au nord) comme aux stades 2 et 6.

Quelle situation durant le dernier Glaciaire (Stade 2, 3 et 4)?

Les températures de surface à 34°N sont stables entre 15°C et 17°C [Crowley, 1981], mais à 43°N elles varient entre 4°C et 15°C [Cortijo, 1995] et à 41°N entre 6°C et 15°C [Cortijo, 1995]. Les gradients les plus importants sont observés entre 41°N et 43°N [Boelaert, In prep.] (Fig. IV-37). Les périodes de faible gradient entre 41°N et 43°N correspondent en moyenne à des températures élevées tandis que les forts gradients correspondent à des températures basses. Il est possible de distinguer 4 épisodes de fort gradient entre 41°N et 43°N:

- 95 ka: le gradient est de 1.75°C/° de latitude et les températures sont de 15°C (41°N) et de 12°C (43°N).
- de 68 ka à 54 ka (≈ stade 4): le gradient est compris entre 1 et 2°C/° de latitude et les températures sont comprises entre 7-9°C (41°N) et 5°C (43°N).
- de 54 ka à 24 ka (≈ stade 3): le gradient est compris entre 1 et 2°C/° de latitude et les températures sont comprises entre 12-7°C (41°N) et 9-5°C (43°N).
- de 24 ka à 16 ka: le gradient est entre 1 et 3.5°C/° de latitude et les températures sont comprises entre 7-12°C (41°N) et 4-6°C (43°N).

Le premier épisode n'a pas de correspondant hydrodynamique, il se situe dans le stade 5. Le deuxième épisode correspond à l'apparition du SH et les deux suivants correspondent aux deux maxima du SH. Il semble donc qu'un fort gradient de température en surface soit une condition nécessaire mais non suffisante à la création d'un milieu de forte énergie. La position du Gulfstream n'est donc pas systématiquement contrôlée par le gradient de température comme le postule Crowley [1981].

Le LGM se caractérise par une forte énergie et une veine centrale située à 36°N [Crowley, 1981], cette situation se traduit par des températures basses à 43°N et relativement élevées à 41°N.

L'énergie du pic de SH centré à 42 ka étant aussi important que celle du LGM malgré un gradient plus faible et donc probablement une énergie moindre de la veine centrale, il est nécessaire de positionner la veine centrale à proximité de 38°N (position de KF21) afin de conserver la même énergie. Cette situation est similaire à celle du stade 8.

Le gradient à la fin du stade 4 implique une énergie de la veine centrale similaire à celle de 42 ka et la faiblesse du SH implique une position plus éloignée de la veine centrale et probablement plus sud car les températures sont relativement basses à 41°N et 43°N (Fig. IV-37). Cette position est similaire à celle du stade 6.

L'énergie a été en permanence élevée durant le dernier Glaciaire. L'amplitude des mouvements de la veine centrale a donc été relativement faible, probablement 10° de latitude au maximum, entre 34°N et 44°N, d'après le modèle conceptuel (Fig. IV-35). [Crowley, 1981] positionne le front polaire à 45°N à 28 ka (Fig. IV-38) cette époque correspond effectivement à un faible SH mais à une énergie toujours suffisante pour vanner le sédiment.

L'épisode de forte énergie daté vers 38-47 ka (calendaires) est approximativement contemporain des événements de Heinrich n°4 et n°5 (HL4, âge ≈35 ka et HL5, âge ≈43 ka ^{14}C, [Vidal, 1996]). Les événements de Heinrich se caractérisent par de fortes débâcles d'icebergs, des délestages associés, une baisse de la température d'environ 2-3°C durant HL4 à 45°N, [Cortijo, 1995] (Fig. IV-37) et une baisse de la salinité des eaux de surface. Les icebergs ne franchissent pas la limite de 40°N [Grousset *et al.*, 1993]. Les événements de Heinrich sont également caractérisés par un fort refroidissement de l'atmosphère d'environ 15°C

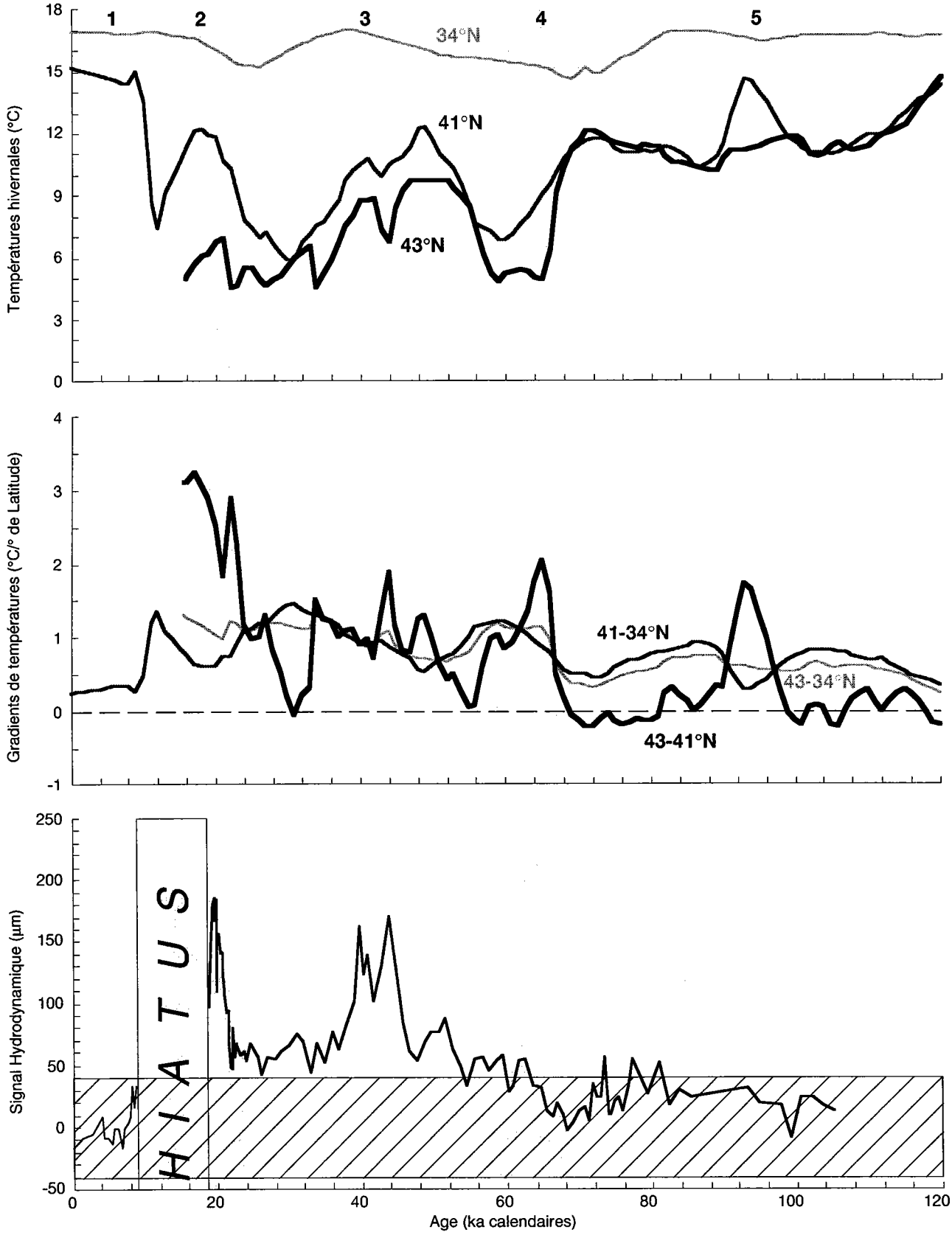


***Fig. IV-37**: Comparaison du SH de la carotte KF21 avec les gradients de température [Boelaert, in prep.] des eaux de surface à la longitude du plateau des Açores. La température de surface est quasiment stable à 34°N mais varie beaucoup à 41°N et 43°N, les plus forts gradients sont observés entre 41°N et 43°N. La courbe des températures de surface à 34°N est de Crowley [1981] carotte 280. La courbe à 41°N est de Mix & Fairbanks [1985] carotte V30-97, la stratigraphie est de Boelaert [in prep.]. La courbe de 43°N est de Cortijo [1995] carotte SU-9008.*

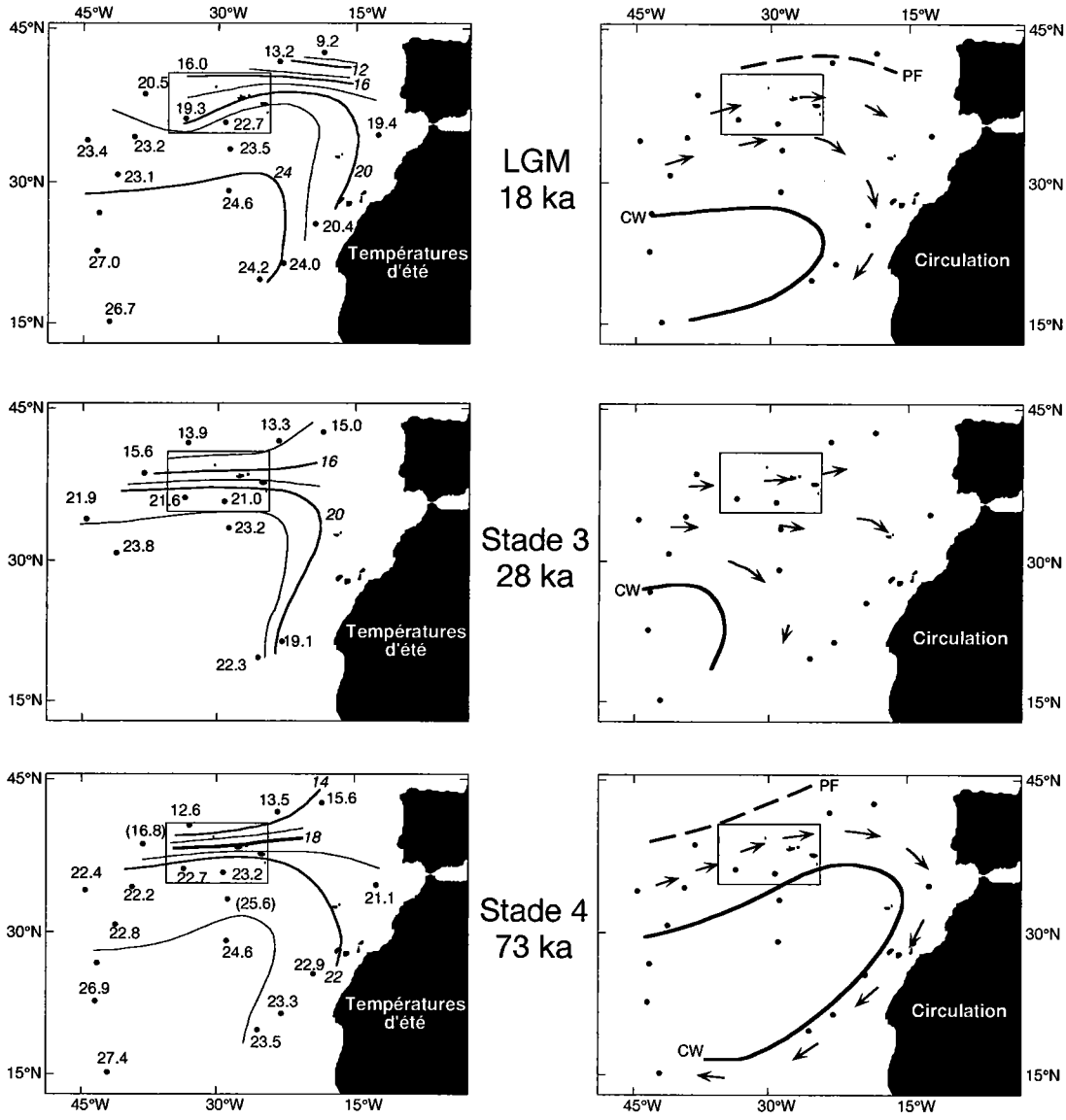


Fig. IV-38: Les conditions des eaux de surface (températures d'été et circulation) durant le dernier Glaciaire [Crowley, 1981]. CW = Central Waters. La position du front polaire (PF) correspond à l'isotherme 10°C estival. La circulation de surface est déterminée d'après la position du facteur correspondant à l'association de foraminifères type "transitionnel".

à la latitude du Groenland durant HL4 (≈35 ka), ce qui laisse également supposer une baisse importante à la latitude des Açores et la présence d'un fort gradient thermique. Ces conditions sont proches de celles atteintes durant le LGM [McIntyre *et al.*, 1976] et permettent d'en attendre des conditions hydrodynamiques similaires, c'est à dire un Gulfstream plus vigoureux. Si les événements de Heinrich ont tous créé des conditions similaires nous devrions retrouver un signal hydrodynamique correspondant à chaque événement:

-Cortijo [1995] précise que HL2 (22 ka) se situe durant le LGM *s.l.* et ne constitue pas une anomalie de température car le froid est déjà à son maximum, il correspond à l'épisode de forte énergie visible au LGM.

- Le niveau HL3 (27 ka) a une plus faible extension que les autres niveaux et n'est pas associé à une forte baisse de température des eaux de surface à la latitude de 43°N, à la longitude des Açores [Cortijo, 1995]. Dans l'hypothèse du lien entre la température des eaux de surface et la température atmosphérique le fort gradient thermique et le régime de vents associé n'a pas existé et la vigueur du Gulfstream n'a pas augmenté. Le SH de KF21 montre que qu'à l'époque de HL3 l'énergie en ce site est faible et correspond à un faible gradient de température (Fig. IV-37).

- Les événements HL4 et HL5 montrent un fort refroidissement des eaux de surface visible sur le courbes de température à 43°N [Cortijo, 1995] et 41°N [Mix & Fairbanks, 1985], (Fig. IV-37). Ils ont donc présenté des conditions atmosphériques similaires au LGM et être responsables du SH élevé entre 38 ka et 47 ka. La présence probable d'un hiatus (Fig. IV-23) confirme la présence d'une très forte énergie à cette époque, similaire à celle observée au LGM.

Les événements de Heinrich peuvent donc se traduire par une circulation de surface vigoureuse sur le plateau des Açores, à l'origine des deux très forts SH et des hiatus associés dans les sédiments. Néanmoins, HL6, daté à environ 64/67 ka [van Kreveld-Alfane, 1996], c'est à dire au milieu du Stade 4 ne se manifeste pas par un pic d'énergie. Il ne se traduit pas non plus sur les courbes de température à 41°N et 43°N et n'a donc probablement pas modifié les conditions hydrodynamiques.

3.13. Conclusions

• La texture du sédiment permet l'étude du paléohydrodynamisme. Il est possible d'utiliser la totalité du sédiment (terrigène et biogène) si on prend en compte le signal lié à la source biogène. Deux fonctions sources, haute et basse résolution ont été déterminées sur des carottes dont le signal textural peut être considéré comme purement pélagique. Après avoir retranché la fonction source nous avons interprété le signal textural en terme de signal hydrodynamique (SH). Dans le cas ou la stratigraphie possède une trop forte imprécision seul le SH supérieur à 40 µm peut être interprété en termes d'hydrodynamisme.

• Dans le cas d'un SH supérieur à 40 µm les variations de la texture liées à la productivité sont négligeables. Il est alors possible d'utiliser la teneur en sables comme marqueur du paléohydrodynamisme. Les teneurs en sables supérieurs à 35% peuvent être interprétées comme un signal hydrodynamique. La relation entre le SH et la teneur en sables est:

$$\% \text{ Sables} = (0.26 * SH) + 36.53 \qquad r = 0.71$$

Les teneurs en sables sont exprimées en % volumique. Une procédure de conversion entre les % volumiques et les % massiques pour les sédiments des Açores est exposée dans le chapitre I. Cette conversion est importante du de la différence de densité entre les foraminifères et les nannofossiles.

• Les vitesses nécessaires au vannage du sédiment sont d'après les diagrammes de Miller [1977] et Oehmig [1993] comprises entre 10 $cm.s^{-1}$ et 23 $cm.s^{-1}$. Au-delà de 26 $cm.s^{-1}$ le sédiment peut en théorie être vanné en totalité car les foraminifères ont le même comportement hydrodynamique que les silts de densité 2.65 [Oehmig, 1993].

• Un paléohydrodynamisme a pu être mis en évidence sur le Plateau des Açores au-dessus de 1800 mètres de profondeur. Les variations de l'énergie suivent les avancées du front polaire. Les épisodes de forte énergie correspondent au passage du Gulfstream sur le Plateau.

• Les variations de l'énergie sur le fond suivant l'époque et la profondeur peuvent s'expliquer par l'oscillation latitudinale du flux principal du Gulfstream et de son énergie. Nous avons estimé que sa position était environ à 38°N pour le maximum glaciaire du Stade 8 (250 ka) et 42 ka, et vers 34-36°N durant le stade 4.

• La totalité du Stade 3 se caractérise par un fort hydrodynamisme, cela permet de proposer que le Gulfstream était en permanence été a proximité du Plateau des Açores et l'amplitude latitudinale des oscillations est de 10°.

• Les événements de Heinrich 2, et peut-être 4 et 5 correspondent probablement à des paroxysmes d'énergie du Gulfstream traduits dans les sédiments par des hiatus.

• La ride sédimentaire de Faial représente un site exceptionnel qui permet une étude paléocéanographique à très haute résolution (<1 ka) à une profondeur d'eau de 1000 mètres. Sur le plateau des Açores de telles résolutions ne sont accessibles que dans les bassins sur la dorsale mais à des profondeurs d'eau supérieures à 2000 mètres.

Conclusion

L'objectif de cette thèse était de comprendre la dynamique sédimentaire sur le plateau des Açores entre 40°30N-35°N et 35°W-25°W.

Nous avons mis en évidence l'hétérogénéité de la distribution des sédiments sur la dorsale. Cette distribution est contrôlée par la morphologie, les sédiments se concentrent d'une par dans des bassins discontinus parallèles à l'axe, et d'autre part dans les failles transformantes perpendiculaires à l'axe. L'épaisseur des remplissages peut atteindre 600 mètres. Les sédiments couvrent environ 57% de la surface de la dorsale, cette surface augmentant quand on s'éloignant de l'axe. Les sédiments sont absents sur les pentes supérieures à 10% (≈5°).

Ils consistent essentiellement en boues à nannofossiles et/ou foraminifères. Les teneurs en carbonates sont en moyenne de 75%. La silice biogène est représentée par des radiolaires, des diatomées et des spicules, elle représente en moyenne 2.7% du sédiment et tend à être plus fréquente dans les zones de fractures. Le matériel volcanogène représente le principal élément de dilution des carbonates il représente en moyenne 15% du sédiment. Il consiste en feldspaths et minéraux pour 50%, smectites pour 33% et en verre pour 17%. La lithologie varie peu dans le temps, au Glaciaire la teneur en carbonates tend à être plus faible et la texture à être plus grossière. Nous avons déterminé pour l'ensemble de la zone 3 domaines lithologiques principaux en fonction de la teneur en carbonates et en silice, de la texture, de la densité et du taux de sédimentation. Ces domaines correspondent à des domaines morphologiques particuliers:

- L'axe de la dorsale et les failles transformantes
  Faible densité - forts taux de sédimentation - texture fine - forte teneur en silice
- Le domaine hors axe "profond" (>1500 mètres)
  Densité moyenne - taux de sédimentation moyens - texture moyenne - teneur moyenne en carbonates
- Le domaine hors axe "faible profondeur" (<1500 mètres)
  Densité élevée - faibles taux de sédimentation - texture grossière - forte teneur en carbonates

Les sources sédimentaires sont la source biogène (carbonaté et siliceux) pour 80%, la source volcanogène pour 15% et la source terrigène pour 5%. Les sources biogène carbonatée et terrigène ont une répartition constante dans l'espace. La source volcanogène a une distribution locale et a 3 origines:

- L'érosion des îles par le vent et les courants qui s'exprime dans la lithologie du sédiment jusqu'à 100 km en direction du SW.
- L'altération de la croûte océanique
- Les explosions volcaniques sous-marines

L'importance de la source siliceuse est variable dans l'espace, en fonction soit de la productivité, soit indirectement par la préservation. Il est possible que l'activité volcanique et hydrothermale joue un rôle local dans cette variabilité, probablement via l'apport de silice et/ou de nutriments. Au Glaciaire les sources biogène carbonaté et terrigène diminuent, le flux des nannofossiles calcaires diminue plus que le flux des foraminifères. Au LGM des diatomées font leur apparition et témoignent d'une plus forte productivité des eaux de surface.

Les flux sont contrôlés par la morphologie du plateau. Le flux total est en moyenne de 4.9 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ mais très variable dans l'espace, il est compris entre 17 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ dans les zones de fractures et 0.5 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ hors axe à faible profondeur. Le flux hémipélagique est estimé à 1.4 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$ et correspond à un taux de sédimentation moyen de 1.6 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$.

Les processus sédimentaires contrôlant la sédimentation sont: les apports latéraux, les remaniements gravitaires, le volcanisme sous-marin, et l'hydrodynamisme qui se traduit par un vannage et des accumulations locales (ride de Faial).

Les apports latéraux représentent entre 75% et 92% du flux hémipélagique dans les zones de fractures. Leur importance est proportionnelle à la taille du bassin versant, collecteur des particules. Ce processus d'advection latérale est continu et préserve la lithologie et la continuité stratigraphique des sédiments.

Les dépôts gravitaires sont présents sous la forme de turbidites pélagiques et de coulées de débris, à l'ouest de la dorsale, au sud de l'archipel intermédiaire, et au pied de l'archipel Corvo-Flores.

Le volcanisme sous-marin est cantonné sur les monts sous-marins de Lucky Strike, Menez Gwen et 38°20N. Les éjections volcaniques du volcan de 38°20 forment un cône à la périphérie duquel on distingue des niveaux de cendres volcaniques intercalés dans le sédiment pélagique.

Au-dessus de 1500 mètres le sédiment est vanné: le flux sédimentaire est faible et la texture grossière. La ride sédimentaire de Faial, édifiée par l'action de courants de fond durant les périodes glaciaires, contient des sédiments grossiers ; les taux de sédimentations sont plus élevés sur le sommet de la ride que sur les flancs.

L'hydrodynamisme est liée à la descente du front polaire vers le sud durant les périodes glaciaires, qui s'accompagne de la migration du flux de la branche Gulfstream/Dérive Nord Atlantique au-dessus du Plateau des Açores. Les variations de la texture des sédiments vannés montre une corrélation avec les 3 derniers maxima glaciaires. L'enregistrement de la ride de

Faial montre un fort hydrodynamisme durant la totalité du dernier Glaciaire avec des pics d'énergie au LGM, lors de la déglaciation et durant les événements de Heinrich 4 et 5.

Notre étude a montré le rôle important joué par les îles sur la lithologie des sédiments, mais la source volcanogène est néanmoins minoritaire vis à vis de la source biogène carbonatée. La morphologie accidentée de la dorsale est le contrôle principal de la dynamique sédimentaire, le second étant l'hydrodynamisme, essentiellement durant le Glaciaire et qui est lui-même tributaire de la morphologie.

Le rôle du climat sur la dynamique sédimentaire se manifeste clairement par des changements dans la circulation. Le rôle du climat sur la variabilité de la dynamique sédimentaire est néanmoins faible aux profondeurs supérieures à 1800 mètres.

La présence de forts taux de sédimentation dans les zones de fracture sur le Plateau des Açores (comparables à ceux observés sur les marges continentales) ouvre la porte à des études paléocéanographiques à haute résolution. Cette perspective est intéressante pour cette partie de l'océan Atlantique qui représente une zone de transition climatique particulièrement lors des périodes glaciaires.

L'enregistrement de la circulation par la texture du sédiment aux faibles profondeurs offre des perspectives pour l'étude des oscillations du front polaire avec une résolution d'environ 5 ka. Des prélèvements sur les sites aux profondeurs inférieures à 1800 mètres permettraient probablement de déterminer les positions et la vigueur du Gulfstream sur le plateau des Açores au Quaternaire. Un enregistrement de l'hydrodynamisme est obtenu sur le ride de Faial avec une résolution de 1 ka. Elle offre donc la possibilité d'études paléocéanographiques haute résolution à une profondeur de 1000 mètres dans une zone clef de l'Atlantique nord.

Certains aspects relatifs à la distribution des sédiments (3.5 kHz) et à leurs propriétés physiques n'ont pas été développés. Cette approche permettra dans le futur de mieux cerner les processus gravitaires et de mieux extrapoler les observations sur carotte à l'ensemble du Plateau.

ANNEXE 1:

Techniques de sédimentologie

1. Gamma-densité

La mesure de gamma-densité permet d'obtenir une mesure quasi continue de la densité humide du sédiment. Cette méthode permet, en faisant des hypothèses sur la densité du fluide interstitiel et la densité du grain, d'obtenir la porosité, la teneur en eau et la densité sèche du sédiment.

1.1. Principe

La mesure est basée sur l'interaction d'un rayonnement gamma avec la matière. Lorsque qu'un photon traverse la matière il peut entrer en collision avec un électron, 3 interactions sont alors possibles [Serra, 1979] (Fig. A-1):

- Le photon transmet la totalité de son énergie à l'électron et ce dernier est expulsé de l'atome, c'est *"l'effet photo électrique"*. Ce phénomène est d'autant plus grand pour des rayonnements gamma de faible énergie et des atomes de numéro atomique élevé.
- Lorsque l'énergie du rayonnement est supérieure à 1,02 MeV la collision d'un photon avec un électron produit l'émission d'un électron négatif (négaton) et d'un électron positif (positon). Ces deux particules se recombinent pour libérer 2 photons d'une énergie de 0,51 MeV chacun, partant dans des directions opposées. C'est la *"production de paire"*. Ce phénomène est négligeable pour la source employée.
- Le photon transmet une partie de son énergie à l'électron qui est éjecté et le reste est émis sous la forme d'un photon de moindre énergie. C'est *"l'effet Compton"* (Fig. A-2). C'est ce phénomène qui domine dans la gamme d'énergie employée et le type de sédiment étudié.

Le principe consiste à mesurer l'atténuation d'un rayonnement gamma ayant traversé le sédiment. L'atténuation est proportionnelle à la densité électronique ρ_e et comme en première approximation la densité électronique est proportionnelle à la densité du matériau r, l'atténuation du rayonnement est donc proportionnelle à la densité humide du sédiment.

La source gamma utilisée est une source au Césium 137 de 0,66 MeV. Le faisceau gamma est émis au travers d'une fenêtre circulaire de 1 cm de diamètre, la détection se fait au travers d'une fente verticale de 5 cm de hauteur et de 1 cm d'épaisseur. Une mesure prend en compte une longueur de carotte de 4,5 cm mais l'essentiel de l'information provient d'une tranche de 1 cm. Le détecteur se déplace à vitesse constante (environ 4 mm/s) le long de la carotte et compte le nombre de désintégrations (coups/secondes).Une mesure est intégrée

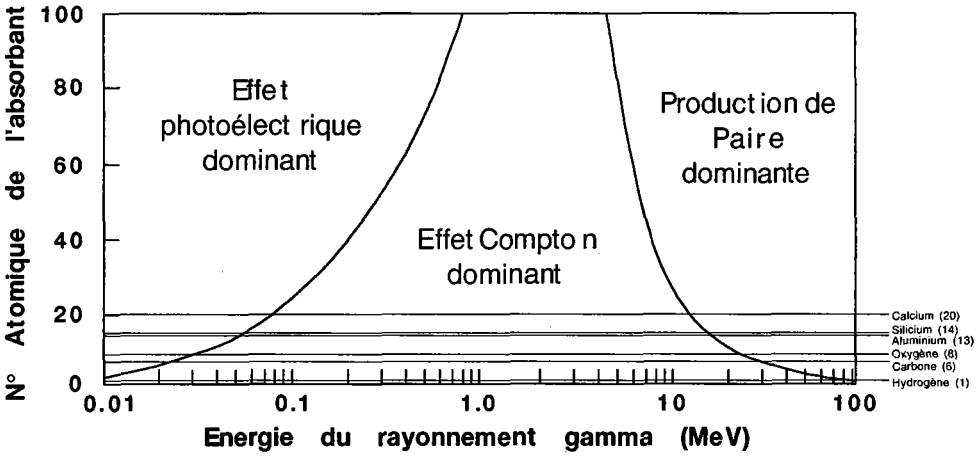


Fig. A-1: Les 3 intéractions possibles entre la matière et un photon gamma. Pour l'énergie de la source utilisée (^{137}Ce de 0.66 Mev) et le numéro atomique des éléments majoritaires dans le sédiment, l'effet compton domine.

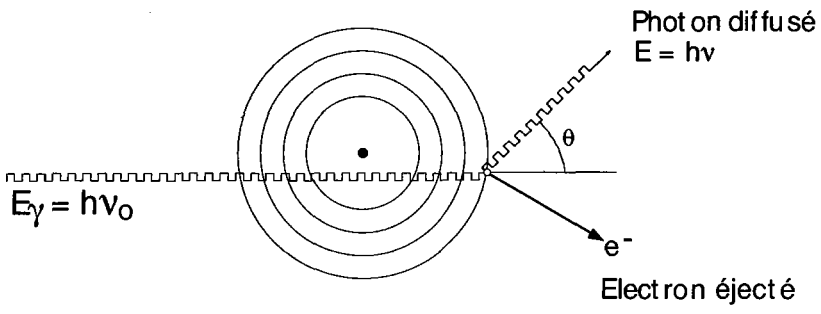


Fig. A-2: Principe de l'effet Compton: le photon gamma gamma transmet une partie de son énergie à un électron qui est éjecté. Le reste de l'énergie est emis sous la forme d'un photon de plus faible énergie. L'atténuation du faisceau gamma initial est proportionnel à la densité électronique du matériau.

environ tous les 2 millimètres (≈3 secondes). Par la suite les valeurs sont moyennées sur un 1 cm, ce qui équivaut à une intégration sur 15 secondes.

1.2. Mesure de la densité humide

Loi physique

La loi d'atténuation du rayonnement gamma dans le sédiment est donnée par l'équation:

$$I=I_o * e^{-\mu\rho_e D} (1)$$

avec:

I: intensité du rayonnement gamma mesurée par le détecteur
I_o: intensité du rayonnement gamma émis par la source
ρ_e: densité électronique
D: diamètre de la carotte
μ: constante

La densité électronique ρ_e est fonction de la densité du matériau (ρ), du numéro atomique (Z), de la masse atomique (A) et du nombre d'Avogadro ($N=6{,}02.10^{23}$) et s'exprime sous la forme:

$$\rho_e = \rho\left(\frac{Z}{A}\right)N \quad (2)$$

L'équation d'atténuation (1) peut donc s'écrire:

$$I=I_o * e^{-\mu\rho\left(\frac{Z}{A}\right)ND} (3)$$

En intégrant $\frac{Z}{A}$ et N à la constante μ on obtient une nouvelle constante μ appelée *"constante d'atténuation"* qui varie d'un matériau à l'autre en fonction du rapport $\frac{Z}{A}$. L'équation d'atténuation (3) peut donc s'écrire:

$$I=I_o * e^{-\mu\rho D} \quad (4)$$

Cette équation intègre ρ grâce au coefficient d'atténuation μ qui tient compte de la différence entre la densité ρ et la densité électronique ρ_e. Cette correction est importante car l'eau, par exemple, possède un coefficient d'absorption supérieur à celui de l'aluminium alors que sa densité est plus faible. Si on exprime l'équation (4) sous forme logarithmique on peut extraire ρ qui s'exprime alors par l'équation:

$$\rho=\ln\left(\frac{I}{I_o}\right) * \frac{1}{-\mu D} \quad (5)$$

Etalonnage

En pratique on étalonne par des matériaux de densités connues. Les étalons sont circulaires, d'un diamètre de 10 cm (le même que celui des carottes) et entourés d'une gaine PVC (de même épaisseur que celui des carottes) pour se placer dans les conditions de mesure sur une carotte et éviter de faire ainsi une correction liée à la chemise en PVC. Les 4 étalons utilisés sont en:

- Nylon, d=1,14
- Polyacétal, d=1,43
- Téflon, d=2,17
- Aluminium, d=2.69

On obtient une droite d'étalonnage qui s'exprime sous la forme:

$$\rho=a * \ln\left(\frac{I}{I_o}\right) + b \quad (6)$$

Le choix des étalons dans cette étude est discutable car il n'intègre pas l'eau qui possède un fort coefficient d'atténuation et qui représente entre 60% et 80% du volume du sédiment. Ce choix a pour effet de surestimer la densité humide. Une mesure faite à posteriori sur de l'eau avec cet étalonnage donne une densité de 1.140 pour une densité réelle de 1.024. Cependant le Polyacétal et le Nylon sont relativement riches en hydrogène (comme l'eau) et possèdent un fort coefficient d'absorption, leur utilisation pour la calibration modère donc la surestimation de la densité humide.

Corrections et précision de la mesure

Les bouchons qui ferment les sections de carottes entraînent une erreur de mesure sur une longueur de 4 à 5 cm à chaque extrémité. La mesure de densité humide est surévaluée de 0,1 g/cm^3 sur cette longueur [Gueguen, 1994], nous avons donc ôté 0,1 g/cm^3 aux valeurs affectées par la présence des bouchons. La mesure offre une précision de 1 à 3% [Gueguen, 1994].

2. Calcimétrie

La teneur en carbonates est importante pour déterminer la stratigraphie et la lithologie. La méthode employée est l'attaque acide à l'aide du calcimètre Bernard, elle est très simple et suffisamment précise.

Le protocole de mesure est très simple:

- broyer l'échantillon à environ 200 µm
- le faire sécher à l'étuve (60°C pendant 24 heures)
- peser exactement 250 mg de poudre
- introduire l'échantillon dans la fiole avec 4 ml d'acide 4N
- verser l'acide sur la poudre et suivre le ménisque avec l'ampoule pour garder la pression dans le tube égale à la pression atmosphérique
- calibrer toutes les 10 mesures en faisant une attaque sur du carbonate de calcium pur

La teneur en carbonates de l'échantillon est calculée en comparant le volume de CO_2 dégazé par le $CaCO_3$ à celui dégazé par l'échantillon, suivant la formule:

$$\frac{V_{\text{échantillon}}}{V_{CaCO_3}} * 100$$

Cette calibration régulière évite d'utiliser la formule classique faisant intervenir la pression atmosphérique et la température.

Le calcimètre Bernard permet une précision de 1%. Il est nécessaire de faire l'attaque acide sur un échantillon sec et de peser les 250 mg au millième près car une différence de 1/100ème de gramme entraîne une erreur de 4% sur la mesure.

3. Granulométrie à diffraction laser

L'analyse granulométrique concerne la taille des particules qui composent le sédiment. Pour un échantillon la distribution granulométrique est donnée en pourcentage massique ou volumique relatif par classe de taille.

Les sédiments prélevés aux Açores sont généralement composés de particules de taille inférieure à 1 mm, or au-dessous de cette taille les méthodes d'analyse granulométriques classiques de la sédimentologie sont lourdes, contraignantes et très lentes. Le nombre d'échantillon que nous désirions analyser a conduit le SHOM à acquérir un microgranulomètre laser du type COULTER LS130 (Fig. A-3). Ce type d'analyse a l'avantage d'être rapide, fiable, reproductible et de nécessiter très peu d'échantillon.

3.1. Principe du COULTER LS130

La mesure du COULTER est basée sur la diffraction d'un rayon laser par les particules du sédiment. Un rayon lumineux se propage en ligne droite dans un milieu homogène et sera dévié s'il rencontre une particule, ou passe dans milieu aux propriétés physiques différentes (Fig. A-4). D'un point de vue géométrique l'angle avec lequel sera dévié le rayon lumineux est fonction de la taille de la particule. D'un point de vue ondulatoire chaque point de la surface

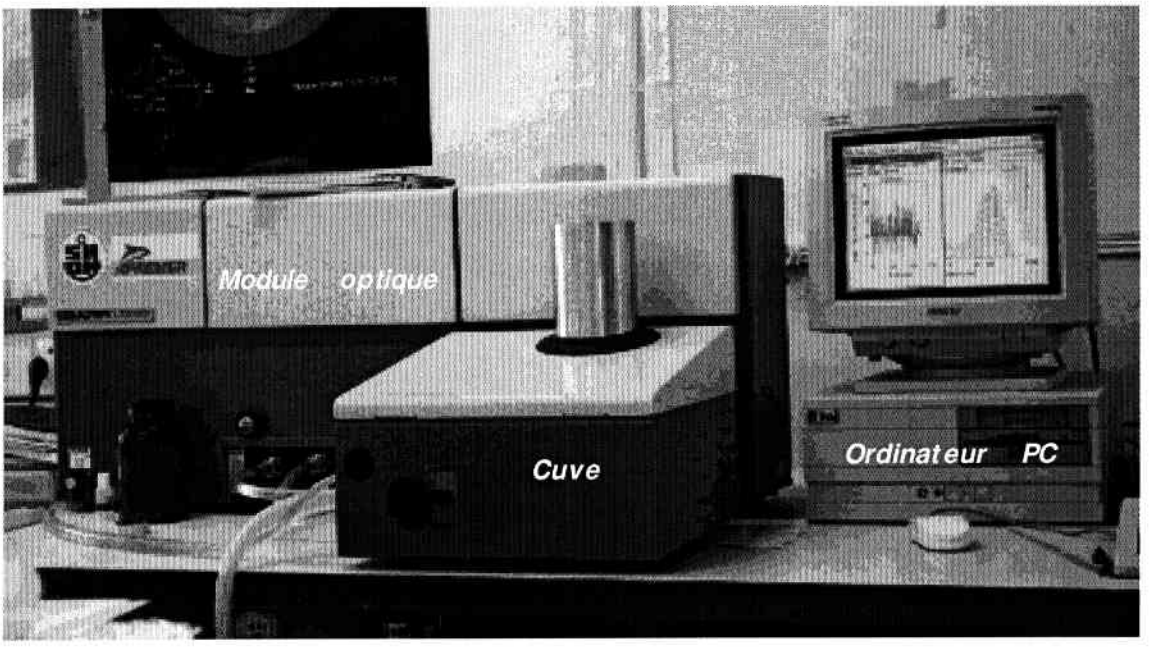


Fig. A-3: Le microgranulomètre à diffraction laser Coulter LS130. L'ensemble est composé d'une cuve à échantillon et d'un module optique, la mesure est pilotée par un PC.

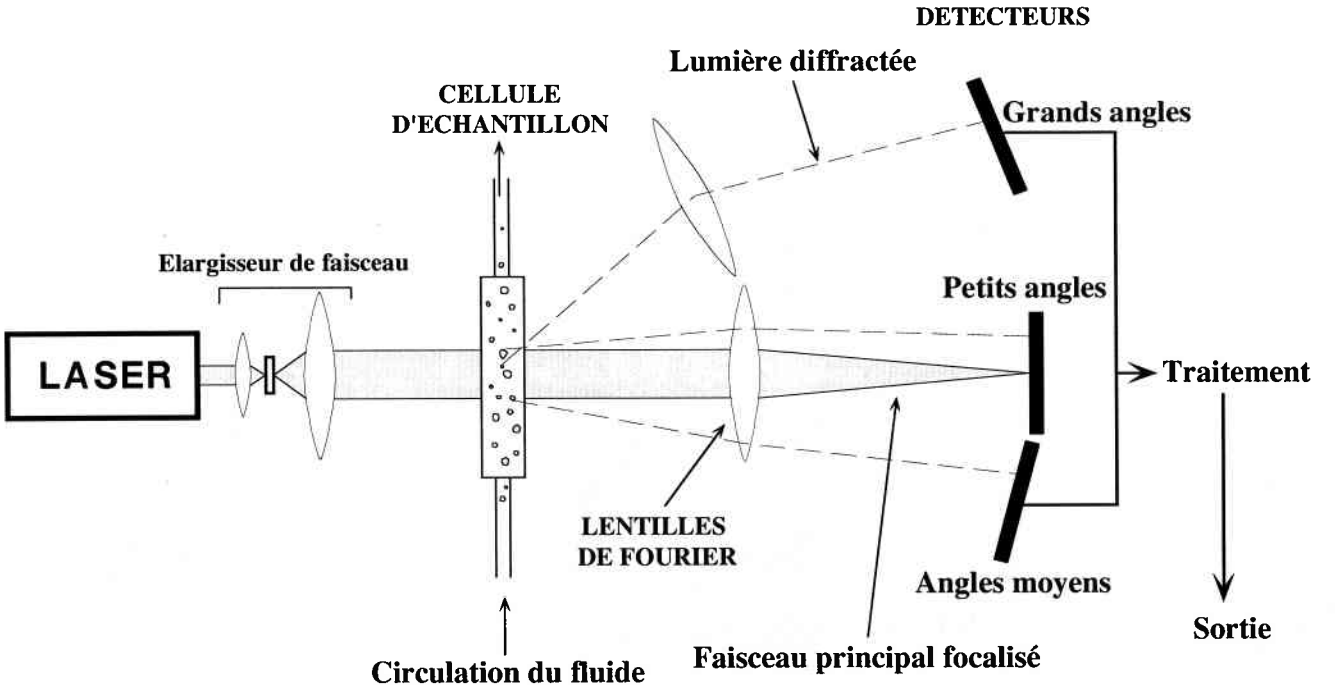


Fig. A-4: Principe du microgranulomètre à diffraction laser. Une particule est exposée à un faisceau laser, d'un point de vue géométrique le faisceau est dévié d'un angle inversement proportionnel à la taille de la particule. D'un point de vue ondulatoire chaque point de la surface de la particule se comporte comme une source d'émision secondaire (Principe de Huygens) dont la somme se matérialise sous la forme d'une figure d'interférence.

d'une particule exposée au rayon se comporte comme une source d'émission secondaire (principe de Huygens, valable si la taille de la particule est nettement supérieure à la longueur d'onde de la lumière), la somme de chacune de ces sources secondaires se matérialise par une figure d'interférence dite "figure d'Airy" sous la forme d'anneaux lumineux concentriques. La figure d'Airy se décompose en deux parties (Fig. A-5):

- le pic central à distribution Gaussienne créé par la lumière non diffractée
- les anneaux d'Airy proprement dit.

A l'infini (ou grâce à un système optique adapté) la forme de la figure de diffraction ne dépend que de la taille des particules et pas de la position de la particule dans le rayon lumineux ni du mouvement de la particule [Cornillault, 1975]. A chaque taille de particule correspond une figure d'interférence dont l'équation de distribution d'énergie est la suivante [Loizeau *et al.*, 1994]:

$$I(\theta)=1/\theta^2\int_0^{\infty} R^2 n(R) J_1^2(\theta k R)\,dR \quad (1)$$

avec:

θ: angle de diffraction
n(R): fonction de distribution de la taille des particules
R: rayon de la particule
k: $\frac{2\pi}{\lambda}$ (λ=longueur d'onde du faisceau lumineux)
J_1: fonction de Bessel du premier ordre

A l'intérieur de chaque cercle le taux d'énergie diffracté par une classe de particule est relié linéairement à la quantité de particules présentent dans cette classe [Cornillault, 1975]. Les figures d'interférence des particules de toutes tailles s'additionnent. La figure de diffraction obtenue par plusieurs classes de particules est d'autant plus uniforme et d'autant plus large que les particules sont petites (Fig. A-5). Chaque classe de particule contribue à l'élaboration d'un anneau proportionnellement à son importance, en d'autres termes: l'équation du taux d'énergie d'un anneau (1) est une équation à n inconnues, n étant le nombre de classes granulométriques considérées, chaque classe contribuant linéairement en fonction de son volume relatif. n mesures sur n anneaux correspondant à n classes granulométriques permet d'obtenir un système de n équations à n inconnues [Cornillault, 1975]. Ce calcul est basé sur le modèle de diffraction de Fraunhofer qui est un cas limitant de la théorie de Lorentz-Mie sur l'interaction entre la lumière et les petites particules. La théorie de Fraunhofer est valable si la taille des particules est supérieure à la longueur d'onde du faisceau lumineux (i-e si le principe de Huygens est respecté) et si le rapport des indices de réfractions des particules du fluide porteur est très différent de 1 [De Boer *et al.*, 1987]. Le modèle de Fraunhofer considère également les particules opaques, c'est dire que la lumière est uniquement diffractée, pas réfractée.

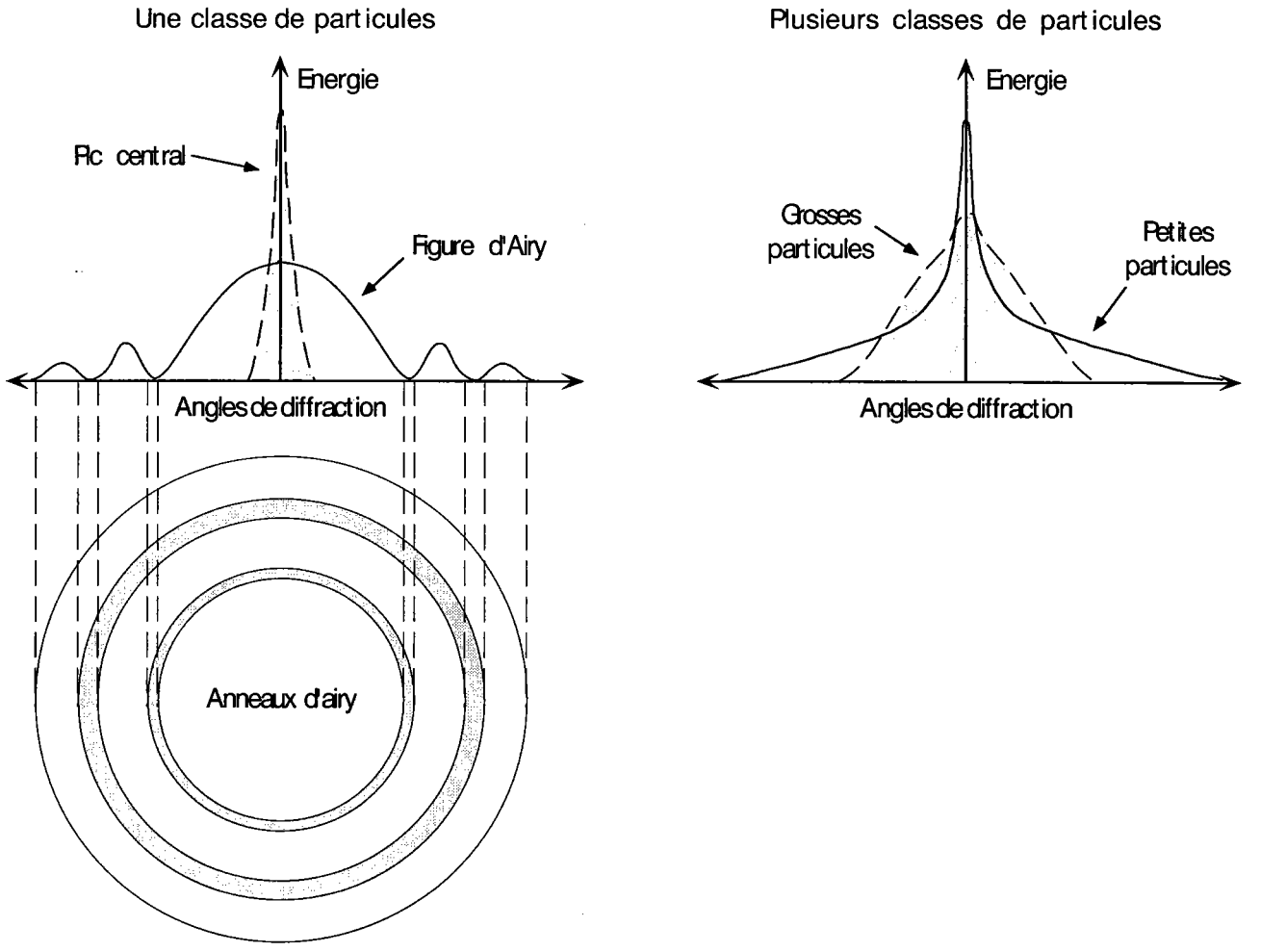


Fig. A-5: La figure d'airy. Cette figure de diffraction est crée par les particules exposées au faisceau laser. A chaque taille correspond une figure d'interférence, les figures d'interférences des particules de toutes tailles s'additionnent. Chaque classe de taille contribue à l'élaboration d'un anneau proportionnellement à son importance. La figure d'interférence est interprétée par un modèle optique (hypothèses sur l'indice de diffraction dans le cas de particules transparentes) pour donner une distribution granulométrique.

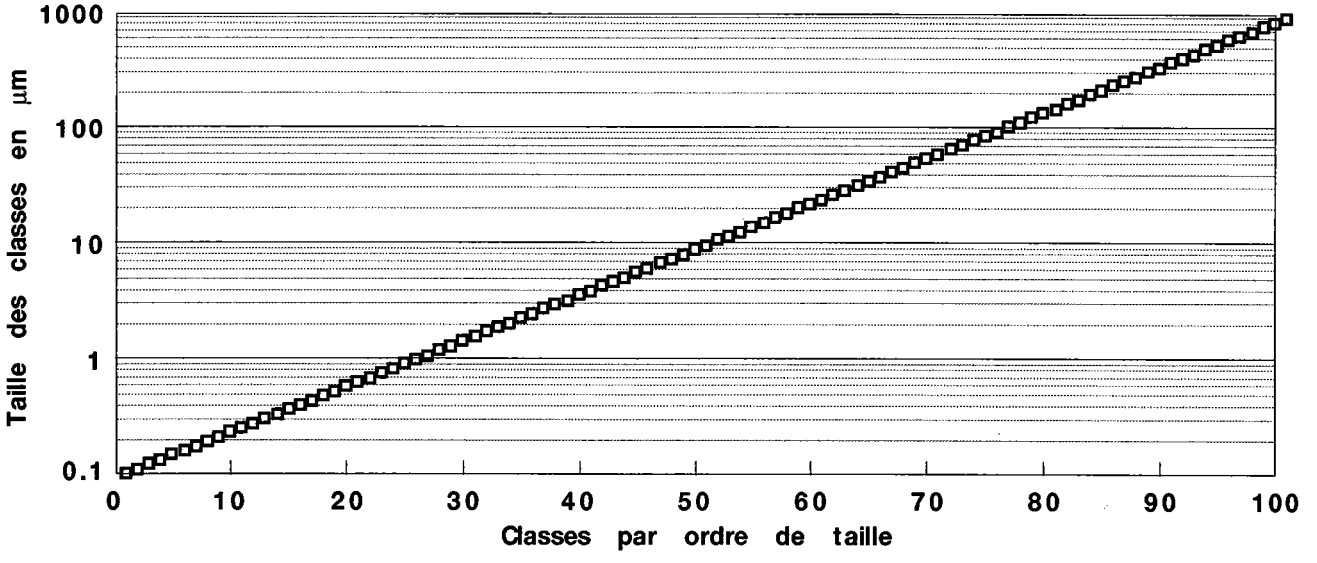


Fig. A-6: Les 101 classes granulométriques du Coulter LS130. Elles ont une progression logarithmique (base 10) de 0.1 µm à 900 µm.

Cas des particules transparentes, modèles optiques.

Le modèle optique est une hypothèse post-mesure faite pour le calcul de la courbe granulométrique, sur la nature des particules et les caractéristiques optiques qui en découlent: opacité, transparence. Lorsque l'on fait l'hypothèse que les particules sont opaques on considère que la lumière est en totalité diffractée. Le modèle optique alors employé est le modèle de Fraunhofer. Lorsqu'on fait l'hypothèse que les particules sont transparentes il faut utiliser un modèle optique tenant compte de la lumière réfractée et de la lumière absorbée. Cela ce fait en introduisant dans le calcul un nombre complexe de la forme:

$$C=Re + i\ Im$$

avec:

Re: indice de réfraction
Im: indice d'absorption

Pour les analyses j'ai considéré les particules transparentes et j'ai choisi un indice de réfraction **Re=1,56**, et un indice d'absorption **Im=0,010**. La complexité des particules (foraminifères, nannofossiles et terrigènes) peut rendre difficile le choix des indices, mais le faible écart entre les indices des principaux composants (Tab. A-1) permet de fixer un indice moyen. Il est mieux d'utiliser ce modèle optique car le modèle optique de Fraunhofer sur le sédiment (dont les particules sont transparentes) tend à surestimer l'importance de la fraction inférieure à 1 µm, et en conséquence à diminuer la médiane. Cette "queue dans les fines" qui n'existe pas augmente également l'asymétrie de la courbe granulométrique, diminue le classement et fausse les interprétations qui en découlent.

Minéral	Indice de réfraction	Indice d'absorption
Calcite	1,57 (1)	0.010 (2)
Quartz	1,55 (1)	0,010 (2)
Verre (2)	1,50	0,000
Opale	1,44 (1)	?

Tab. A-1: Indices de réfraction et indices d'absorption des principaux minéraux des sédiments des Açores. (1) Roubault ; (2) Documentation Coulter LS130

Le problème des particules submicrométriques

Un problème se pose si on veut obtenir sur les particules de diamètre inférieur à la longueur d'onde du Laser (<0,75 µm,) une précision équivalente à celle obtenue sur les

grosses. Une petite particule diffracte moins de lumière qu'une grosse car sa surface est plus petite, sa figure d'interférence a une plus faible amplitude et est donc plus difficile à détecter. L'alternative pour obtenir une précision sur la distribution de particules fines est de tenir compte de la sensibilité de diffraction des fines à la polarisation de la lumière.

La lumière est une onde électromagnétique transverse, c'est à dire que les champs électriques et magnétiques oscillent dans des plans perpendiculaires entre eux et perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde. Lorsqu'une particule se trouve dans le faisceau, le champ électrique induit un mouvement oscillatoire des électrons des atomes de la particule. La direction du mouvement induit est parallèle au plan d'oscillation du champ électrique et donc perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau. Le mouvement des électrons crée une émission secondaire de lumière dans toutes les directions sauf dans la direction d'oscillation des électrons, à cause de la nature transverse de la lumière [Bott & Hart, 1990]. En conséquence si le faisceau de lumière incidente est polarisé dans plan xz, c'est à dire qu'il n'existe qu'un plan d'oscillation (xz) pour le champ électrique, l'émission secondaire de lumière par la particule se fera dans toutes les directions sauf dans le plan de polarisation du faisceau incident. La figure de dispersion de la lumière par une particule fine est donc très sensible à la polarisation du faisceau incident. Les grosses particules ont un comportement différent et leur figures de dispersion sont plus complexes à interpréter.

La différence entre l'intensité de la lumière dispersée à partir d'un faisceau incident polarisé parallèlement au plan de dispersion et celle issue d'un faisceau polarisé perpendiculairement est appelé le signal PIDS (Polarization Intensity Differential Scattering) [Bott & Hart, 1990] ou diffusion de Mie [Prigent, 1992]. Ce signal PIDS est fonction du rapport taille de la particule/longueur d'onde du faisceau incident et permet donc d'obtenir de l'information sur des particules exposées à un faisceau monochromatique et de diamètre inférieur à celui de la longueur d'onde du faisceau.

3.2. Fonctionnement.

Le COULTER LS130 utilise un Laser à l'arséniure de gallium de longueur d'onde 750 nm dont le faisceau est élargi (Fig. A-4). Il dispose de 126 photodiodes. La figure d'interférence crée par la lumière diffractée est projetée à l'infini sur les photodiodes par l'intermédiaire de deux lentilles de Fourier afin d'éliminer l'effet de position des particules. Il donne une distribution volumique relative sur 101 classes à progression logarithmique entre 0,1 µm et 900 µm (Fig. A-6).

3.2.1. Protocole

1) La mesure est pilotée à partir d'un ordinateur. Plusieurs étapes sont nécessaires pour réaliser une mesure.

2) Le bruit de fond électronique et thermique "offset" est mesuré pour la première mesure et automatiquement refait dès que les conditions environnantes sont modifiées.

3) Le blanc "background" est mesuré avant chaque mesure, Il est nécessaire que le fluide soit propre. Le fluide utilisé est de l'eau du robinet filtrée à 0,2 µm. [Loizeau *et al.*, 1994] dégazent l'eau pour limiter le bruit de fond provoqué par les bulles, mais nous avons constaté que le blanc est suffisamment stable sans dégazer l'eau.

4) L'échantillon est introduit dans la cuve et mis en suspension dynamique. Les particules sont exposées au Laser lors de leur passage dans une cellule transparente (Fig. A-4). L'homogénéité du sédiment est assurée par la circulation permanente de l'eau lors de la mesure, il est possible de régler la vitesse de la pompe ce qui permet de créer une bonne suspension même pour des particules denses, jusqu'à 4 g/cm^3 [Loizeau *et al.*, 1994]. L'échantillon est également soumis à 20 secondes d'ultrasons dans la cuve avant et pendant la mesure. La quantité d'échantillon nécessaire est fonction de la texture, plus le sédiment est fin moins il faut d'échantillon, plus il est grossier plus il en faut. En règle générale il faut entre 200 mg et 1000 mg de sédiment frais. Les échantillons n'ont été ni séché, ni pesé.

5) La mesure proprement dite est effectuée en continu pendant environ 1 minute ce qui assure la fiabilité statistique de la mesure. L'atténuation du faisceau central doit être comprise entre 8% et 12%.

6) Les données sont traitées par le logiciel en utilisant le modèle optique de Fraunhofer et le résultat est sauvé dans un fichier. Le fichier créé par le COULTER LS130 contient les valeurs du flux lumineux par capteur, corrigées par le modèle optique. Il contient également les paramètres liés à la mesure.

3.2.2. Reproductibilité et précision

L'excellente reproductibilité des mesures a été mise en évidence par [Prigent, 1992] et par [Loizeau *et al.*, 1994]. Les indices calculés sur un même échantillon à partir de mesures multiples n'ont une variabilité que de 0,3%. Seul le skewness montre une variabilité allant jusqu'à 9,2% [Loizeau *et al.*, 1994].

A partir de billes de latex calibrées [Loizeau *et al.*, 1994] et [Prigent, 1992] ont montré que la précision de la mesure est de 2% tant sur les particules fines que sur les grosses. Cependant [Loizeau *et al.*, 1994] ont montré que la teneur en argiles (< 2 µm) est d'autant sous-estimée qu'elle est faible. Comme la fraction < 2 µm est peu importante dans les sédiments étudiés cette imprécision n'est pas gênante.

D'une manière générale le COULTER LS130 fourni une mesure fiable et reproductible. Ceci est une condition nécessaire mais pas suffisante pour avoir une courbe granulométrique

représentative du sédiment étudié, d'autres paramètres peuvent influencer la mesure de façon importante.

3.2.3. Paramètres influençant la mesure

Paramètres physico-chimiques

La signification de "particule" d'un sédiment dépend de la nature de l'échantillon analysé. Dans un sédiment essentiellement constitué de foraminifères et nannoplanctons la particule est le test de l'animal, intact ou brisé, ces particules sont faciles à séparer dans une suspension. Un problème se pose lorsque le sédiment contient des argiles. Ces minéraux sont en partie maintenus par des liaisons électrostatiques qui peuvent permettre à divers éléments de s'agglomérer au minéral, et à plusieurs minéraux de s'agglomérer à leur tour; on dit que le sédiment flocule. Si la particule est le minéral considéré, l'analyse obtenue sera fausse car la mesure sera faite sur l'agglomérat et la taille des grains sera surévaluée, Il faut dans ce cas que les particules soient séparées au moment de la mesure. Il existe deux méthodes pour y parvenir, l'une chimique, l'autre physique.

La première, chimique, consiste à mettre du dispersant (Hexa-méta phosphate de sodium) dans la suspension. L'effet est net, la médiane de l'échantillon se déplace vers les fines [Prigent, 1992]. Malheureusement trop de dispersant entraîne la formation de bulles et à fausse la mesure en redéplaçant la médiane vers les grosses. L'utilisation de dispersant sur un sédiment à grosses particules déplace immédiatement la médiane vers les grosses également à cause de la formation de bulles [Prigent, 1992]. Le dispersant doit donc être utilisé avec précaution, il est indispensable d'effectuer des tests afin de connaître la dose optimale.

La deuxième, physique, est de se servir d'ultrasons. Le COULTER LS130 permet de les utiliser soit avant soit pendant la mesure, il est possible d'en régler la durée mais pas la fréquence ni l'intensité. L'effet sur les agglomérats est net, la médiane se déplace vers les fines [Prigent, 1992]. Les ultrasons pourraient être trop efficaces et disloquer les minéraux au lieu de seulement les séparer, aucun test n'a encore été fait pour vérifier l'existence de cet effet mais la nature de l'action des ultrasons permet de l'envisager [Pervès, 1992].

L'utilisation du dispersant et des ultrasons demande de connaître la nature du sédiment et d'effectuer des tests avant de lancer une série de mesures sur des sédiments similaires. La nature très carbonatée des sédiments étudiés m'a conduit à ne pas utiliser de dispersant car la suspension dynamique et l'utilisation d'ultrasons sont suffisants pour disperser les carbonates.

La prise d'échantillon

Le point important dans la prise d'échantillon est qu'elle soit représentative de sédiment analysé. Dans mon étude la petite taille des particules (<900 µm) permet d'avoir un prélèvement représentatif avec très peu de sédiment et je n'ai donc pas eu de problème de représentativité. Il est quand même préférable de prélever l'échantillon sur la carotte et d'utiliser

la totalité du prélèvement pour l'analyse, quelques soient les traitements (ultrasons, ajout de dispersant) effectués avant celle-ci. On évite ainsi les tris inévitablement créés par les manipulations, et la représentativité de l'échantillon est assurée. L'importance de la prise d'échantillon sur la reproductibilité des mesures a également été démontrée par [Loizeau *et al.*, 1994].

3.3. Traitement des données

Pour chaque échantillon le Coulter LS130 crée un fichier contenant les paramètres liés à la mesure et le flux enregistré par chaque capteur (chacun associé à une classe granulométrique) après correction par le modèle optique. Malheureusement il ne contient pas les pourcentages volumiques par classe ni les paramètres granulométriques accessibles à l'écran et en impression via le logiciel Coulter. Afin de récupérer ces données et de les manipuler facilement (plus de 1000 échantillons analysés) j'ai écrit, sous Excel une macro-commande (annexe "Traitement des données granulométriques") qui, à partir des fichiers Coulter, calcule pour chaque échantillon:

- les courbes différentielles et cumulées
- les teneurs en argiles, silts et sables,
- les 3 premiers modes et leur pourcentage
- les percentiles 25%, 50% (médiane) et 75%
- le tri
- l'asymétrie.

Les données sont classées par niveau dans une carotte et sont automatiquement placées dans un fichier par carotte.

4. Mesure de la réflectance

Les mesures de la réflectance on été faites à partir de photographie numérisée en niveaux de gris. Les photos ont toutes été prises dans les mêmes conditions d'éclairage (ampoules bleues "lumière du jour"), avec le même type de pellicule, la même durée d'exposition et la même distance de l'objectif. Nous avons fait une photo par carotte ce qui nous donne une image à l'échelle 1/10 pour un tirage photographique standard. Les photos ont ensuite été toutes numérisées de la même façon. Nous avons également réalisé une photo d'une plaque blanche afin de contrôler les hétérogénéités d'éclairage. Ces hétérogénéités sont faibles en comparaison des variations de réflectance des carottes, nous n'avons donc pas réalisé de correction.

L'analyse de la réflectance a été réalisée à partir du logiciel Image 1.41 (Fig. A-7). Nous avons réalisé un profil de réflectance pour chaque section de carotte. Afin d'obtenir une moyenne de réflectance sur la largeur d'une section et pour atténuer le "bruit" du à des irrégularité à la surface de la section, nous avons réalisé le profil de réflectance sur une fenêtre

aussi large que possible, et non pas sur une seule ligne (Fig. A-7). Chaque section est ensuite recalée sur l'échelle des profondeur puis les section sont concaténées pour obtenir la courbe de réflectance de la carotte. Les valeurs aberrantes dues à des ombres ou à des perturbations sur la carotte ont été supprimées.

L'analyse permet d'obtenir une valeur de réflectance environ tous les 3 mm. Une meilleure résolution est possible en numérisant la photo avec une photo de meilleure résolution. Cette analyse est rapide a mettre en œvre. Il faut apporter beaucoup de soin à la prise des clichés, notamment à la qualité de l'éclairage. Les fichiers des photos numérisés prennent seulement 130 Ko par cliché pour une résolution de 3 mm de la réflectance.

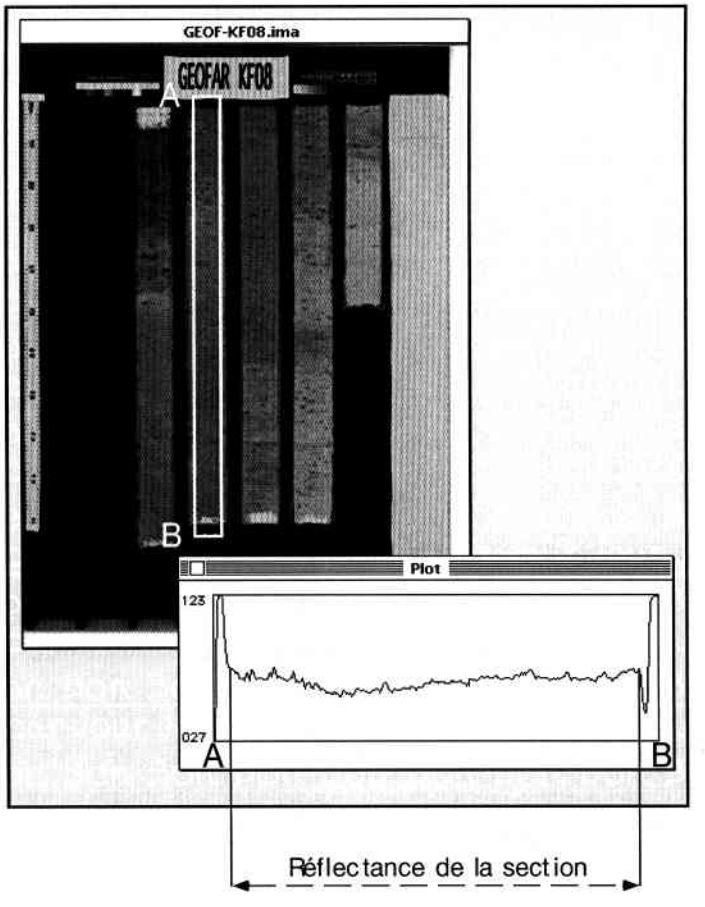


***Fig. A-7**: Méthode d'acquisition de la réflectance. La courbe représente une moyenne sur la largeur de la section. Les bout de courbes sont ensuite recalées sur l'echelle de profondeur puis concaténées pour obtenir une courbe par carotte.*

5. Décarbonatation du sédiment

La décarbonatation du sédiment a été réalisée par attaque à l'acide chlorhydrique (HCl) 4N. Cette attaque est violente mais une attaque plus douce n'est nécessaire que lorsque les argiles doivent être déterminés par la suite, ce qui n'est pas notre cas. La phase résiduelle a été lavée et centrifugée jusqu'à élimination de l'acide. Le contrôle d'acidité du surnageant à été faite à l'aide de papier pH.

6. Frottis

Les frottis ont été réalisés sur les sédiments décarbonatés. Les observations ont été faites sur 4 champs à un grossissement X160. Seule la fraction supérieure à 6 µm a été estimée. Les pourcentages déterminés sont une moyenne des 4 champs ce qui assure une bonne représentativité de l'observation. Les phases déterminées sont:

-Quartz
-Feldspaths
-Verre
-Minéraux lourds opaques
-Minéraux lourds transparents
-Diatomées
-Spicules
-Phase argileuse (< 6 µm)

Pour la détermination le vide est estimé comme une fraction ordinaire, les pourcentages des fractions sédimentaires sont ensuite ramenées à 100%.

ANNEXE 2:

Macro-commandes Excel

Les macro-commandes faites dans Excel sont des petits programmes utilisant des lignes de commande et des variables qui permettent d'effectuer des opération à l'intérieur des feuilles de calcul. Elles sont relativement faciles à écrire car le langage est simple et utilise les commandes utilisées dans Excel. Leur intérêt est dans la possibilité d'automatiser des opérations répétitives comme des tests à l'intérieur de fichiers ou effectuer une même opération dans une multitude de fichier et cela sans devoir apprendre un langage informatique. Dans le cadre de cette thèse nous avons réalisé 3 macro-commandes dans le but de mettre en forme des fichiers granulométriques, de calculer des indices granulométriques, de calculer les courbes granulométriques des carbonates. Ces macro-commandes ne sont pas des programmes "clef en main" mais des outils de travail personnels utilisables par tout le monde à condition de s'intéresser un minimum au langage macro de Excel.

1. Macro-commande "ConversionFichierCoulter"

Chaque mesure effectuée par le microgranulomètre laser COULTER LS130 fourni un fichier texte contenant diverses informations sur le background, l'offset, ...etc., le nom de l'échantillon et les résultats de la mesure elle-même. Malheureusement ce fichier ne contient pas les pourcentages volumiques eux-mêmes, mais un équivalent d'énergie par capteur (<=> tamis) après interprétation de la figure d'Airy par un modèle optique. Ces informations sont présentées dans une seule colonne contenant 1193 lignes (Fig. A-8) et la seule façon connue de visualiser la courbe granulométrique et certain indices granulométriques est le logiciel Coulter ® LS 100/LS130 Version 1.50 qui sert également à piloter la mesure. Afin de manipuler aisément les données acquises (calcul, édition, ...etc.) nous avons écrit la macro-commande "ConversionFichierCoulter" qui à partir du fichier brut de mesure crée un fichier contenant une colonne pour les tamis, une colonne pour les pourcentages volumique et une colonne pour les pourcentages cumulés (Fig. A-8). Elle calcule également:

% Argiles (≤ 10.39 µm)
% Silts (> 10.39 µm et ≤ 64.20 µm)
% Sables (> 64.20 µm)
% Foraminifères (≥ 121.4 µm)
Q1
Q2
Q3
Mode 1

Mode 1
Mode 3

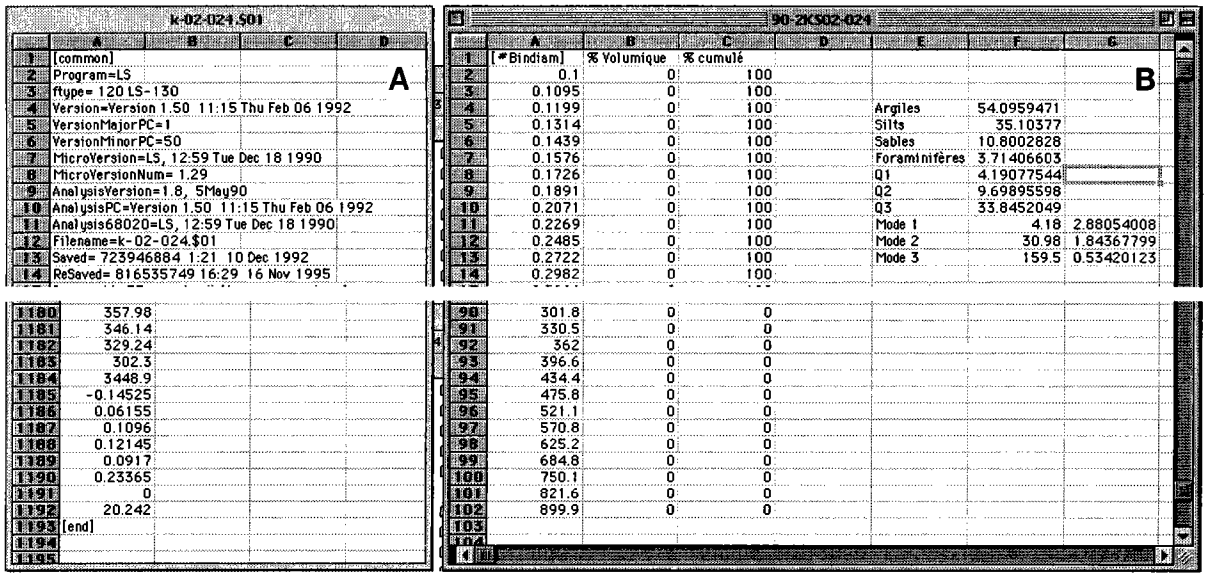
Les fichiers à traiter sont à placer dans un répertoire dont la position sera indiquée à la macro-commande. Celle-ci lit le nombre de fichiers présents et commence sont traitement fichier par fichier. Les paramètres granulométriques calculés sont également transférés au fur et à mesure dans un fichier (Fig. A-9) ce qui permet ainsi de regrouper pour une carotte les paramètres granulométriques niveau par niveau. La macro-commande peut, si on lui en indique la position, lire le nom correspondant à la carotte et le côte correspondant à l'échantillon, dans le nom du fichier brut de ce dernier, a condition bien sur qu'il y figurent. La position du nom de la carottes et de la côte dans le nom de l'échantillon est déterminé par deux chiffres:
- la position du premier chiffre de la côte dans le nom de l'échantillon
- le nombre de caractères qui composent la côte
Ces deux chiffres sont à indiquer dans le paragraphe "Début de lecture des fichiers source" (indiqué en gras).

2. Macro-commande "CalcMoyTotArSiSa"

Cette macro-commande calcule la moyenne arithmétique pour la totalité de l'échantillon, pour les silts, les argiles et les sables. Comme pour la macro-commande précédente elle le fait échantillon par échantillon, elle lit la côte de l'échantillon et le nom de l'échantillon dans le nom du fichier en entrée. De même elle met le résultat des calculs dans un fichier qui regroupe ainsi toutes les moyenne pour une carotte. De la même manière les fichiers sources sont à placer dans un répertoire dont le chemin est indiqué à la macro-commande. Les fichiers sources sont ceux créés par la macro-commande "ConversionFichierCoulter"

3. Macro-commande "CalcCourbCarb"

Cette macro-commande calcule la courbe granulométrique des carbonates à partir des courbes granulométriques du sédiment total et du sédiment résiduel et de la teneur en carbonates. Elle applique la correction décrite dans le chapitre des méthodes. Elle puise pour chaque échantillon dans un répertoire correspondant le fichier "sédiment total" et le fichier "sédiment résiduel". Les fichiers entrés sont ceux qui résultent de macro-commande "ConversionFichierCoulter". Cette macro-commande calcule ensuite les paramètres granulométriques correspondant à la courbe des carbonates, de la même manière que la macro-commande "ConversionFichierCoulter" et crée également un fichier qui regroupe les paramètres pour une carotte niveau par niveau. Les teneurs en carbonates pour une carotte sont puisées dans un fichier à deux colonnes contenant la cote et la teneur en carbonates (en %) échantillon par échantillon. Avant de traiter un échantillon la macro-commande effectue un test pour vérifier si les 3 côtes (total-résiduel-teneur en carbonates) sont identiques.



k-02-024.501

	A	B	C	D
1	[common]			
2	Program=LS			
3	ftype= 120 LS-130			
4	Version=Version 1.50 11:15 Thu Feb 06 1992			
5	VersionMajorPC=1			
6	VersionMinorPC=50			
7	MicroVersion=LS, 12:59 Tue Dec 18 1990			
8	MicroVersionNum= 1.29			
9	AnalysisVersion=1.8, 5May90			
10	AnalysisPC=Version 1.50 11:15 Thu Feb 06 1992			
11	Analysis68020=LS, 12:59 Tue Dec 18 1990			
12	Filename=k-02-024.$01			
13	Saved= 723946884 1:21 10 Dec 1992			
14	ReSaved= 816535749 16:29 16 Nov 1995			
1180	357.98			
1181	346.14			
1182	329.24			
1183	302.3			
1184	3448.9			
1185	-0.14525			
1186	0.06155			
1187	0.1096			
1188	0.12145			
1189	0.0917			
1190	0.23365			
1191	0			
1192	20.242			
1193	[end]			
1194				
1195				

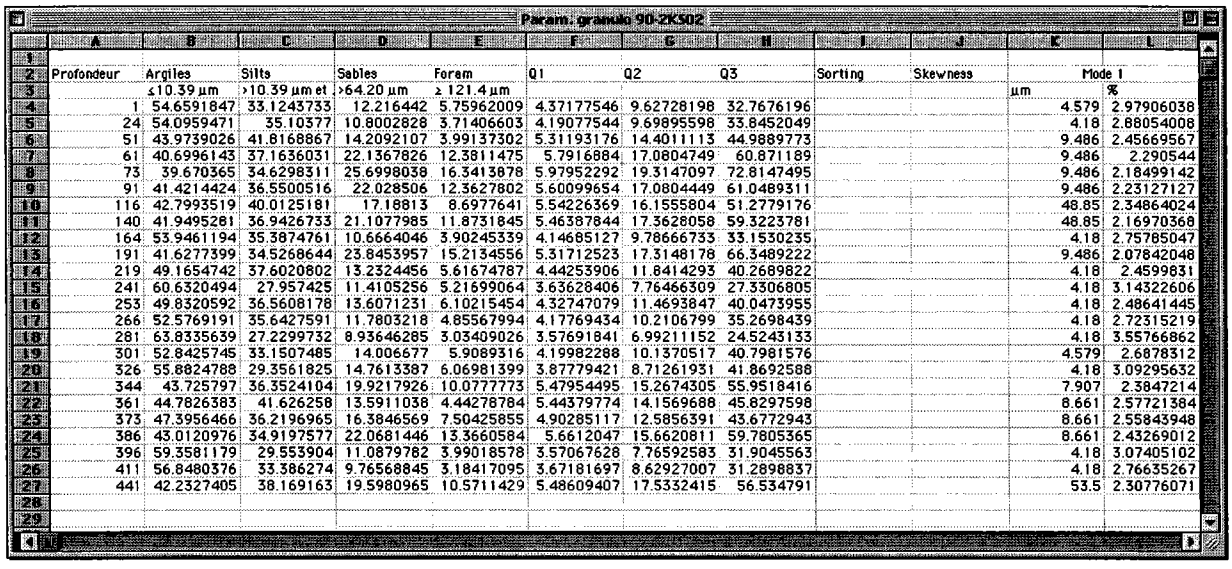
A

90-2KS02-024

	A	B	C	D	E	F	G
1	[#Bindiam]	% Volumique	% cumulé				
2	0.1	0	100				
3	0.1095	0	100				
4	0.1199	0	100		Argiles	54.0959471	
5	0.1314	0	100		Silts	35.10377	
6	0.1439	0	100		Sables	10.8002828	
7	0.1576	0	100		Foraminifères	3.71406603	
8	0.1726	0	100		Q1	4.19077544	
9	0.1891	0	100		Q2	9.69895598	
10	0.2071	0	100		Q3	33.8452049	
11	0.2269	0	100		Mode 1	4.18	2.88054008
12	0.2485	0	100		Mode 2	30.98	1.84367799
13	0.2722	0	100		Mode 3	159.5	0.53420123
14	0.2982	0	100				
90	301.8	0	0				
91	330.5	0	0				
92	362	0	0				
93	396.6	0	0				
94	434.4	0	0				
95	475.8	0	0				
96	521.1	0	0				
97	570.8	0	0				
98	625.2	0	0				
99	684.8	0	0				
100	750.1	0	0				
101	821.6	0	0				
102	899.9	0	0				
103							
104							

B

Fig. A-8: Illustration de la conversion effectuée par la macrocommande "ConversionFichierCoulter": A (fichier brut fourni par le logiciel Coulter), B (fichier créé par la macrocommande).



Param. granulo 90-2KS02

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	Profondeur	Argiles	Silts	Sables	Forem	Q1	Q2	Q3	Sorting	Skewness	Mode 1	
3		≤10.39 µm	>10.39 µm et	>64.20 µm	≥ 121.4 µm						µm	%
4	1	54.6591847	33.1243733	12.216442	5.75962009	4.37177546	9.62728198	32.7676196			4.579	2.97906038
5	24	54.0959471	35.10377	10.8002828	3.71406603	4.19077544	9.69895598	33.8452049			4.18	2.88054008
6	51	43.9739026	41.8168867	14.2092107	3.99137302	5.31193176	14.4011113	44.9889773			9.486	2.45669567
7	61	40.6996143	37.1636031	22.1367826	12.3811475	5.7916884	17.0804749	60.871189			9.486	2.290544
8	73	39.670365	34.6298311	25.6998038	16.3413678	5.97952292	19.3147097	72.8147495			9.486	2.18499142
9	91	41.4214424	36.5500516	22.028506	12.3627802	5.60099654	17.0804449	61.0489311			9.486	2.23127127
10	116	42.7993519	40.0125181	17.18813	8.6977641	5.54226369	16.1555804	51.2779176			48.85	2.34864024
11	140	41.9495281	36.9426733	21.1077985	11.8731845	5.46387844	17.3628058	59.3223781			48.85	2.16970368
12	164	53.9461194	35.3874761	10.6664046	3.90245339	4.14685127	9.78666733	33.1530235			4.18	2.75785047
13	191	41.6277399	34.5268644	23.8453957	15.2134556	5.31712523	17.3148178	66.3489222			9.486	2.07842048
14	219	49.1654742	37.6020802	13.2324456	5.61674787	4.44253906	11.8414293	40.2689822			4.18	2.4599831
15	241	60.6320494	27.957425	11.4105256	5.21699064	3.63628406	7.76466309	27.3306805			4.18	3.14322606
16	253	49.8320592	36.5608178	13.6071231	6.10215454	4.32747079	11.4693847	40.0473955			4.18	2.48641445
17	266	52.5769191	35.6427591	11.7803218	4.85567994	4.17769434	10.2106799	35.2698439			4.18	2.72315219
18	281	63.8335639	27.2299732	8.93646285	3.03409026	3.57691841	6.99211152	24.5243133			4.18	3.55766862
19	301	52.8425745	33.1507485	14.006677	5.9089316	4.19982288	10.1370517	40.7981576			4.579	2.6878312
20	326	55.8824788	29.3561825	14.7613387	6.06981399	3.87779421	8.71261931	41.8692588			4.18	3.09295632
21	344	43.725797	36.3524104	19.9217926	10.0777773	5.47954495	15.2674305	55.9518416			7.907	2.3847214
22	361	44.7826383	41.626258	13.5911038	4.44278784	5.44379774	14.1569688	45.8297598			8.661	2.57721384
23	373	47.3956466	36.2196965	16.3846569	7.50425855	4.90285117	12.5856391	43.6772943			8.661	2.55843948
24	386	43.0120976	34.9197577	22.0681446	13.3660584	5.6612047	15.6620811	59.7805365			8.661	2.43269012
25	396	59.3581179	29.553904	11.0879782	3.99018578	3.57067628	7.76592583	31.9045563			4.18	3.07405102
26	411	56.8480376	33.386274	9.76568845	3.18417095	3.67181697	8.62927007	31.2898837			4.18	2.76635267
27	441	42.2327405	38.169163	19.5980965	10.5711429	5.48609407	17.5332415	56.534791			53.5	2.30776071
28												
29												

Fig. A-9: Fichier créé par la macrocommande "ConversionFichierCoulter" et regroupant pour une carotte les paramètres granulométriques calculés et la côte correspondante.

4. Macro-commande "1 Carotte-1 Fichier"

Cette macro-commande permet de regrouper dans un seul fichier la totalité des courbes granulométriques mesurées dans une carotte. Elle crée une matrice contenant en horizontal les tamis et en vertical la côte des échantillons. Les intersections contiennent les pourcentages. Les fichiers sources sont ceux fournis par la macro-commande "ConversionFichierCoulter".

Macrocommande "ConversionFichierCoulter"

Entrée/lecture des répertoires/fichiers

Nomme le répertoire de sortir
Nomme le répertoire d'entrée
Se positionne sur le répertoire d'entrée
Crée un matrice contenant le nom des fichiers contenus dans le répertoire entrée
Note le nombre de fichiers à l'intérieur du répertoire entrée
Initialise la variable "test" à 1
Initialise la variable "compteur" à "test"-1 (=0)
Affivbe en bas de l'écran le nombre de fichiers traités et le nombre total de fichiers

```
Répertoire.sortie="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:Sortie:"
Répertoire.entrée="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:Entrée:"
=REPERTOIRE(Répertoire.entrée)
=POSER.NOM("matfichier";FICHIERS())
nbrfichiers=COLONNES(matfichier)
test=1
Compteur=test-1
=MESSAGE(VRAI;"Fichiers traités: "&Compteur&"/"&nbrfichiers)
```

Test existence de fichiers

Vérifie si le répertoire entrée contient des fichiers
Si il n'y en a pas il affiche le message "pas de fichiers....."
Si il y a des fichiers il passe la ligne précédente

```
=SI(ESTERREUR(COLONNES(matfichier)))
=ALERTE("pas de fichiers dans le repertoire indiqué...";2)
=SINON()
```

Création du fichier de sortie pour la carotte

Crée une feuille Excel
Crée une variable portant le nom de la mission
Crée une variable portant le nom du fichier de sortie à partir des éléments entrés plus haut
Se positionne sur le répertoire sortie
Enregistre le fichier de sortie avec le nom crée plus haut
Masque ce fichier

```
=NOUVEAU.DOCUMENT(1)
Mission=ENTRER("Indiquez le nom de la mission et celui de la carotte";2;;;)
Fichiercarotte="Param. granulo "&Mission
=REPERTOIRE(Répertoire.sortie)
=ENREGISTRER.SOUS(Fichiercarotte;1)
=MASQUER()
```

Début de lecture des fichiers source

Se positionne sur le fichier n° "index" du répertoire entrée
Se positionne sur le répertoire entrée
Crée la variable "Fichiersuivant" qui porte le nom du fichier n° "index" du répertoire entrée
Lit la cote de l'échantillon dans le nom du fichier
Lit le nom de la carotte dans le nom du fichier
Ouvre le fichier n° "index" du répertoire entrée
Masque le fichier qui vient d'être ouvert
Active le fichier qui vient d'être ouvert

```
=POUR("Index";1;COLONNES(matfichier))
=REPERTOIRE(Répertoire.entrée)
Fichiersuivant=INDEX(matfichier;1;Index)
Cote=STXT(Fichiersuivant;6;3)
Carotte=STXT(Fichiersuivant;1;4)
=OUVRIR(Fichiersuivant)
=MASQUER()
=ACTIVER(Fichiersuivant)
```

Mise en forme de fichiers

BOUCLE: cherche la chaine de caractères "[#Bindiam]" s'il ne trouve pas il va à la ligne suivante
Descent d'une ligne
Recommence le test de la boucle tant qu'il n'est pas vérifié, sort de la boucle si vérifié
Copie la cellule qui contient "[#Bindiam]" et les 101 du dessous dans la colonne "B"
BOUCLE: cherche la chaine de caractères "[#Binheight]" s'il ne trouve pas il va à la ligne suivante
Descent d'une ligne
Recommence le test de la boucle tant qu'il n'est pas vérifié, sort de la boucle si vérifié

```
=TANT.QUE(CELLULE.ACTIVE()<>"[#Bindiam]")
=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0))
=SUIVANT()
=COPIER(CELLULE.ACTIVE():DECALER(CELLULE.ACTIVE();101;0);!$B$1)
=TANT.QUE(CELLULE.ACTIVE()<>"[#Binheight]")
=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0))
=SUIVANT()
```

Copie la cellule qui contient "[#Binheight]" et les 101 du dessous dans la colonne "C"	=COPIER(CELLULE.ACTIVE():DECALER(CELLULE.ACTIVE();101;0);!$C$1)
Selectionnne la première colonne	=SELECTIONNER("C1")
Supprime la première colonne	=EDITION.SUPPRIMER(4)

Calcule les % volumiques classe à classe

Ecrit dans la première cellule de la colonne "C": (("valeur du #Binheight")/(somme des #Binheigh))*100	=FORMULE("=100*(l(0)c(-1)/somme(l2c2:l102c2))";"l2c3")
Copie la formule de la cellule dans les 100 cellules du dessous	=COPIER(!$C$2;!$C$3:$C$102)
Copie les 101 cellules de la colonne "C" contenant la formule	=COPIER(!$C$2:$C102)
Selectionne la colonne "B"	=SELECTIONNER(!$B$2)
Place les valeurs contenues dans les 101 cellules de la colonne "C" dans la colonne "B"	=COLLAGE.SPECIAL(3)
Ecrit "% Volumique" dans la première cellule de la colonne "B"	=FORMULE("% Volumiques";!$B$1)

Calcule les % volumiques cumulés

Ecrit dans la cellule D102: ("valeur cellule D103 + valeur cellule B102)	=FORMULE("=l(1)c(0)+l(0)c(-2)";"l102c4")
Copie cette formule dans les cellules D101 à D2	=COPIER(!$D$102;!$D$2:$D$101)
Copie des cellules D2 à D102	=COPIER(!$D$2:$D102)
Selectionne la cellule C2	=SELECTIONNER(!$C$2)
Copie la valeur des cellules D2 à D102 dans la colonne "C"	=COLLAGE.SPECIAL(3)
Ecrit "% Cumulés" dans la cellule C1	=FORMULE("% Cumulés";!$C$1)
Selectionne la colonne "D"	=SELECTIONNER("C4")
Supprime la colonne "D"	=EDITION.SUPPRIMER(4)

Ecrit le nom des paramètres et des classes granulométriques

Ecrit "Argiles" dans la cellule E4	=FORMULE("Argiles";!$E$4)
Calcule le pourcentage d'argiles	=FORMULE("=SOMME(L(-2)C(-4):L(49)C(-4))";!$F$4)
Ecrit "Silts" dans la cellule E5	=FORMULE("Silts";!$E$5)
Calcule le pourcentage de Silts	=FORMULE("=SOMME(L(49)C(-4):L(68)C(-4))";!$F$5)
Ecrit "sables" dans la cellule E6	=FORMULE("Sables";!$E$6)
Calcule le pourcentage de sables	=FORMULE("=SOMME(L(68)C(-4):L(96)C(-4))";!$F$6)
Ecrit "Foraminifères" dans la cellule E7	=FORMULE("Foraminifères";!$E$7)
Calcule le pourcentage de foraminifères	=FORMULE("=SOMME(L(73)C(-4):L(95)C(-4))";!$F$7)
Ecrit "Q1" dans la cellule E8	=FORMULE("Q1";!$E$8)
Ecrit "Q2" dans la cellule E9	=FORMULE("Q2";!$E$9)
Ecrit "Q3" dans la cellule E10	=FORMULE("Q3";!$E$10)

Calcule Q1

Se place au début de la colonne "cumulative"	=SELECTIONNER(!$C$2)
Vérifie si la valeur de la cellule est supérieure À 75	=TANT.QUE(CELLULE.ACTIVE()>75)
Si vrai, sélectionne la valeur cellule suivante	=SELECTIONNER("L(1)C(0)")
Revient en début de boucle "TANT.QUE"	=SUIVANT()
Si faux sélectionne la valeur > et la valeur < à 75%	=COPIER("L(-1)C(0):L(0)C(0)")
Colle la sélection précédente dan sla cellule G11	=COLLER(!$G$11)
Sélectionne les valeurs des tamis correspondant aux valeurs de % sélectionnées 2 lignes plus haut	=COPIER("L(-1)C(-2):L(0)C(-2)")
Copie la sélection dans la cellule F11	=COLLER(!$F$11)
Selectionne la cellule F11	=SELECTIONNER(!$F$11)
Calcule Q1 (75%) à partir des valeurs qui l'encadrent et le place dans la cellule E11	=FORMULE("=((L(0)C(1)*(75-L(1)C(2)))+(L(1)C(1)*(L(0)C(2)-75)))/(l(0)C(2)-l(1)C(2))";!$E$11)

Copie la valeur de Q1 dans F8	=FORMULE(!$E$11;!$F$8)
Calcule Q2	
Se place au début de la colonne "cumulative"	=SELECTIONNER(!$C$2)
Vérifie si la valeur de la cellule est supérieure à 50%	=TANT.QUE(CELLULE.ACTIVE()>50)
Si vrai, sélectionne la valeur cellule suivante	=SELECTIONNER("L(1)C(0)")
Revient en début de boucle "TANT.QUE"	=SUIVANT()
Si faux sélectionne la valeur > et la valeur < à 50%	=COPIER("L(-1)C(0):L(0)C(0)")
Colle la sélection précédente dan sla cellule G11	=COLLER(!$G$11)
Sélectionne les valeurs des tamis correspondant aux valeurs de % sélectionnées 2 lignes plus haut	=COPIER("L(-1)C(-2):L(0)C(-2)")
Copie la sélection dans la cellule F11	=COLLER(!$F$11)
Selectionne la cellule F11	=SELECTIONNER(!$F$11)
Calcule Q2 (50%) à partir des valeurs qui l'encadrent et le place dans la cellule E11	=FORMULE("=((L(0)C(1)*(50-L(1)C(2)))+(L(1)C(1)*(L(0)C(2)-50)))/(l(0)C(2)-l(1)C(2))";!$E$11)
Copie la valeur de Q1 dans F9	=FORMULE(!$E$11;!$F$9)
Calcule Q3	
Se place au début de la colonne "cumulative"	=SELECTIONNER(!$C$2)
Vérifie si la valeur de la cellule est supérieure À 25	=TANT.QUE(CELLULE.ACTIVE()>25)
Si vrai, sélectionne la valeur de la cellule suivante	=SELECTIONNER("L(1)C(0)")
Revient en début de boucle "TANT.QUE"	=SUIVANT()
Si faux sélectionne la valeur > et la valeur < à 25%	=COPIER("L(-1)C(0):L(0)C(0)")
Colle la sélection précédente dan sla cellule G11	=COLLER(!$G$11)
Sélectionne les valeurs des tamis correspondant aux valeurs de % sélectionnées 2 lignes plus haut	=COPIER("L(-1)C(-2):L(0)C(-2)")
Copie la sélection dans la cellule F11	=COLLER(!$F$11)
Selectionne la cellule F11	=SELECTIONNER(!$F$11)
Calcule Q2 (50%) à partir des valeurs qui l'encadrent et le place dans la cellule E11	=FORMULE("=((L(0)C(1)*(25-L(1)C(2)))+(L(1)C(1)*(L(0)C(2)-25)))/(l(0)C(2)-l(1)C(2))";!$E$11)
Copie la valeur de Q1 dans F10	=FORMULE(!$E$11;!$F$10)
Sélectionne les cellules E11 À G12	=SELECTIONNER(!$E$11:$G$12)
Efface le contenu des cellules E11 à G12	=EFFACER()
Ecrit "Mode 1", "Mode 2" et "Mode 3"	
Ecrit "Mode 1" dans la cellule E11	=FORMULE("Mode 1";!$E$11)
Ecrit "Mode 2" dans la cellule E12	=FORMULE("Mode 2";!$E$12)
Ecrit "Mode 3" dans la cellule E13	=FORMULE("Mode 3";!$E$13)
Calcule les modes	
Initialise le compteur "Calcmodes" à 1	Calcmodes=1
Se place en début de colonne "B2" sur le cellule "% Volumiques"	=SELECTIONNER(!$B$2)
Vérifie que le contenu de la cellule est un nombre	=TANT.QUE(ESTNUM(CELLULE.ACTIVE()))
(1) Si vrai, vérifie si la valeur de la cellule est strictement supérieure à celle de la suivante	=SI(CELLULE.ACTIVE()>DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0))
(2) Si vrai, vérifie si la valeur de la cellule est supérieure ou égale à la précédente	=SI(CELLULE.ACTIVE()>=DECALER(CELLULE.ACTIVE();-1;0))
(3) Si vrai, vérifie si la valeur de la cellule est différente de zéro	=SI(CELLULE.ACTIVE()<>0)
(4) Si vrai, vérifie si la valeur de la cellule suivante est supérieure à zéro	=SI(DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0)>0)
(5) Si vrai, copie la valeur de la cellule active dans la cellule décalée à la droite de G10 de la valeur du compte	=FORMULE(CELLULE.ACTIVE();DECALER(!G10;Calcmodes;0))
Copie la valeur (= valeur du mode en µm) de la cellule située 2 cellules à gauche de cellule active	=FORMULE(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;-1);DECALER(!F10;Calcmodes;0))
Incrémente de 1 la valeur de compteur	Calcmodes=Calcmodes+1

(5) Si faux, sort de la boucle "SI"	=FIN.SI()
(4) Si faux, sort de la boucle "SI"	=FIN.SI()
(3) Si faux, sort de la boucle "SI"	=FIN.SI()
(2) Si faux, sort de la boucle "SI"	=FIN.SI()
Sélectionne la cellule suivante dans la colonne "différentielle"	=SELECTIONNER("l(1)c(0)")
(1) Si faux, sort de la boucle "TANT.QUE"	=SUIVANT()

Classe les modes en 1, 2 et 3

Sélectionne la zone contenant les modes et les pourcentages correspondants	=SELECTIONNER(!$F$11:DECALER(!$G$11;Calcmodes-2;0))
Trie les modes en fonction de leur pourcentage	=TRIER(1;!$G$11;2)

Mise en forme de fichier carotte

Active le fichier carotte	=ACTIVER(Fichiercarotte)
Vérifie si la cellule A2 est vide	=TANT.QUE(ESTVIDE(!$A$2))
(1) Si vrai, écrit "Profondeur" dans la cellule A2	=FORMULE("Profondeur";!$A$2)
Ecrit "Argiles" dans la cellule B2	=FORMULE("Argiles";!$B$2)
Ecrit "Silts" dans la cellule C2	=FORMULE("Silts";!$C$2)
Ecrit "Sables" dans la cellule D2	=FORMULE("Sables";!$D$2)
Ecrit "Foram" dans la cellule E2	=FORMULE("Foram";!$E$2)
Ecrit "Q1" dans la cellule F2	=FORMULE("Q1";!$F$2)
Ecrit "Q2" dans la cellule G2	=FORMULE("Q2";!$G$2)
Ecrit "Q3" dans la cellule H2	=FORMULE("Q3";!$H$2)
Ecrit "Sorting" dans la cellule I2	=FORMULE("Sorting";!$I$2)
Ecrit "Skewness" dans la cellule j2	=FORMULE("Skewness";!$J$2)
Ecrit "Mode 1" dans la cellule J2	=FORMULE("Mode 1";!$K$2)
Sélectionne les cellules J2 ET K2	=SELECTIONNER(!$K$2:!$L$2)
Centre "Mode 1" sur les cellules J2 ET K2	=POSITION(7;FAUX;3;0)
Ecrit "Mode 2" dans la cellule L2	=FORMULE("Mode 2";!$M$2)
Sélectionne les cellules L2 et M2	=SELECTIONNER(!$M$2:!$N$2)
Centre "Mode 2" sur les cellules L2 et M2	=POSITION(7;FAUX;3;0)
Ecrit "Mode 3" dans la cellule N2	=FORMULE("Mode 3";!$O$2)
Sélectionne les cellules N2 et O2	=SELECTIONNER(!$O$2:!$P$2)
Centre "Mode 3" sur les cellules N2 et O2	=POSITION(7;FAUX;3;0)
Ecrit "≤4.181 µm" dans la cellule B3	=FORMULE("≤10.39 µm";!$B$3)
Ecrit ">4.181 µm et ≥64.20 µm" dans la cellule C3	=FORMULE("10.39 µm< ≤64.20 µm";!$C$3)
Ecrit ">64.20 µm" dans la cellule D3	=FORMULE("64.20 µm >";!$D$3)
Ecrit "≥121.4 µm" dans la cellule E3	=FORMULE("≥ 121.4 µm";!$E$3)
Ecrit "µm" dans la cellule J3	=FORMULE("µm";!$K3)
Ecrit "%" dans la cellule K3	=FORMULE("%";!$L3)
Ecrit "µm" dans la cellule L3	=FORMULE("µm";!$M3)
Ecrit "%" dans la cellule M3	=FORMULE("%";!$N3)
Ecrit "µm" dans la cellule N3	=FORMULE("µm";!$O3)
Ecrit "%" dans la cellule O3	=FORMULE("%";!$P3)
Selectionne la celluel B4	=SELECTIONNER(!$B$4)
(1) Si faux, sort de la boucle "TANT.QUE"	=SUIVANT()

Transfère les paramètres

Active le fichier échantillon	=ACTIVER(Fichiersuivant)
Copie les cellules F4 à F10 (de la valeur %Argiles à la valeur Q3)	=COPIER(!$F$4:$F$10)
Active le fichier carotte	=ACTIVER(Fichiercarotte)
Colle la sélection précédente en la transposant (copiée en vertical et collée en horizontal)	=COLLAGE.SPECIAL(3;1;FAUX;VRAI)
Active le fichier échantillon	=ACTIVER(Fichiersuivant)
Copie les cellules F11 à G11 (valeur du mode 1 et son %)	=COPIER(!$F$11:$G$11)
Active le fichier carotte	=ACTIVER(Fichiercarotte)
Colle la sélection	=COLLER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;9))
Active le fichier échantillon	=ACTIVER(Fichiersuivant)
Copie les cellules F12 à G12 (valeur du mode 2 et son %)	=COPIER(!$F$12:$G$12)
Active le fichier carotte	=ACTIVER(Fichiercarotte)
Colle la sélection	=COLLER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;11))
Active le fichier échantillon	=ACTIVER(Fichiersuivant)
Copie les cellules F13 à G13 (valeur du mode 3 et son %)	=COPIER(!$F$13:$G$13)
Active le fichier carotte	=ACTIVER(Fichiercarotte)
Colle la sélection	=COLLER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;13))
Ecrit la cote de l'échantillon dans la celule en début de ligne	=FORMULE(Carotte&"-"&Cote;DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;-1))
Sélectionne le cellule du dessous	=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0))
Enregistre le fichier carotte	=ENREGISTRER()

Sauvegarde du fichier source

Active le fichier échantillon	=ACTIVER(Fichiersuivant)
Affiche le fichier suivant	=AFFICHER()
fabrique un nouveau nom contenant la mission, la carotte et la cote pour le fichier échantillon mis en forme	Nom.sortie=Mission&Carotte&"-"&Cote
Se positionne sur le répertoire sortie	=REPERTOIRE(Répertoire.sortie)
Enregistre le fichier échantillon mis en forme sous son nouveau nom	=ENREGISTRER.SOUS(Nom.sortie;1)
Ferme ce nouveau fichier	=FERMER(1)

Fin du programme

Ecrit le nombre de fichier traités sur le nombre de fichiers total	=MESSAGE(VRAI;"Fichiers traités: "&test&"/"&nbrfichiers)
incrément la variable "test" de 1	test=test+1
Fin de la boucle, passe au fichier écvhantillon suivant	=SUIVANT()
Fin de la boucle (si il n'y a plus de fichier à traiter	=FIN.SI()
Fait 4 bips!!	=BIP(BIP(BIP(BIP())))
Fin de la macro	=RETOUR()

Macrocommande "CalcMoyTotArSiSa"

Entrée/lecture des répertoires/fichiers

Nomme le répertoire de sortir	Répertoire.entrée="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:Entrée:"
Nomme le répertoire d'entrée	Répertoire.sortie="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:Sortie:"
Se positionne sur le répertoire d'entrée	=REPERTOIRE(Répertoire.entrée)
Crée un matrice contenant le nom des fichiers contenus dans le répertoire entrée	=POSER.NOM("matfichier";FICHIERS())
Note le nombre de fichiers à l'intérieur du répertoire entrée	nbrfichiers=COLONNES(matfichier)
Initialise la variable "test" à 1	test=1
Initialise la variable "compteur" à "test"-1 (=0)	Compteur=test-1
Affivhe en bas de l'écran le nombre de fichiers traités et le nombre total de fichiers	=MESSAGE(VRAI;"Fichiers traités: "&Compteur&"/"&nbrfichiers)

Test existence de fichiers

Vérifie si le répertoire entrée contient des fichiers	=SI(ESTERREUR(COLONNES(matfichier)))
Si il n'y en a pas il affiche le message "pas de fichiers....."	=ALERTE("pas de fichier dans le repertoire indiqué...";2)
Si il y a des fichiers il passe la ligne précédente	=SINON()

Création du fichier de sortie pour la carotte

Crée une feuille Excel	=NOUVEAU.DOCUMENT(1)
Crée une variable portant le nom de la mission	Nomcarotte=ENTRER("Nom de la carotte:";2;;;)
Crée une variable portant le nom du fichier de sortie à partir des éléments entrés plus haut	Fichiercarotte="Moyennes "&Nomcarotte
Se positionne sur le répertoire sortie	=REPERTOIRE(Répertoire.sortie)
Enregistre le fichier de sortie avec le nom crée plus haut	=ENREGISTRER.SOUS(Fichiercarotte;1)
Masque ce fichier	=MASQUER()

Début de lecture des fichiers source

Se positionne sur le fichier n° "index" du répertoire entrée	=POUR("Index";1;COLONNES(matfichier))
Se positionne sur le répertoire entrée	=REPERTOIRE(Répertoire.entrée)
Crée la variable "Fichiersuivant" qui porte le nom du fichier n° "index" du répertoire entrée	Fichiersuivant=INDEX(matfichier;1;Index)
Lit la cote de l'échantillon dans le nom du fichier	Cote=STXT(Fichiersuivant;5;3)
Lit le nom de la carotte dans le nom du fichier	carotte=STXT(Fichiersuivant;1;4)
Ouvre le fichier n° "index" du répertoire entrée	=OUVRIR(Fichiersuivant)
Masque le fichier qui vient d'être ouvert	=MASQUER()
Active le fichier qui vient d'être ouvert	=ACTIVER(Fichiersuivant)

Supprime les colonnes inutiles

Selectionne les colonnes "B" à "G"	=SELECTIONNER(!$B:$G)
Les supprime	=EDITION.SUPPRIMER()
Selectionne les colonnes "E" à "G"	=SELECTIONNER(!$E:$G)
Les supprime	=EDITION.SUPPRIMER()

Ecrit le nom des paramètres et des classes granulométriques

Ecrit "Diam.*%" dans la cellule K1	=FORMULE("Diam.*%";!$K$1)
Ecrit le calcul nécessaire pour obtenir ce produit dans la cellule K2	=FORMULE("=L(0)C(-10)*I(0)c(-9)";!$K$2)
Copie la cellule K2	=COPIER(!$K$2)
La colle dans les cellules K2 à K102	=COLLER(!$K$2:$K$102)

Ecrit "Moyenne Totale dans la cellule K103"
Ecrit "Moyenne Argiles dans la cellule L103"
Ecrit "Moyenne Silts dans la cellule M103"
Ecrit "Moyenne Sables dans la cellule N103"
Ecrit le calcul de la moyenne totale dans la cellule K104
Ecrit le calcul de la moyenne des argiles dans la cellule L104
Ecrit le calcul de la moyenne des Silts dans la cellule M104
Ecrit le calcul de la moyenne des sables dans la cellule N104

```
=FORMULE("Moyenne Totale";!$K$103)
=FORMULE("Moyenne Argiles";!$L$103)
=FORMULE("Moyenne Silts";!$M$103)
=FORMULE("Moyenne Sables";!$N$103)
=FORMULE("=somme(L(-102)C(0):L(-2)C(0))/somme(l(-102)c(-9):l(-2)c(-9))";!$K$104)
=FORMULE("=somme(L(-102)C(-1):L(-51)C(-1))/somme(l(-102)c(-10):l(-51)c(-10))";!$L$104)
=FORMULE("=somme(L(-50)C(-2):L(-31)C(-2))/somme(l(-50)c(-11):l(-31)c(-11))";!$M$104)
=FORMULE("=somme(L(-30)C(-3):L(-2)C(-3))/somme(l(-30)c(-12):l(-2)c(-12))";!$N$104)
```

Mise en forme de fichier carotte

Active le fichier carotte
Vérifie si la cellule A2 est vide
(1) Si vrai, écrit "Profondeur" dans la cellule A2
Ecrit "Moyenne Totale" dans la cellule B2
Ecrit "Moyenne Argiles" dans la cellule C2
Ecrit "Moyenne Silts" dans la cellule D2
Ecrit "Moyenne Sables" dans la cellule E2
Sélectionne la cellule B3
Fin de la boucle "Tant.Que"

```
=ACTIVER(Fichiercarotte)
=TANT.QUE(ESTVIDE(!$A$2))
=FORMULE("Profondeur";!$A$2)
=FORMULE("Moyenne Totale";!$B$2)
=FORMULE("Moyenne Argiles";!$C$2)
=FORMULE("Moyenne Silts";!$D$2)
=FORMULE("Moyenne Sables";!$E$2)
=SELECTIONNER(!$B$3)
=SUIVANT()
```

Transfère les paramètres

Active le fichier traité
Copie les cellules K104 à N104
Active le fichier qui regroupe les moyennes pour la carotte
Colle le résultat du collage précédant en le transposant
Ecrit la cote de l'échantillon correspondant, juste sur la gauche
Sélectionne la cellule d'en dessous
Enregistre le fichier

```
=ACTIVER(Fichiersuivant)
=COPIER(!$K$104:!$N$104)
=ACTIVER(Fichiercarotte)
=COLLAGE.SPECIAL(3;1)
=FORMULE(Cote;DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;-1))
=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0))
=ENREGISTRER()
```

Sauvegarde du fichier source

Affiche le fichier traité
L'active
L'enreristre sous un nom contenant le nom de la carotte, la cote et l'extension "-C"
Ferme sans poser de question

```
=AFFICHER(Fichiersuivant)
=ACTIVER(Fichiersuivant)
=ENREGISTRER.SOUS(carotte&Cote&"-C")
=FERMER(FAUX)
```

Fin du programme

Ecrit le nombre de fichier traités sur le nombre de fichiers total
incrément la variable "test" de 1
Fin de la boucle, passe au fichier écvhantillon suivant
Fin de la boucle (si il n'y a plus de fichier à traiter
Affiche le fichier qui regroupe les paramètres par carotte
Fait 4 bips!!
Fin de la macro

```
=MESSAGE(VRAI;"Fichiers traités: "&test&"/"&nbrfichiers)
test=test+1
=SUIVANT()
=FIN.SI()
=AFFICHER(Fichiercarotte)
=BIP(BIP(BIP(BIP())))
=RETOUR()
```

Macrocommande "CalcCourbCarb"

Saisie du nom de la mission traitée	
	Mission=ENTRER("Nom de la mission:";2;;;)
Entrée/lecture des répertoires/fichiers	
Nomme le répertoire d'entrée des Fichiers "sédiment total"	Répertoire.entréeT="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:GEOFKS15-T"
Nomme le répertoire d'entrée des Fichiers "sédiment résiduel"	Répertoire.entréeD="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:GEOFKS15-D"
Nomme le répertoire de sortie	Répertoire.sortie="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:GEOFKS15-TDC"
Nomme le répertoire d'entrée du fichier des teneurs en carbonates	Répertoire.carbonates="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:GEOFKS15-Carbonates"
Se positionne sur le répertoire d'entrée des fichiers "sédiment total"	=REPERTOIRE(Répertoire.entréeT)
Crée un matrice contenant le nom des fichiers contenus dans ce répertoire	=POSER.NOM("matfichierT";FICHIERS())
Se positionne sur le répertoire d'entrée des Fichier "résiduel"	=REPERTOIRE(Répertoire.entréeD)
Crée un matrice contenant le nom des fichiers contenus dans ce répertoire	=POSER.NOM("matfichierD";FICHIERS())
Se positionne sur le répertoire de sortie	=REPERTOIRE(Répertoire.carbonates)
Crée un matrice contenant le nom des fichiers contenus dans ce répertoire	Fichiercarbonates=FICHIERS()
Ouvre le fichier des teneurs en carbonates	=OUVRIR(Fichiercarbonates)
Sélectionne la cellule A1	=SELECTIONNER(!$A$1)
Masque ce fichier	=MASQUER()
Note le nombre de fichiers à l'intérieur du répertoire d'entrée des fichiers "sédiment total"	nbrfichiersT=COLONNES(matfichierT)
Initialise la variable "test" à 1	test=1
Initialise la variable "compteur" à "test"-1 (=0)	Compteur=test-1
Initialise la variable "compteurcotes" à "-1"	Compteurcotes=-1
Affivhe en bas de l'écran le nombre de fichiers traités et le nombre total de fichiers	=MESSAGE(VRAI;"Fichiers traités: "&Compteur&"/"&nbrfichiersT)
Test existence de fichiers	
Vérifie si le répertoire entrée contient des fichiers	=SI(ESTERREUR(COLONNES(matfichierT)))
Si il n'y en a pas il affiche le message "pas de fichiers....."	=ALERTE("pas de fichier dans les repertoires indiqués...";2)
Si il y a des fichiers il passe la ligne précédente	=SINON()
Création du fichier de sortie pour la carotte	
Crée une feuille Excel	=NOUVEAU.DOCUMENT(1)
Crée une variable portant le nom de la carotte	Nomcarotte=STXT(Fichiercarbonates;5;4)
Compose le nom du fichier carotte pour le param. granulo des carbonates	Fichierparamgranulo="Para. granu "&Mission&" "&Nomcarotte&" C"
Se positionne sur le répertoire sortie	=REPERTOIRE(Répertoire.sortie)
Enregistre le fichier de sortie avec le nom crée plus haut	=ENREGISTRER.SOUS(Fichierparamgranulo;1)
Masque ce fichier	=MASQUER()
Début de lecture des fichiers source	
Se positionne sur le fichier n° "index" du répertoire des fichiers "sédiment total"	=POUR("Index";1;COLONNES(matfichierT))
Se positionne sur le répertoire entrée des fichiers "sédiment total"	=REPERTOIRE(Répertoire.entréeT)
Crée la variable "Fichiersuivant" qui porte le nom du fichier n° "index" du répertoire entrée des fichiers "sédi	FichiersuivantT=INDEX(matfichierT;1;Index)
Lit la cote de l'échantillon dans le nom de ce fichier	CoteT=CNUM(STXT(FichiersuivantT;10;3))
Lit le nom du fichier de sortie dans ce fichier	Nomfichiersortie=STXT(FichiersuivantT;1;12)

Ouvre le fichier n° "index" du répertoire entrée des fichiers "résiduel"
Lit la cote de l'échantillon dans le nom de ce fichier
Active le fichier des carbonates
incrémente le "compteurcote" de 1
Lit la cote correspondant à la teneur en carbonates considérée
teste si la cote du "sédiment total" et du sédiment résiduel sont différents
S'il le sont affiche un message d'alerte
Si non
teste si la cote du "sédiment total" et celle de la "teneur en carbonates" sont différents
S'il le sont affiche un message d'alerte
Si non
Ouvre le fichier "sédiment total"
Le masque
Se positionne su le répertoire entrée des fichiers "résiduel"
Ouvre le fichier "résiduel"
Le masque

```
FichiersuivantD=INDEX(matfichierD;1;Index)
CoteD=CNUM(STXT(FichiersuivantD;10;3))
=ACTIVER(Fichiercarbonates)
Compteurcotes=Compteurcotes+1
Cotecarbonate=LIRE.CELLULE(5;DECALER(CELLULE.ACTIVE();Compteurcotes;0))
=SI(CoteT<>CoteD)
=ALERTE("Les cotes rencontrées ne correspondent pas!!!";2)
=SINON()
=SI(CoteT<>Cotecarbonate)
=ALERTE("Les cotes rencontrées ne correspondent pas!!!";2)
=SINON()
=OUVRIR(FichiersuivantT)
=MASQUER()
=REPERTOIRE(Répertoire.entréeD)
=OUVRIR(FichiersuivantD)
=MASQUER()
```

Création du fichier TDC

Crée une feuille Excel
Se positionne sur le répertoire de sortie
Compose le nom du fichier sortie
L'enregistre sous ce nom
Le masque

```
=NOUVEAU.DOCUMENT(1)
=REPERTOIRE(Répertoire.sortie)
FichierTDC=Nomfichiersortie&"-TDC"
=ENREGISTRER.SOUS(FichierTDC;1)
=MASQUER()
```

Transfert des données

Active la fichier "sédiment total"
Copie des cellules A1 à C102
Active le fichier sortie
Colle la sélection dans la cellule A1
Active le fichier résiduel
Copie des cellules B1 à C102
Active le fichier sortie
Colle la sélection dans la cellule E1

```
=ACTIVER(FichiersuivantT)
=COPIER(!$A$1:!$C$102)
=ACTIVER(FichierTDC)
=COLLER(!$A$1)
=ACTIVER(FichiersuivantD)
=COPIER(!$B$1:!$C$102)
=ACTIVER(FichierTDC)
=COLLER(!$E$1)
```

Calcule les % volumiques des carbonates

Active le fichier des teneurs en carbonates
Lit la valeur de la teneur en carbonate du niveau traité
Copie des cellules C2 à C102
Active le fichier sortie
Colle la sélection dans la cellule H2
Défini un nom (Valeurcarbonate) dont la valeur est la variable "Valeurcarbonate"
Sélectionne la cellule A1
Calcule un pourcentage granulométrique "intermédiaire" pour les carbonates
Copie ce calcul pour les autres tamis
Ramène les valeurs calculées à 100%
Copie la cellule *J2* et la colle de *J3* à *J102*

```
=ACTIVER(Fichiercarbonates)
Valeurcarbonate=LIRE.CELLULE(5;DECALER(CELLULE.ACTIVE();Compteurcotes;1))
=COPIER(!$C$2:$C$102)
=ACTIVER(FichierTDC)
=COLLER(!$H$2)
=DEFINIR.NOM("Valeurcarbonate";Valeurcarbonate)
=SELECTIONNER(!$A$1)
=FORMULE("=l(0)c(-7)-((1-((l(0)c(-1)*((1-Valeurcarbonate)/Valeurcarbonate))+1)^-1)*l(0)c(-4))";"l2c9")
=COPIER(!$I$2;!$I$3:$I$102)
=FORMULE("=(l(0)c(-1)/somme(l2c9:l102c9))*100";"l2c10")
=COPIER(!$J$2;!$J$3:$J$102)
```

Macro-commande "CalcCourbCarb "

Sélectionne la cellule I2	=SELECTIONNER(!$I$2)
Teste si la cellule considérée contient un "nombre"	=TANT.QUE(ESTNUM(CELLULE.ACTIVE()))
Si oui, vérifie s'il est <0	=SI(CELLULE.ACTIVE()<0)
Si oui , vérifie si après être *100 il est >-1	=SI((CELLULE.ACTIVE()*100)>-1)
Si oui remplace cette valeur par "0"	=FORMULE("0";CELLULE.ACTIVE())
Fin boucle "si"	=FIN.SI()
Fin boucle "si"	=FIN.SI()
Sélectionne la cellule du dessous	=SELECTIONNER("l(1)c(0)")
Fin boucle "Tant.Que"	=SUIVANT()
Sélectionne les colonne "9" et "10"	=SELECTIONNER("C9:C10")
Les copie	=COPIER()
Les colles sur elles-même en ne conservant que la valeur des cellules	=COLLAGE.SPECIAL(3)
Sélectionne les cellules "8" et "9"	=SELECTIONNER("C8:C9")
Les supprime	=EDITION.SUPPRIMER(1)

Calcule les % cumulés des carbonates (cf. Macrocommande "ConversionFichierCoulter")

```
=FORMULE("=l(1)c(0)+l(0)c(-1)";"l102c9")
=COPIER(!$I$102;!$I$2:$I$101)
=SELECTIONNER("C9")
=COPIER()
=COLLAGE.SPECIAL(3)
=FORMULE("Classes";!$A$1)
=FORMULE("% Volumiques T";!$B$1)
=FORMULE("% Cumulés T";!$C$1)
=FORMULE("% Volumiques D";!$E$1)
=FORMULE("% Cumulés D";!$F$1)
=FORMULE("% Volumiques C";!$H$1)
=FORMULE("% Cumulés C";!$I$1)
```

Enregistre le fichier TDC

Affiche le fichier sortie	=AFFICHER(FichierTDC)
L'enregistre	=ENREGISTRER()
Le masque	=MASQUER()

Transforme le fichier TDC en fichier C

Active le fichier sortie	=ACTIVER(FichierTDC)
Sélectionne les colonnes "2" à "7"	=SELECTIONNER("C2:C7")
Les supprime	=EDITION.SUPPRIMER()
Compose le nom du fichier de la courbe granulométrique des carbonates	GranuloC=Nomfichiersortie&"C"
L'enregistre sous ce nom	=ENREGISTRER.SOUS(GranuloC)

Ecrit le nom des paramètres et des classes granulométriques

Ecrit "Argiles" dans la cellule E4	=FORMULE("Argiles";!$E$4)
Calcule le pourcentage d'argiles (≤ 10.39 µm)	=FORMULE("=SOMME(L(-2)C(-4):L(49)C(-4))";!$F$4)
Ecrit "Silts" dans la cellule E5	=FORMULE("Silts";!$E$5)
Calcule le pourcentage de Silts (4.18 < silts ≤ 64.20µm)	=FORMULE("=SOMME(L(49)C(-4):L(68)C(-4))";!$F$5)

Macro-commande "CalcCourbCarb "

Ecrit "sables" dans la cellule E6
Calcule le pourcentage de sables (> 64.20 µm)
Ecrit "Foraminifères" dans la cellule E7
Calcule le pourcentage de foraminifères
Ecrit "Q1" dans la cellule E8
Ecrit "Q2" dans la cellule E9
Ecrit "Q3" dans la cellule E10

```
=FORMULE("Sables";!$E$6)
=FORMULE("=SOMME(L(68)C(-4):L(96)C(-4))";!$F$6)
=FORMULE("Foraminifères";!$E$7)
=FORMULE("=SOMME(L(73)C(-4):L(95)C(-4))";!$F$7)
=FORMULE("Q1";!$E$8)
=FORMULE("Q2";!$E$9)
=FORMULE("Q3";!$E$10)
```

Calcule Q1 (cf. Macrocommande "ConversionFichierCoulter")

```
=SELECTIONNER(!$C$2)
=TANT.QUE(CELLULE.ACTIVE()>75)
=SELECTIONNER("L(1)C(0)")
=SUIVANT()
=COPIER("L(-1)C(0):L(0)C(0)")
=COLLER(!$G$11)
=COPIER("L(-1)C(-2):L(0)C(-2)")
=COLLER(!$F$11)
=SELECTIONNER(!$F$11)
=FORMULE("=((L(0)C(1)*(75-L(1)C(2)))+(L(1)C(1)*(L(0)C(2)-75)))/(l(0)C(2)-l(1)C(2))";!$E$11)
=FORMULE(!$E$11;!$F$8)
```

Calcule Q2 (cf. Macrocommande "ConversionFichierCoulter")

```
=SELECTIONNER(!$C$2)
=TANT.QUE(CELLULE.ACTIVE()>50)
=SELECTIONNER("L(1)C(0)")
=SUIVANT()
=COPIER("L(-1)C(0):L(0)C(0)")
=COLLER(!$G$11)
=COPIER("L(-1)C(-2):L(0)C(-2)")
=COLLER(!$F$11)
=SELECTIONNER(!$F$11)
=FORMULE("=((L(0)C(1)*(50-L(1)C(2)))+(L(1)C(1)*(L(0)C(2)-50)))/(l(0)C(2)-l(1)C(2))";!$E$11)
=FORMULE(!$E$11;!$F$9)
```

Calcule Q3 (cf. Macrocommande "ConversionFichierCoulter")

```
=SELECTIONNER(!$C$2)
=TANT.QUE(CELLULE.ACTIVE()>25)
=SELECTIONNER("L(1)C(0)")
=SUIVANT()
=COPIER("L(-1)C(0):L(0)C(0)")
=COLLER(!$G$11)
=COPIER("L(-1)C(-2):L(0)C(-2)")
=COLLER(!$F$11)
=SELECTIONNER(!$F$11)
=FORMULE("=((L(0)C(1)*(25-L(1)C(2)))+(L(1)C(1)*(L(0)C(2)-25)))/(l(0)C(2)-l(1)C(2))";!$E$11)
=FORMULE(!$E$11;!$F$10)
```

Macro-commande "CalcCourbCarb "

	=SELECTIONNER(!$E$11:$G$12)
	=EFFACER()
Ecrit "Mode 1", "Mode 2" et "Mode 3"	
Ecrit "Mode 1" dans la cellule M11	=FORMULE("Mode 1";!$E$11)
Ecrit "Mode 2" dans la cellule M12	=FORMULE("Mode 2";!$E$12)
Ecrit "Mode 3" dans la cellule M13	=FORMULE("Mode 3";!$E$13)
Calcule les modes	
Initialise compteur à 1	Calcmodes=1
Se place en début de colonne "différentielle"	=SELECTIONNER(!$B$2)
Vérifie que le contenu de la cellule est un nombre	=TANT.QUE(ESTNUM(CELLULE.ACTIVE()))
(1) Si vrai, vérifie si la valeur de la cellule est strictement supérieure à celle de la suivante	=SI(CELLULE.ACTIVE()>DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0))
(2) Si vrai, vérifie si la valeur de la cellule est supérieure ou égale à la précédente	=SI(CELLULE.ACTIVE()>=DECALER(CELLULE.ACTIVE();-1;0))
(3) Si vrai, vérifie si la valeur de la cellule est différente de zéro	=SI(CELLULE.ACTIVE()<>0)
(4) Si vrai, vérifie si la valeur de la cellule suivante est supérieure à zéro	=SI(DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0)>0)
(5) Si vrai, copie la valeur de la cellule active dans la cellule décalée à la droite de O10 de la valeur de compte	=FORMULE(CELLULE.ACTIVE();DECALER(!G10;Calcmodes;0))
Copie la valeur (= valeur du mode en µm) de la cellule située 2 cellules à gauche de cellule active	=FORMULE(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;-1);DECALER(!F10;Calcmodes;0))
Incrémente de 1 la valeur de compteur	Calcmodes=Calcmodes+1
(5) Si faux, sort de la boucle "SI"	=FIN.SI()
(4) Si faux, sort de la boucle "SI"	=FIN.SI()
(3) Si faux, sort de la boucle "SI"	=FIN.SI()
(2) Si faux, sort de la boucle "SI"	=FIN.SI()
Sélectionne la cellule suivante dans la colonne "différentielle"	=SELECTIONNER("l(1)c(0)")
(1) Si faux, sort de la boucle "TANT.QUE"	=SUIVANT()
Classe les modes en 1, 2 et 3	
Sélectionne la zone contenant les modes et les pourcentages correspondants	=SELECTIONNER(!$F$11:DECALER(!$G$11;Calcmodes-2;0))
Trie les modes en fonction de leur pourcentage	=TRIER(1;!$G$11;2)
Mise en forme de fichier carotte	
Active le fichier carotte	=ACTIVER(Fichierparamgranulo)
Vérifie si la cellule A2 est vide	=TANT.QUE(ESTVIDE(!$A$2))
(1) Si vrai, écrit "Profondeur" dans la cellule A2	=FORMULE("Profondeur";!$A$2)
Ecrit "Argiles" dans la cellule B2	=FORMULE("Argiles";!$B$2)
Ecrit "Silts" dans la cellule C2	=FORMULE("Silts";!$C$2)
Ecrit "Sables" dans la cellule D2	=FORMULE("Sables";!$D$2)
Ecrit "Foram" dans la cellule E2	=FORMULE("Foram";!$E$2)
Ecrit "Q1" dans la cellule F2	=FORMULE("Q1";!$F$2)
Ecrit "Q2" dans la cellule G2	=FORMULE("Q2";!$G$2)
Ecrit "Q3" dans la cellule H2	=FORMULE("Q3";!$H$2)
Ecrit "Sorting" dans la cellule I2	=FORMULE("Sorting";!$I$2)
Ecrit "Skewness" dans la cellule j2	=FORMULE("Skewness";!$J$2)
Ecrit "Mode 1" dans la cellule J2	=FORMULE("Mode 1";!$K$2)
Sélectionne les cellules J2 ET K2	=SELECTIONNER(!$K$2:!$L$2)

Macro-commande "CalcCourbCarb"

Centre "Mode 1" sur les cellules J2 ET K2
Ecrit "Mode 2" dans la cellule L2
Sélectionne les cellules L2 et M2
Centre "Mode 2" sur les cellules L2 et M2
Ecrit "Mode 3" dans la cellule N2
Sélectionne les cellules N2 et O2
Centre "Mode 3" sur les cellules N2 et O2
Ecrit "≤4.181 µm" dans la cellule B3
Ecrit ">4.181 µm et ≥64.20 µm" dans la cellule C3
Ecrit ">64.20 µm" dans la cellule D3
Ecrit "≥121.4 µm" dans la cellule E3
Ecrit "µm" dans la cellule J3
Ecrit "%" dans la cellule K3
Ecrit "µm" dans la cellule L3
Ecrit "%" dans la cellule M3
Ecrit "µm" dans la cellule N3
Ecrit "%" dans la cellule O3
Sélectionne la cellule B4
(1) Si faux, sort de la boucle "TANT.QUE"

```
=POSITION(7;FAUX;3;0)
=FORMULE("Mode 2";!$M$2)
=SELECTIONNER(!$M$2:!$N$2)
=POSITION(7;FAUX;3;0)
=FORMULE("Mode 3";!$O$2)
=SELECTIONNER(!$O$2:!$P$2)
=POSITION(7;FAUX;3;0)
=FORMULE("≤10.39 µm";!$B$3)
=FORMULE("10.39 µm< ≤64.20 µm";!$C$3)
=FORMULE("64.20 µm >";!$D$3)
=FORMULE("≥ 121.4 µm";!$E$3)
=FORMULE("µm";!$K3)
=FORMULE("%";!$L3)
=FORMULE("µm";!$M3)
=FORMULE("%";!$N3)
=FORMULE("µm";!$O3)
=FORMULE("%";!$P3)
=SELECTIONNER(!$B$4)
=SUIVANT()
```

Transfère les paramètres

Active le fichier granulométrie des carbonates
Copie des cellules F4 à F10
Active le fichier des paramètres granulométriques des carbonates
Colle la sélection en la transposant
Active le fichier granulométrie des carbonates
Copie des cellules F11 à G11
Active le fichier des paramètres granulométriques des carbonates
Colle la sélection 9 colonnes à droite
Active le fichier granulométrie des carbonates
Copie des cellules F12 à G12
Active le fichier des paramètres granulométriques des carbonates
Colle la sélection 11 colonne à droite
Active le fichier granulométrie des carbonates
Copie des cellules F13 à G13
Active le fichier des paramètres granulométrique des carbonates
Colle la sélection 13 colonnes à droite
Ecrit la cote du niveau 1 colonne à gauche
Sélectionne la cellule du dessous
Enrigistre le fichier des paramètres granulométriques des carbonates

```
=ACTIVER(GranuloC)
=COPIER(!$F$4:$F$10)
=ACTIVER(Fichierparamgranulo)
=COLLAGE.SPECIAL(3;1;FAUX;VRAI)
=ACTIVER(GranuloC)
=COPIER(!$F$11:$G$11)
=ACTIVER(Fichierparamgranulo)
=COLLER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;9))
=ACTIVER(GranuloC)
=COPIER(!$F$12:$G$12)
=ACTIVER(Fichierparamgranulo)
=COLLER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;11))
=ACTIVER(GranuloC)
=COPIER(!$F$13:$G$13)
=ACTIVER(Fichierparamgranulo)
=COLLER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;13))
=FORMULE(CoteT;DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;-1))
=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;0))
=ENREGISTRER()
```

Ferme les fichiers

Affiche le fichier granulométrie des carbonates
L'active
L'enregistre
Le ferme

```
=AFFICHER(GranuloC)
=ACTIVER(GranuloC)
=ENREGISTRER()
=FERMER()
```

Affiche le fichier "résiduel"	=AFFICHER(FichiersuivantD)
L'active	=ACTIVER(FichiersuivantD)
L'enregistre	=ENREGISTRER()
Le ferme	=FERMER()
Affiche le fichier "sédiment total"	=AFFICHER(FichiersuivantT)
L'active	=ACTIVER(FichiersuivantT)
L'enregistre	=ENREGISTRER()
Le ferme	=FERMER()

Fin du programme

Ecrit le nombre de fichier traités sur le nombre de fichiers total	=MESSAGE(VRAI;"Fichiers traités: "&test&"/"&nbrfichiersT)
incrément la variable "test" de 1	test=test+1
Fin de la boucle "si"	=FIN.SI()
Fin de la boucle "si"	=FIN.SI()
Fin de la boucle "Tant.Que" (si tous les fichiers ont été traités)	=SUIVANT()
Fin de la boucle "si"	=FIN.SI()
Affiche le fichier des paramètres granulométriques des carbonates	=AFFICHER(Fichierparamgranulo)
L'active	=ACTIVER(Fichierparamgranulo)
L'enregistre	=ENREGISTRER()
Le ferme	=FERMER()
Affiche le fichier des teneurs en carbonates	=AFFICHER(Fichiercarbonates)
L'enregistre en ajoutant l'extension "-FIN"	=ENREGISTRER.SOUS(Fichiercarbonates&"-FIN")
Fait 4 bips!!	=BIP(BIP(BIP(BIP(BIP()))))
Fin de la macro	=RETOUR()

Macrocommande "1 Carotte-1 Fichier"

Entrée/lecture des répertoires/fichiers

Nomme le répertoire de sortir
Nomme le répertoire d'entrée
Se positionne sur le répertoire d'entrée
Crée un matrice contenant le nom des fichiers contenus dans le répertoire entrée
Note le nombre de fichiers à l'intérieur du répertoire entrée
Initialise la variable "test" à 1
Initialise la variable "compteur" à "test"-1 (=0)
Affivhe en bas de l'écran le nombre de fichiers traités et le nombre total de fichiers

```
Répertoire.sortie="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:Sortie:"
Répertoire.entrée="Storegga:Utilisateurs:Bernard:Granulométrie:Entrée:"
=REPERTOIRE(Répertoire.entrée)
=POSER.NOM("matfichier";FICHIERS())
nbrfichiers=COLONNES(matfichier)
test=1
Compteur=test-1
=MESSAGE(VRAI;"Fichiers traités: "&Compteur&"/"&nbrfichiers)
```

Test existence de fichiers

Vérifie si le répertoire entrée contient des fichiers
Si il n'y en a pas il affiche le message "pas de fichiers....."
Si il y a des fichiers il passe la ligne précédente

```
=SI(ESTERREUR(COLONNES(matfichier)))
=ALERTE("pas de fichier dans le repertoire indiqué...";2)
=SINON()
```

Création du fichier de sortie pour la carotte

Crée une feuille Excel
Crée une variable portant le nom de la mission
Crée une variable portant le nom du fichier de sortie à partir des éléments entrés plus haut
Se positionne sur le répertoire sortie
Enregistre le fichier de sortie avec le nom créé plus haut
Masque ce fichier

```
=NOUVEAU.DOCUMENT(1)
Mission=ENTRER("Indiquez le nom de la mission et celui de la carotte";2;;;)
Fichiercarotte=Mission
=REPERTOIRE(Répertoire.sortie)
=ENREGISTRER.SOUS(Fichiercarotte;1)
MASQUER()
```

Début de lecture des fichiers source

Se positionne sur le fichier n° "index" du répertoire entrée
Se positionne sur le répertoire entrée
Crée la variable "Fichiersuivant" qui porte le nom du fichier n° "index" du répertoire entrée
Lit la cote de l'échantillon dans le nom du fichier
Ouvre le fichier n° "index" du répertoire entrée
Masque le fichier qui vient d'être ouvert

```
=POUR("Index";1;COLONNES(matfichier))
=REPERTOIRE(Répertoire.entrée)
Fichiersuivant=INDEX(matfichier;1;Index)
Cote=STXT(Fichiersuivant;10;3)
=OUVRIR(Fichiersuivant)
MASQUER()
```

Ecrit les tamis de le fichier carotte

Active le fichier carotte
Verifie si la cellule B1 est vide
Si oui selectionne la cellule de droite
Active le fichier source
Copie des cellules A2 à A102
Active le fichier carotte
Colle la sélection précédente en la transposant
Sélectionne la cellule de gauche
Fin de la boucle "Tant.Que"

```
=ACTIVER(Fichiercarotte)
=TANT.QUE(ESTVIDE(!$B$1))
=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;1))
=ACTIVER(Fichiersuivant)
=COPIER(!$A$2:$A$102)
=ACTIVER(Fichiercarotte)
=COLLAGE.SPECIAL(3;1;FAUX;VRAI)
=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;-1))
=SUIVANT()
```

Transfère les % des tamis

Active le fichier carotte	=ACTIVER(Fichiersuivant)
B2 à B102	=COPIER(!$B$2:$B$102)
Selectionne le fichier carotte	=ACTIVER(Fichiercarotte)
Sélectionne la cellule à droite et dessous	=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();1;1))
Colle la sélection en la transposant	=COLLAGE.SPECIAL(3;1;FAUX;VRAI)
Sélectionne la cellule de gauche	=SELECTIONNER(DECALER(CELLULE.ACTIVE();0;-1))
Ecrit la côte	=FORMULE(Cote)
Active le fichier source	=ACTIVER(Fichiersuivant)
Ferme le fichier source	=FERMER()

Fin du programme

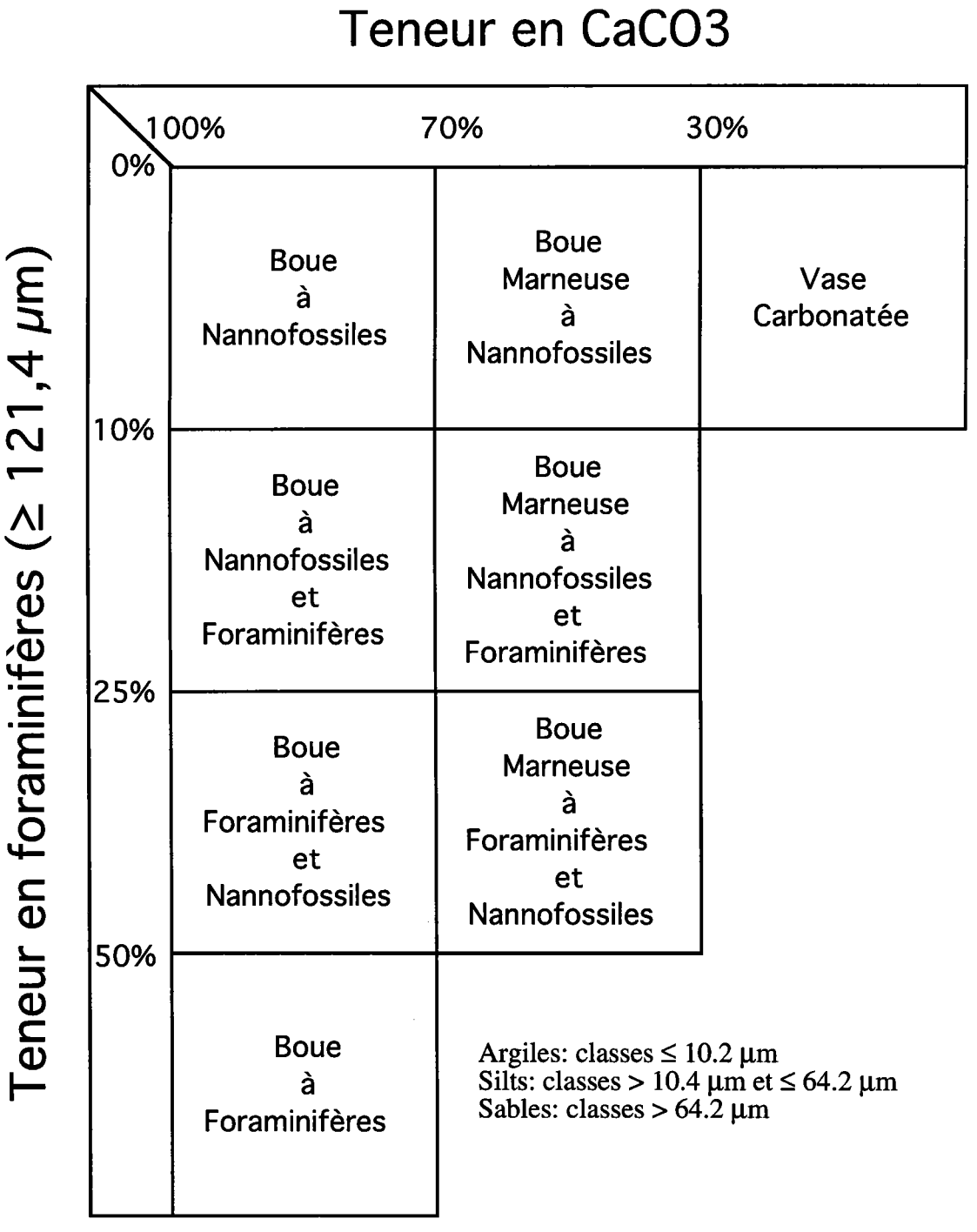
Ecrit le nombre de fichier traités sur le nombre de fichiers total	=MESSAGE(VRAI;"Fichiers traités: "&test&"/"&nbrfichiers)
incrément la variable "test" de 1	test=test+1
Fin de la boucle, passe au fichier écvhantillon suivant	=SUIVANT()
Fin de la boucle (si il n'y a plus de fichier à traiter	=FIN.SI()
Fait 4 bips!!	=BIP(BIP(BIP(BIP())))
Fin de la macro	=RETOUR()

ANNEXE 3:

Logs lithologiques et données

La classification lithologique est basée sur deux paramètres:
- la teneur en carbonates
- la teneur en foraminifères

La teneur en foraminifères est déterminée sur une base granulométrique. L'hypothèse est faite que la fraction ≥ 121,4 µm est représentative de la teneur en foraminifères. Cette classification est adaptée car les sédiments sont généralement très carbonatés (>70%) et la fraction non-



carbonatée est largement concentrée dans les classes inférieures à 121,4 µm.

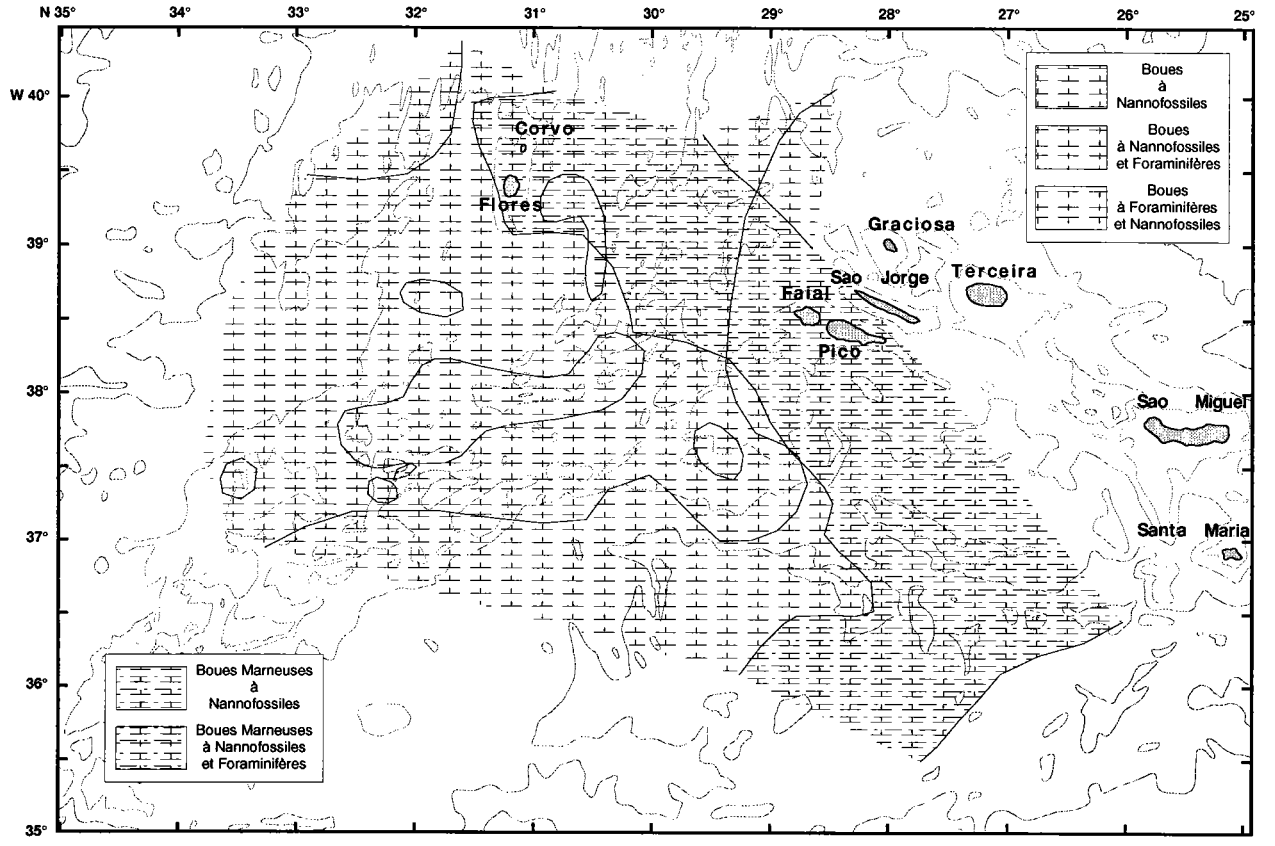


Fig. A-10: Lithologie des sédiments de surface. La détermination est établie selon la teneur en carbonates et l'abondance des foraminifères. L'abondance des foraminifères a été déterminée à l'aide de la granulométrie.

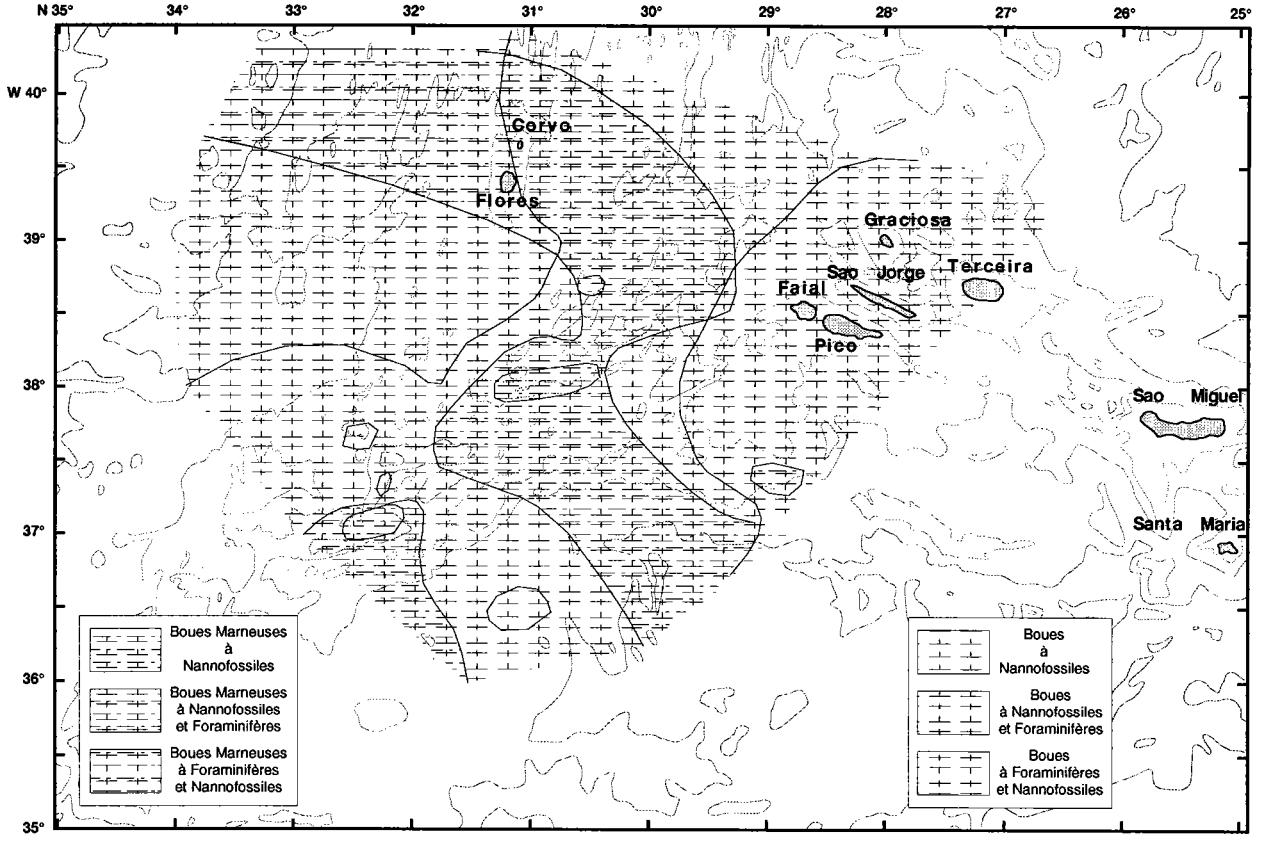
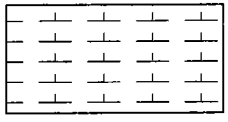
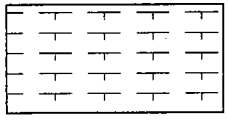
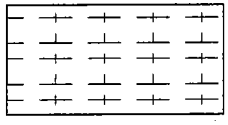


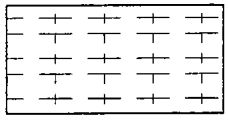
Fig. A-11: Lithologie des sédiments durant le LGM. La détermination est établie selon la teneur en carbonates et l'abondance des foraminifères. L'abondance des foraminifères est déterminée à l'aide de la granulométrie.

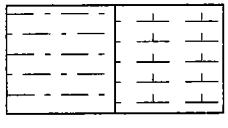
Symboles lithologiques

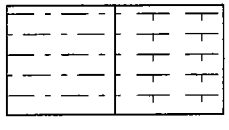

Boue à nannofossiles

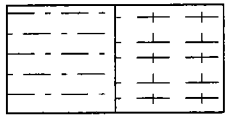

Boue à foraminifères

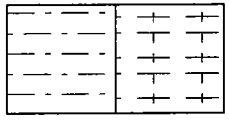

Boue à nannofossiles et foraminifères

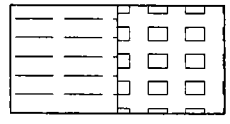

Boue à foraminifères et nannofossiles

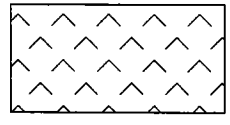

Boue marneuse
à nannofossiles

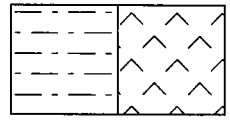

Boue marneuse
à foraminifères

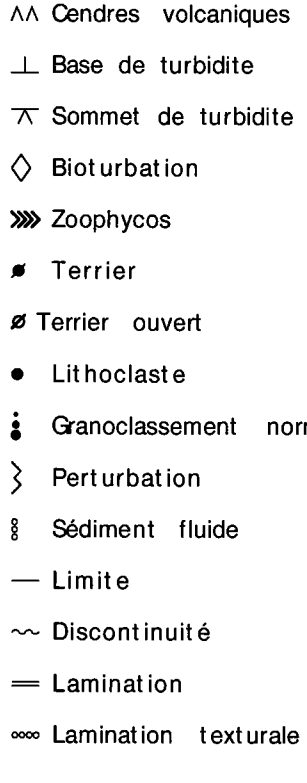

Boue marneuse
à nannofossiles et foraminifères

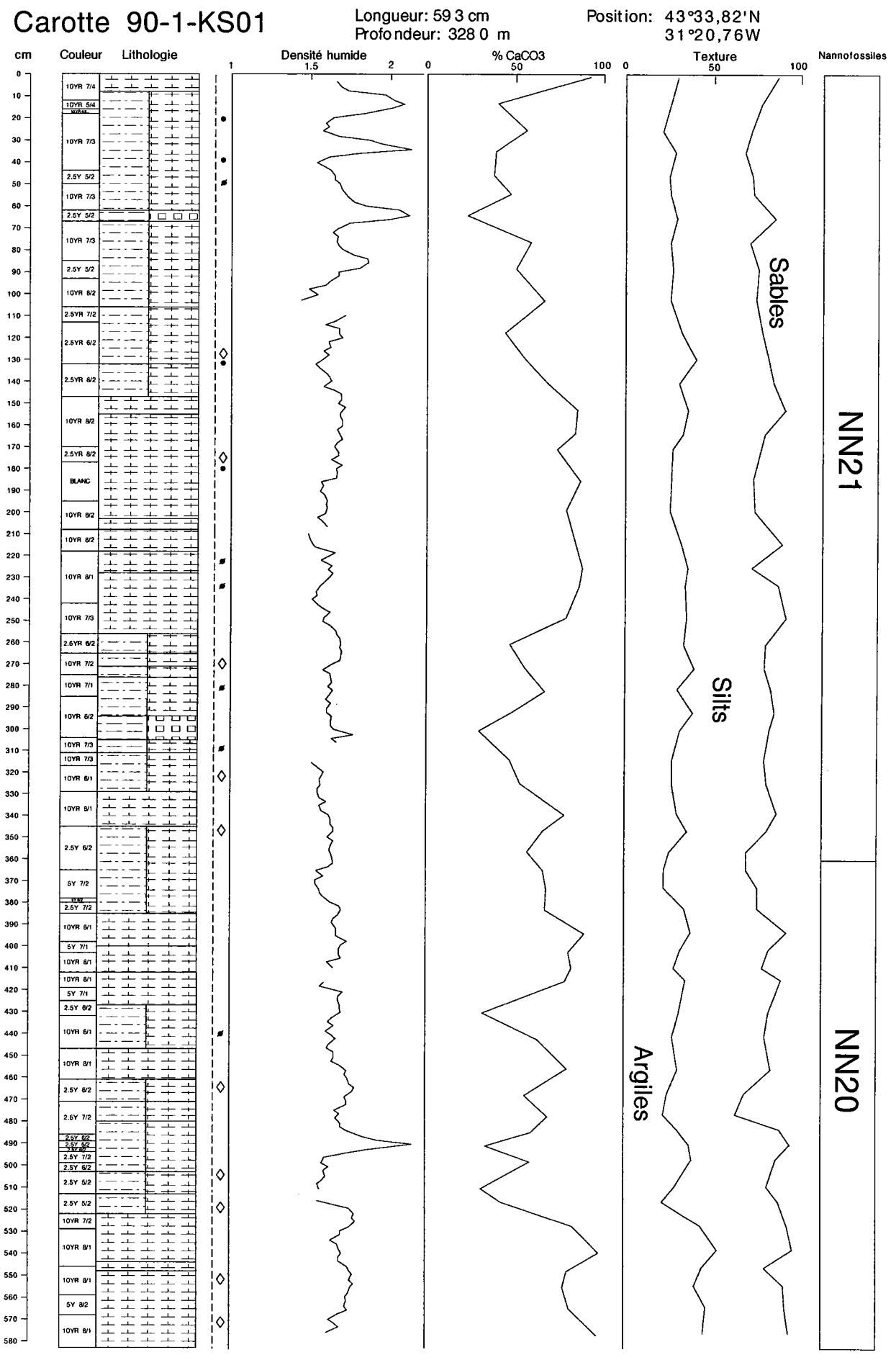

Boue marneuse
à foraminifères et nannofossiles


Vase carbonatée


Cendres volcaniques

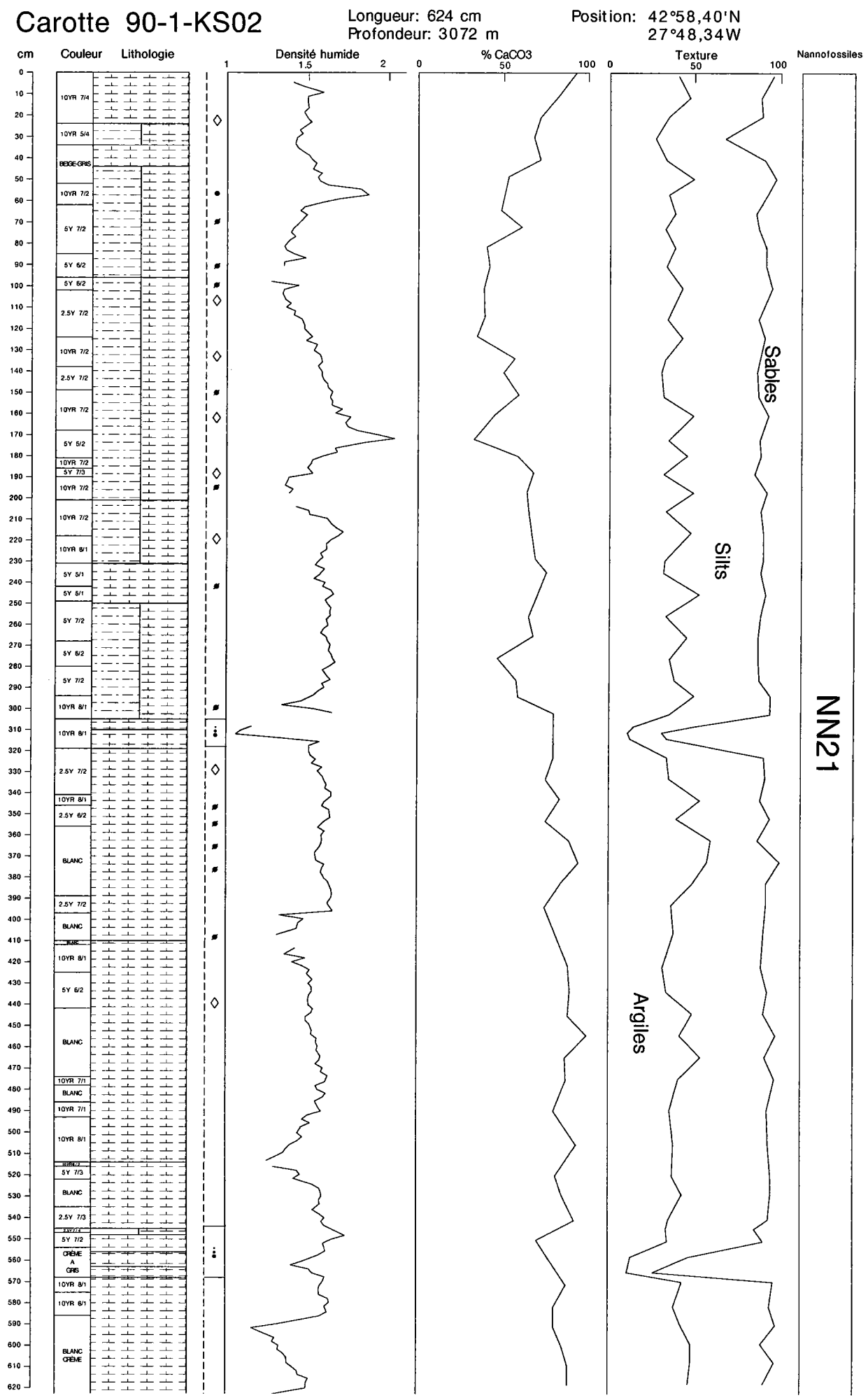

Boue marneuse
à cendres volcaniques




Carotte 90-1-KS01
Longueur: 59 3 cm
Profondeur: 328 0 m
Position: 43°33,82'N
31°20,76W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1.5
2
% CaCO3
0
50
100
Texture
0
50
100
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
NN20

Carotte 90-1-KS01

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
1	8	93				33	47	38	15			
14	13	40		2.08	1.70	80	34	41	25	4.26	3.94	0.32
26	18	57		1.50	0.76	70	30	39	31	1.90	0.76	1.14
36	22	39		1.77	1.20	83	36	27	37	3.00	1.69	1.30
46	26	38		1.58	0.89	77	34	35	31	1.79	0.69	1.10
55	32	47		1.67	1.05	69	35	35	30	2.09	0.78	1.31
65	39	23		1.98	1.54	36	38	45	17	3.08	1.45	1.63
76	45	59		1.60	0.93	70	35	32	33	1.85	0.43	1.43
89	52	51		1.61	0.95	62	36	37	27	1.89	1.11	0.79
103	57	67		1.34	0.50	72	35	36	29	1.01	0.51	0.50
118	62	44		1.62	0.96	55	43	31	26	2.10	1.40	0.71
130	68	56		1.49	0.75	51	54	24	22	1.66	0.73	0.93
141	74	69		1.51	0.78	37	44	38	18	1.71	0.95	0.76
153	80	85		1.62	0.96	24	49	41	10	2.12	1.45	0.67
164	87	84		1.62	0.95	60	45	31	23	2.10	1.78	0.31
171	90	74		1.61	0.94	64	38	36	26	2.07	1.74	0.33
185	97	87		1.49	0.75	75	37	33	30	1.64	1.21	0.44
199	103	79		1.52	0.80	80	39	32	29	1.75	1.52	0.23
214	110	85		1.43	0.65	28	47	41	12	1.43	1.13	0.30
225	115	88		1.54	0.83	82	49	19	32	1.83	1.55	0.28
234	118	86		1.48	0.73	29	49	36	14	1.61	1.42	0.19
249	124	79		1.50	0.77	25	50	41	9	1.69	1.46	0.24
261	128	47		1.63	0.97	43	44	33	23	1.84	1.45	0.39
272	135	56		1.51	0.78	65	51	25	24	1.47	0.69	0.78
282	142	67		1.58	0.89	40	43	38	19	1.69	0.94	0.75
292	149	49		1.53	0.81	34	55	28	18	1.55	1.04	0.51
301	154	30		1.72	1.13	37	46	34	20	2.14	1.04	1.10
314	161	47		1.42	0.64	53	39	38	23	1.22	0.37	0.85
325	166	54		1.49	0.74	61	48	30	22	1.41	0.66	0.75
339	172	79		1.55	0.84	32	43	41	15	1.60	0.85	0.74
347	175	67		1.58	0.90	43	54	23	23	1.70	1.34	0.37
356	179	58		1.57	0.88	90	37	29	34	1.67	1.11	0.56
365	183	66		1.46	0.71	71	38	28	34	1.34	0.77	0.57
373	187	69		1.48	0.74	61	35	38	27	1.10	0.73	0.37
383	191	68		1.64	0.99	65	48	23	29	1.48	1.02	0.47
394	196	90		1.60	0.93	22	53	38	9	1.39	0.94	0.45
402	201	81		1.62	0.96	48	54	26	21	1.45	1.30	0.14
410	210	82				64	46	30	24			
416	217	79		1.52	0.80	25	50	38	12	1.20	0.99	0.21
430	232	32		1.64	0.98	38	46	34	20	1.48	1.17	0.31
442	237	64		1.61	0.94	40	42	36	22	1.40	0.45	0.95
456	243	81		1.68	1.06	33	45	36	18	1.59	1.01	0.58
467	247	56		1.67	1.04	91	33	32	35	2.39	1.92	0.47
477	251	70		1.61	0.94	93	32	27	41	2.16	1.21	0.95
484	254	60		1.69	1.07	31	41	46	13	2.46	1.71	0.75
491	257	34		1.83	1.29	20	50	44	6	2.96	1.78	1.18
498	260	60		1.50	0.77	29	53	32	15	1.77	0.60	1.17
510	265	32		1.49	0.75	45	39	40	21	1.73	1.03	0.70
516	268	43		1.48	0.73	31	42	46	13	1.68	0.53	1.15
527	275	83		1.71	1.09	21	54	38	7	2.52	1.08	1.44
539	281	98		1.65	1.00	15	66	30	4	2.30	1.91	0.39
547	283	80		1.71	1.10	44	59	18	24	2.52	2.47	0.05
555	285	78		1.71	1.10	24	52	38	10	2.54	2.04	0.50
564	288	82		1.69	1.07	20	59	31	10	2.46	1.92	0.54
576	292	97		1.54	0.83	19	59	34	7	1.90	1.55	0.35


Carotte 90-1-KS02
Longueur: 624 cm
Profondeur: 3072 m
Position: 42°58,40'N
27°48,34W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21

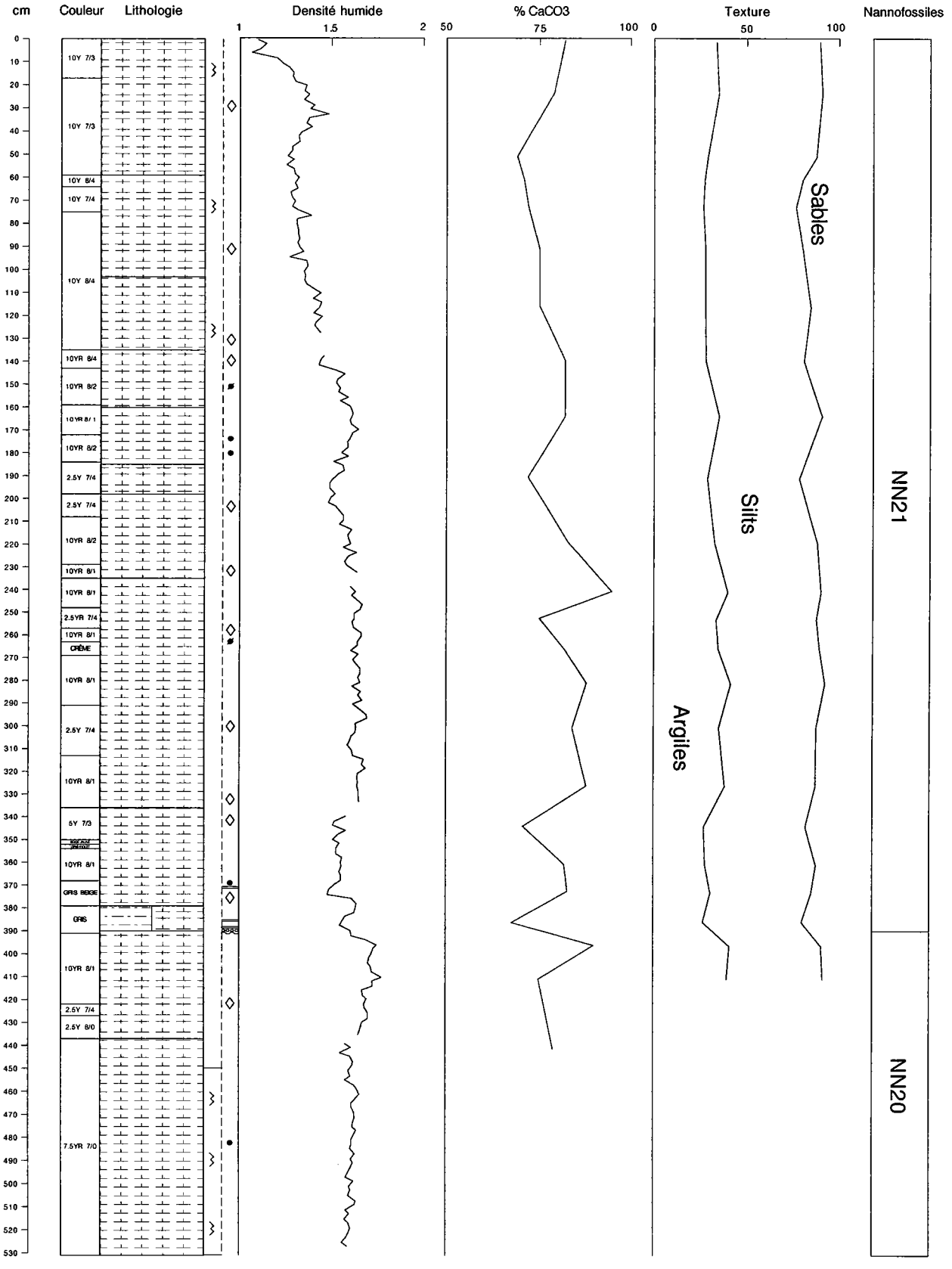
Carotte 90-1-KS02

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
1	8	93				16	65	31	5			
11	10	83		1.46	0.70	28	69	18	14	2.71	2.25	0.47
21	13	72		1.45	0.69	27	48	40	12	3.03	2.18	0.85
30	15	68		1.38	0.58	66	34	29	36	2.55	1.74	0.82
41	18	72		1.48	0.74	27	47	42	10	3.24	2.33	0.91
49	20	53		1.52	0.80	13	70	26	3	3.53	1.88	1.65
57	22	39		1.86	1.34	25	46	45	9	5.88	2.29	3.59
65	23	49		1.41	0.61	33	48	35	17	2.70	1.32	1.38
73	24	61		1.36	0.54	32	44	41	15	2.97	1.81	1.16
82	26	40		1.32	0.47	23	55	34	10	2.59	1.05	1.54
91	27	42		1.30	0.44	25	46	44	10	2.43	1.02	1.41
101	28	38		1.30	0.44	18	59	35	6	2.45	0.94	1.51
115	30	39		1.42	0.63	31	47	38	15	3.46	1.35	2.11
124	32	34		1.49	0.74	23	58	30	11	4.09	1.41	2.68
134	33	57		1.55	0.84	29	46	39	14	4.64	2.64	1.99
141	34	50		1.55	0.84	32	43	41	16	4.65	2.32	2.32
152	36	59		1.60	0.93	31	47	39	15	5.13	3.03	2.10
161	37	45		1.74	1.15	19	67	25	8	6.32	2.87	3.44
172	39	33		2.03	1.61	32	44	41	14	8.88	2.93	5.95
180	41	59		1.56	0.86	27	64	22	14	4.72	2.78	1.95
188	42	68		1.49	0.75	34	45	38	17	4.11	2.80	1.32
197	44	64		1.34	0.50	19	66	24	9	2.76	1.77	0.99
206	46	65		1.46	0.71	28	47	40	13	3.90	2.53	1.36
217	49	49		1.66	1.02	26	61	26	13	5.61	2.74	2.87
229	51	69		1.53	0.81	26	47	42	11	4.46	3.08	1.38
236	53	76		1.54	0.82	29	45	42	13	4.54	3.45	1.09
256	57	65		1.61	0.94	29	46	41	13	5.16	3.35	1.80
266	60	68		1.58	0.90	43	67	17	16	4.94	3.36	1.58
276	62	47		1.62	0.96	30	49	36	15	4.13	1.94	2.19
287	64	58		1.55	0.85	30	52	33	15	3.66	2.13	1.54
294	66	59		1.50	0.77	17	73	20	7	3.29	1.94	1.35
303	68	80		1.62	0.96	22	49	44	7	4.14	3.31	0.83
308	69	81		1.09	0.11	74	18	29	53	0.47	0.38	0.09
312	70	84				106	12	15	72			
315	71	97		1.54	0.83	119	15	15	70	3.56	3.45	0.11
323	73	80		1.51	0.79	24	52	37	11	3.23	2.58	0.65
334	76	76		1.57	0.88	24	51	39	9	3.62	2.75	0.87
343	78	84		1.57	0.88	26	71	16	14	3.61	3.04	0.57
353	80	76		1.57	0.88	20	55	38	6	3.61	2.75	0.87
363	83	90		1.55	0.85	30	69	15	16	3.49	3.12	0.37
373	85	95		1.57	0.88	8	79	21	0	3.61	3.43	0.18
383	87	85		1.61	0.94	21	73	17	10	3.86	3.28	0.58
394	90	75		1.61	0.94	24	52	39	9	3.87	2.91	0.97
407	94	82		1.26	0.38	23	55	35	11	1.57	1.29	0.28
422	99	89		1.43	0.66	29	46	42	12	2.69	2.39	0.30
434	105	90		1.49	0.76	23	50	42	8	3.10	2.79	0.31
445	111	89		1.45	0.69	23	69	20	11	2.83	2.51	0.31
455	116	100		1.52	0.80	15	64	34	2	3.30	3.30	0.00
465	117	88		1.54	0.83	21	74	15	11	3.41	2.99	0.42
476	118	88		1.58	0.90	15	62	35	3	3.69	3.24	0.44
490	120	81		1.55	0.85	21	54	38	8	3.49	2.83	0.66
506	122	94		1.35	0.52	21	56	36	8	2.14	2.01	0.13
520	124	82		1.42	0.63	21	53	41	6	2.59	2.13	0.47
529	126	86		1.56	0.86	17	63	32	5	3.53	3.04	0.49
541	127	93		1.56	0.86	20	57	35	7	3.53	3.28	0.25
546	128	32		1.63	0.98	34	46	38	16	4.32	1.38	2.94
551	129	71		1.57	0.87	24	50	39	10	3.85	2.73	1.12
559	131	92		1.44	0.66	70	15	30	56	2.91	2.68	0.23
566	132	90		1.50	0.76	134	13	10	77	3.34	3.01	0.33
571	134	88		1.54	0.84	16	62	34	4	3.68	3.24	0.44
582	136	81		1.58	0.89	20	55	38	7	3.93	3.18	0.75
591	138	81		1.09	0.11	15	63	35	3	0.49	0.40	0.09
600	140	86		1.28	0.40	26	67	20	13	1.78	1.52	0.26
609	142	89		1.36	0.55	12	73	24	3	2.40	2.14	0.26
619	144	89		1.45	0.69	22	71	18	11	3.04	2.72	0.32

Carotte 90-2-KS02

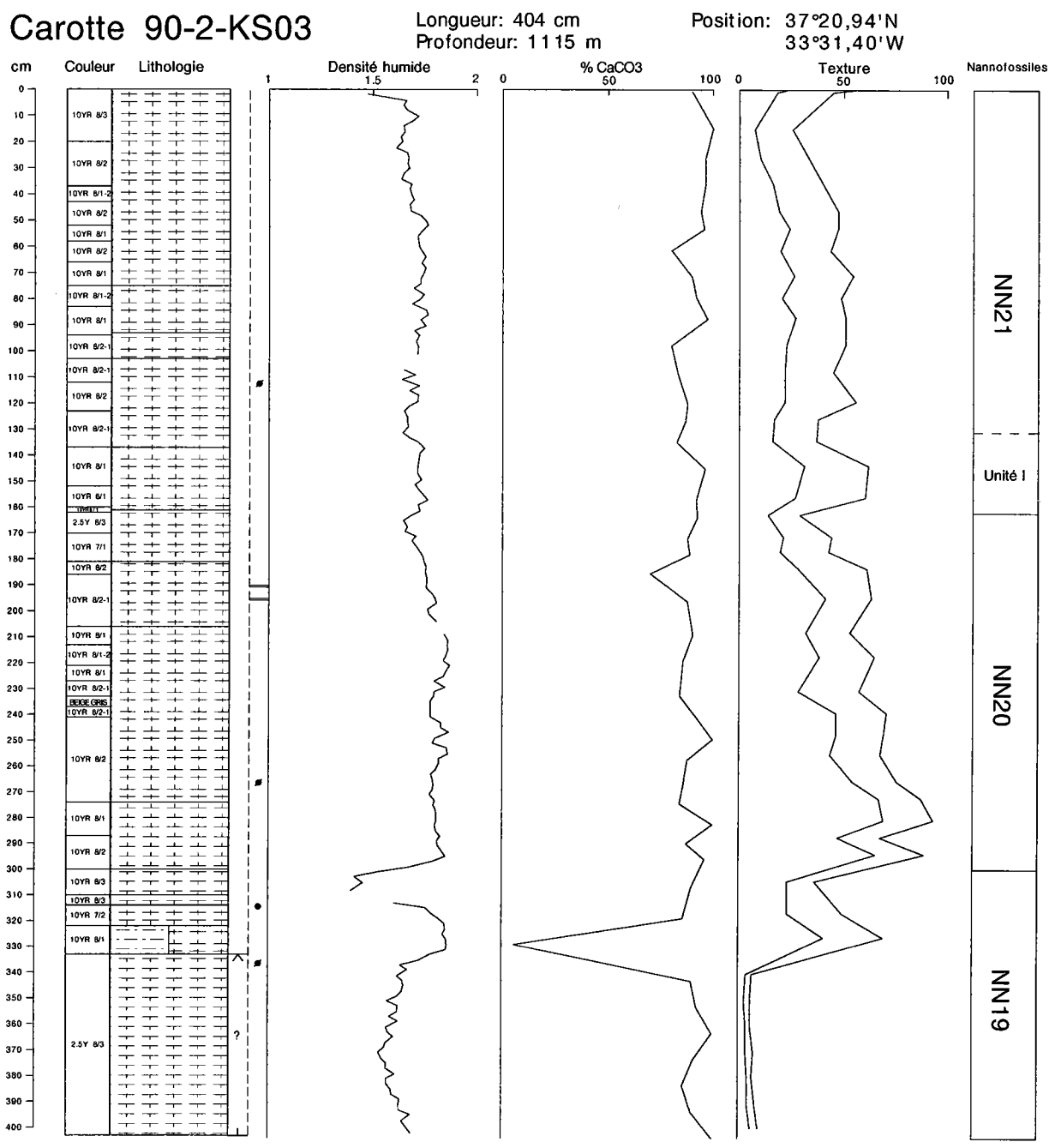
Longueur: 531 cm
Profondeur: 2956 m

Position: 36°17,44'N
31°11,66'W



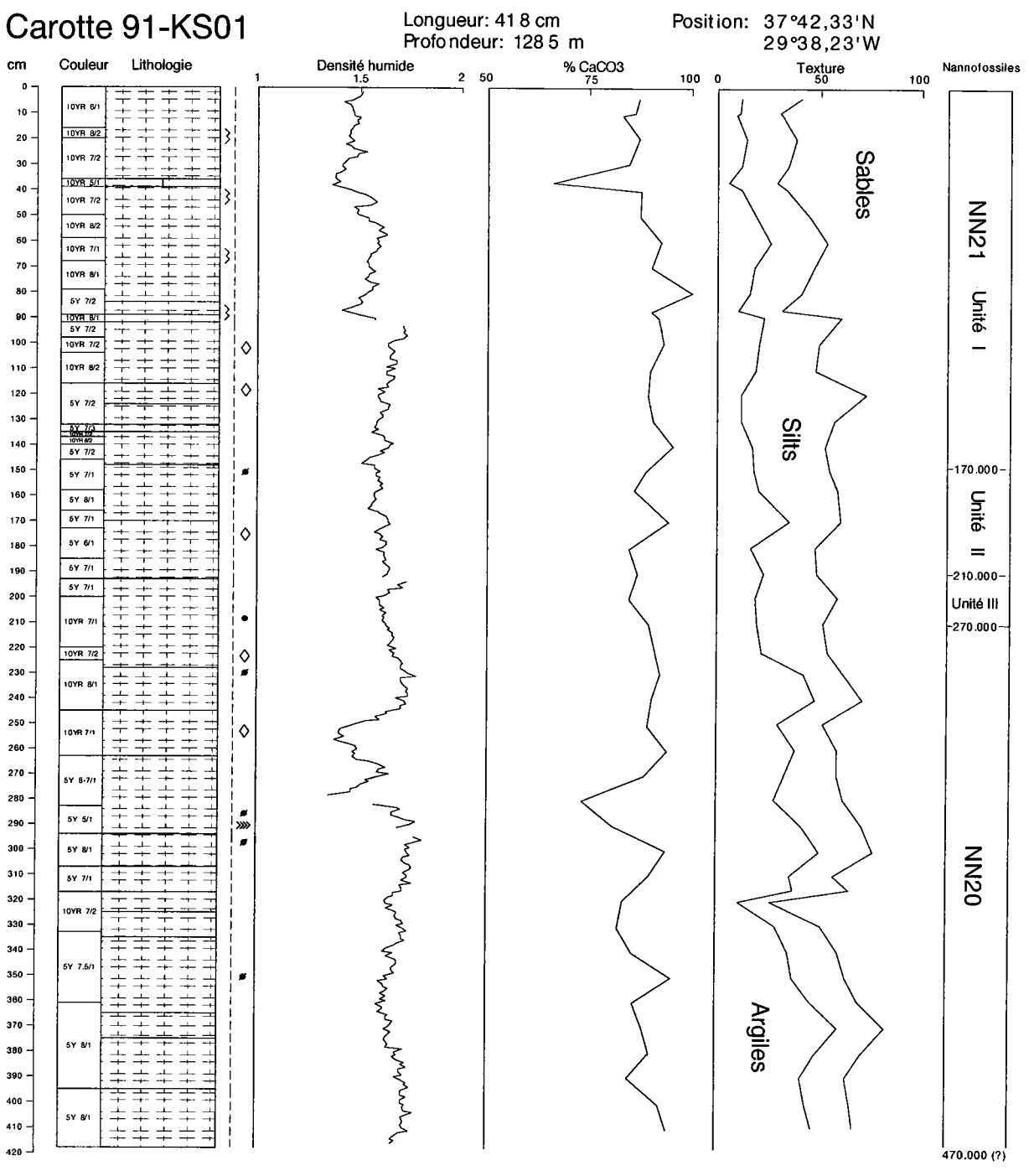
Carotte 90-2-KS02

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
1	7	82	45			28	55	33	12			
24	18	79	48	1.33	0.49	25	54	35	11	1.17	0.93	0.25
51	29	69	53	1.20	0.29	30	44	42	14	1.11	0.77	0.34
61	34	71	54	1.27	0.39	53	41	37	22	1.52	1.08	0.44
73	36	72	55	1.23	0.33	82	40	35	26	1.29	0.93	0.36
91	38	75	53	1.27	0.40	60	41	37	22	1.56	1.17	0.39
116	42	75	51	1.39	0.58	46	43	40	17	2.27	1.70	0.57
140	45	82	51	1.40	0.60	53	42	37	21	2.33	1.91	0.42
164	55	82	46	1.58	0.90	25	54	35	11	3.50	2.87	0.63
191	65	72	50	1.46	0.71	77	42	35	24	1.98	1.43	0.55
219	75	83	46	1.57	0.87	30	49	38	13	2.01	1.67	0.34
241	82	95	45	1.60	0.93	25	61	28	11	2.13	2.03	0.11
253	86	75	46	1.59	0.91	31	50	37	14	2.10	1.57	0.52
266	91	82	46	1.57	0.88	27	53	36	12	2.03	1.66	0.36
281	97	88	45	1.63	0.97	21	64	27	9	2.22	1.96	0.27
301	104	84	46	1.60	0.93	32	53	33	14	2.14	1.79	0.34
326	119	88	44	1.61	0.94	29	56	29	15	2.17	1.91	0.26
344	131	71	49	1.47	0.72	54	44	36	20	0.72	0.51	0.21
361	146	82	50	1.52	0.80	32	45	42	14	0.80	0.66	0.14
373	158	83	53	1.44	0.67	36	47	36	16	0.67	0.56	0.11
386	174	68	51	1.52	0.80	62	43	35	22	0.80	0.55	0.26
396	197	90	43	1.72	1.13	24	59	30	11	1.01	0.91	0.10
411	213	75	43	1.70	1.09	23	57	33	10	0.98	0.74	0.25
441	245	79	47	1.58	0.89	55	42	38	20	0.80	0.63	0.17


Carotte 90-2-KS03
Longueur: 404 cm
Profondeur: 1115 m
Position: 37°20,94'N
33°31,40'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1.5
2
% CaCO3
0
50
100
Texture
0
50
100
Nannofossiles
NN21
Unité I
NN20
NN19

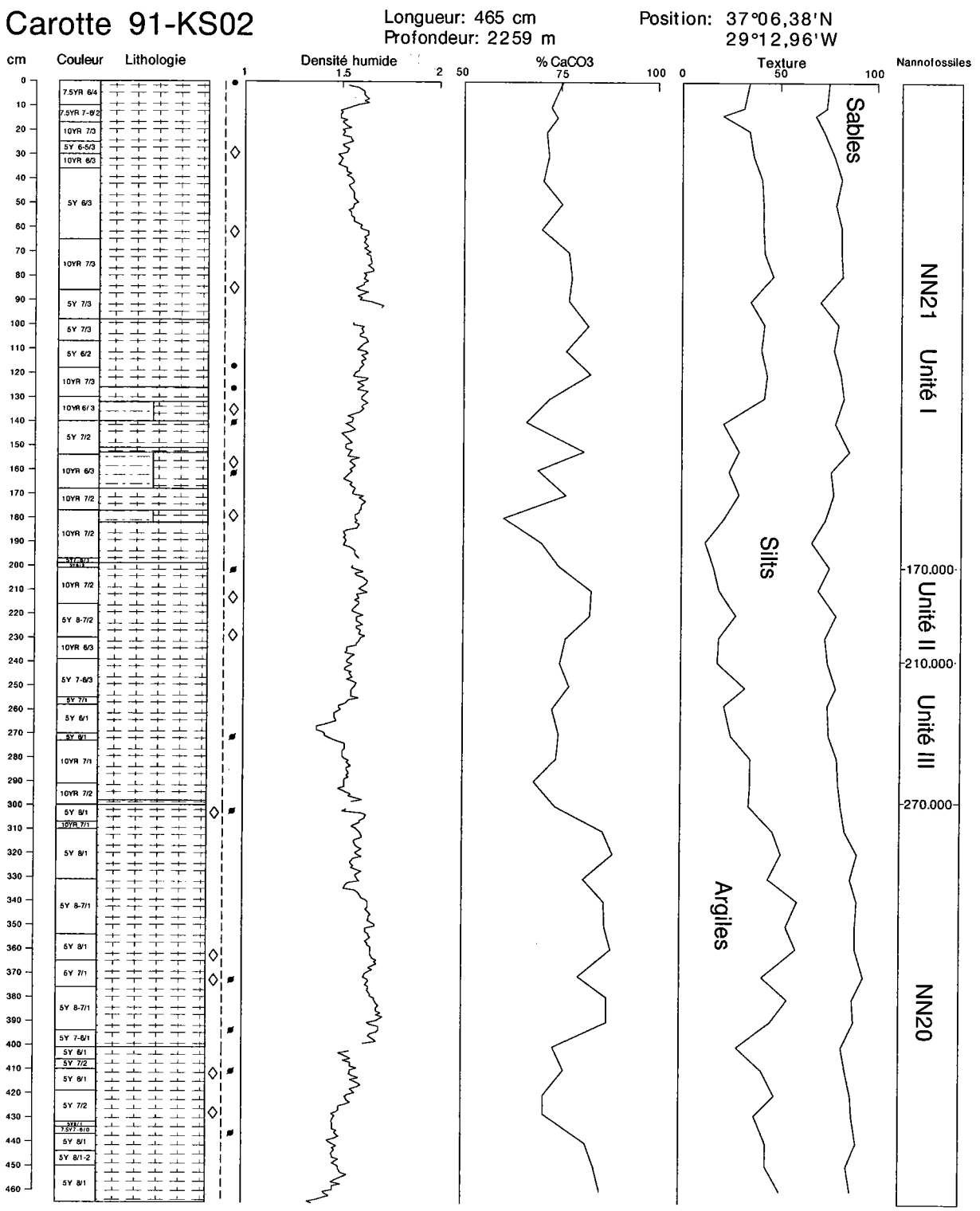
Carotte 90-2-KS03

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	10					110	32	20	49			
1	11	95		1.43	0.66	145	23	18	59	0.53	0.50	0.03
15	27	100		1.62	0.96	148	8	16	76	0.87	0.87	0.00
26	40	98		1.64	1.00	133	12	18	69	0.90	0.88	0.02
36	51	98		1.66	1.02	112	19	17	64	0.91	0.90	0.02
46	63	97		1.65	1.01	110	23	20	57	0.81	0.79	0.02
53	72	98		1.71	1.10	116	27	15	58	0.88	0.87	0.02
61	82	90		1.71	1.11	106	23	16	61	0.89	0.80	0.09
71	95	95		1.71	1.10	89	33	16	50	0.88	0.83	0.04
79	105	96		1.70	1.09	85	26	19	56	0.87	0.84	0.03
87	113	99		1.71	1.10	127	34	11	55	0.88	0.86	0.01
97	124	90		1.69	1.08	97	30	16	54	0.86	0.78	0.09
108	143	92		1.68	1.05	131	27	13	60	0.53	0.48	0.04
119	164	94		1.69	1.07	87	30	21	48	0.53	0.50	0.03
126	178	94		1.64	0.98	116	20	14	66	0.49	0.46	0.03
134	193	91		1.69	1.08	138	18	15	67	0.75	0.69	0.06
144	213	98		1.69	1.07	74	38	18	43	0.75	0.73	0.01
156	230	96		1.74	1.15	86	35	20	45	0.81	0.78	0.03
163	238	96		1.65	1.01	155	15	10	75	0.71	0.68	0.03
171	247	94		1.68	1.05	85	25	15	61	0.84	0.79	0.05
177	254	94		1.70	1.09	113	20	19	61	0.87	0.82	0.05
184	262	85		1.73	1.13	73	34	23	43	0.91	0.77	0.14
195	275	94		1.78	1.22	67	44	13	42	0.98	0.92	0.06
208	294	95		1.83	1.29	102	33	15	53	1.03	0.98	0.05
218	309	93		1.82	1.29	72	42	17	41	0.64	0.60	0.05
231	336	92		1.78	1.21	80	34	18	47	0.61	0.56	0.05
240	350	96		1.76	1.18	72	54	11	35	0.71	0.68	0.03
248	367	100		1.78	1.22	70	49	15	36	0.73	0.73	0.00
256	382	94		1.80	1.25	65	47	15	37	0.75	0.70	0.04
266	400	93		1.77	1.20	63	57	14	29	0.72	0.67	0.05
273	415	92		1.78	1.22	26	72	12	16	0.73	0.67	0.06
281	432	100		1.79	1.23	15	79	13	8	0.74	0.74	0.00
288	447	94		1.79	1.24	96	52	9	39	0.74	0.70	0.05
294	460	98		1.84	1.31	21	71	15	14	0.78	0.77	0.02
305	481	95		1.41	0.62	145	21	10	69	0.37	0.35	0.02
317	488	93		1.77	1.20	100	27	18	55	0.72	0.67	0.05
327	508	53		1.84	1.31	78	47	17	36	0.79	0.42	0.37
341		95		1.59	0.91	355	4	1	95			
351		96		1.54	0.83	332	3	1	95			
361		100		1.54	0.82	371	3	1	95			
371		95		1.50	0.76	343	4	2	94			
381		93		1.53	0.82	345	4	1	95			
391		95		1.60	0.92	325	5	2	93			
401		100		1.66	1.02	334	5	2	93			


Carotte 91-KS01
Longueur: 41 8 cm
Profondeur: 128 5 m
Position: 37°42,33'N
29°38,23'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
210.000
Unité III
270.000
NN20
470.000 (?)

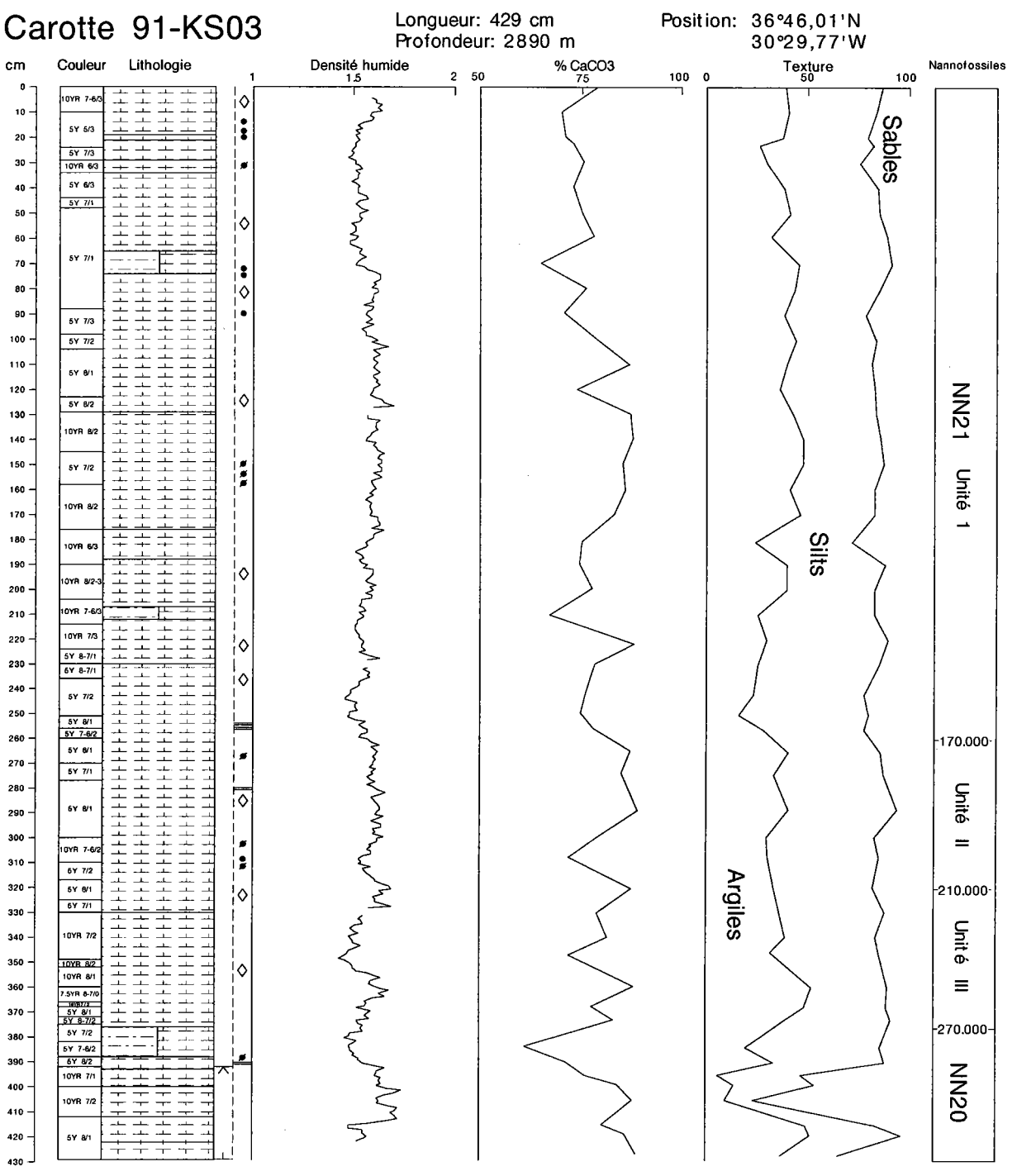
Carotte 91-KS01

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
4	30	87		1.45	0.68	131	16	21	62	0.68	0.59	0.09
10	32	86		1.43	0.65	130	13	15	72	0.65	0.56	0.09
11	33	83		1.43	0.65	141	13	16	72	0.65	0.54	0.11
20	43	87		1.41	0.61	109	18	17	66	0.61	0.53	0.08
30	56	84		1.36	0.54	131	15	16	69	0.54	0.46	0.08
37	64	66		1.35	0.53	149	8	19	73	0.58	0.38	0.20
40	66	88		1.41	0.61	123	15	16	70	0.67	0.59	0.08
50	74	87		1.45	0.68	100	22	18	60	0.61	0.54	0.08
60	81	92		1.55	0.85	92	31	17	52	0.77	0.71	0.06
70	90	90		1.50	0.77	144	26	17	58	0.69	0.62	0.07
80	102	100		1.50	0.77	132	23	13	64	0.69	0.69	0.00
87	112	90		1.36	0.54	157	14	14	71	0.49	0.44	0.05
90	116	92		1.53	0.82	116	32	24	44	0.74	0.68	0.06
100	130	93		1.61	0.94	112	28	16	56	0.66	0.61	0.04
110	145	90		1.64	0.99	119	28	15	57	0.69	0.62	0.07
120	160	89		1.55	0.85	64	30	40	29	0.60	0.53	0.06
130	175	91		1.55	0.85	102	27	27	46	0.60	0.54	0.06
140	188	95		1.62	0.96	92	29	19	51	0.96	0.91	0.04
150	199	89		1.57	0.87	81	30	21	50	0.87	0.77	0.10
157	207	86	44	1.58	0.89	88	28	26	45	0.89	0.76	0.12
170	221	94		1.61	0.94	87	39	14	47	0.94	0.89	0.05
180	231	85		1.58	0.89	116	26	18	56	0.89	0.75	0.14
190	240	87		1.61	0.94	126	28	15	57	0.94	0.81	0.12
200	248	85		1.54	0.84	80	34	21	46	1.25	1.06	0.19
210	257	89		1.60	0.92	91	31	16	53	1.38	1.24	0.15
221	266		34			115	27	22	51			
230	275	92		1.72	1.11	74	43	12	45	1.67	1.54	0.13
240	281	90		1.65	1.01	54	50	15	35	1.51	1.37	0.15
250	286	89		1.44	0.66	93	31	15	54	1.00	0.89	0.11
260	292	94		1.45	0.68	81	39	13	47	1.02	0.96	0.06
270	298	89		1.62	0.96	73	37	16	47	1.43	1.27	0.16
280	302	73				75	34	23	43			
290	306	81		1.73	1.13	64	49	17	34	2.60	2.10	0.49
300	311	94		1.70	1.09	53	58	14	29	2.52	2.36	0.15
310	316	90		1.72	1.11	94	39	11	50	2.56	2.30	0.26
315	318					67	45	14	41			
320	321	84		1.60	0.92	133	13	11	76	2.12	1.77	0.35
330	324	82		1.66	1.03	104	29	16	54	2.36	1.94	0.42
340	327	86		1.59	0.90	80	37	16	46	2.08	1.78	0.30
350	332	95		1.60	0.92	72	41	17	42	2.12	2.03	0.10
360	337	86		1.61	0.94	62	49	15	36	2.16	1.86	0.30
370	341	88		1.62	0.96	40	66	12	22	2.20	1.94	0.26
380	345	90		1.65	1.01	60	52	13	34	2.32	2.09	0.23
390	350	85		1.65	1.01	73	43	15	43	2.32	1.96	0.36
400	354	93		1.68	1.06	72	46	14	41	2.44	2.25	0.18
410	358	95		1.69	1.08	64	48	13	39	2.48	2.34	0.14


Carotte 91-KS02
Longueur: 465 cm
Profondeur: 2259 m
Position: 37°06,38'N
29°12,96'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1,5
2
% CaCO3
50
75
100
Texture
0
50
100
Sables
Silts
Argiles
Nannofossiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
210.000
Unité III
270.000
NN20

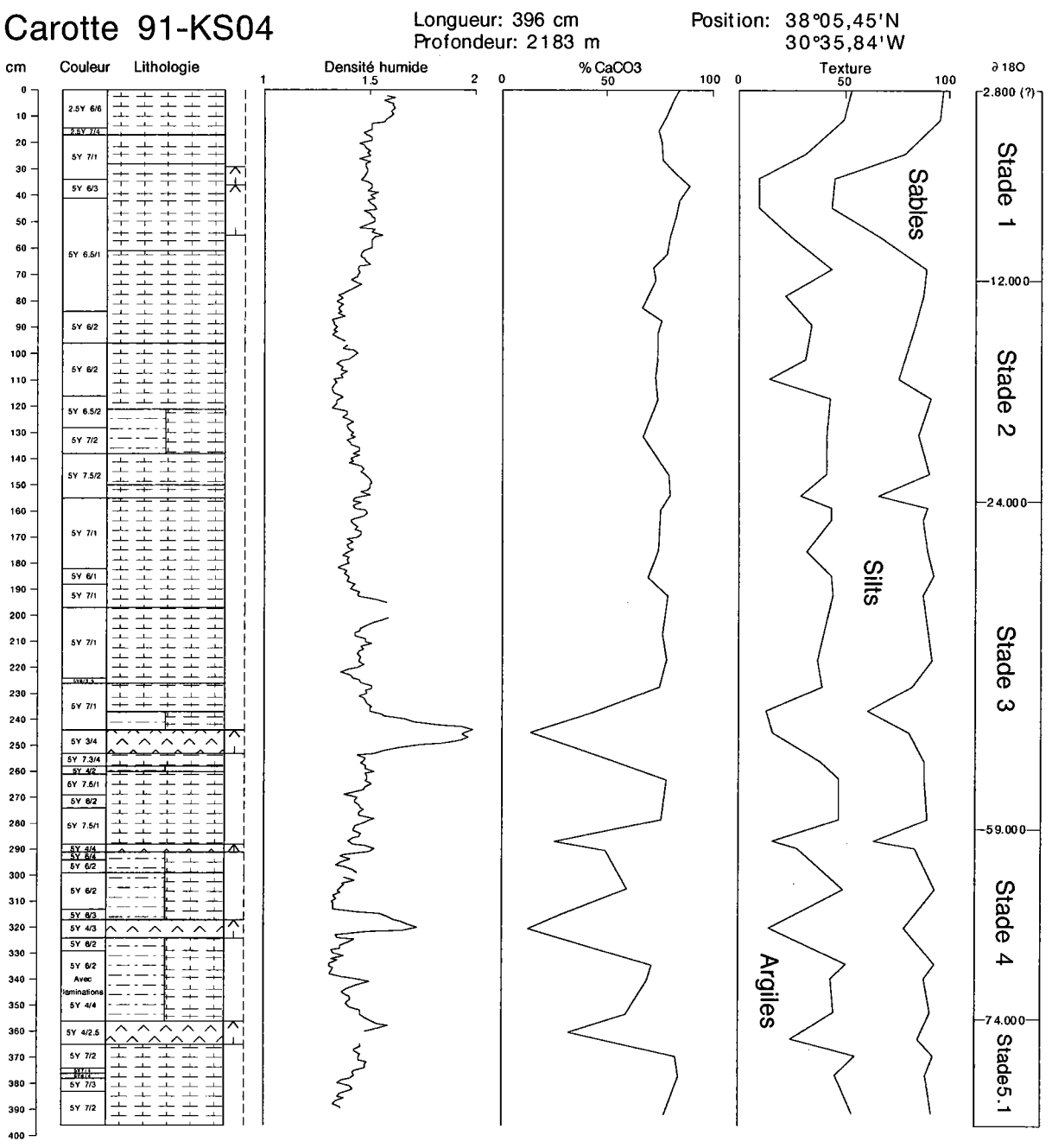
Carotte 91-KS02

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	3	75				72	49	22	29			
10	18	72		1.54	0.84	66	42	28	30	0.59	0.44	0.14
14	24	74	52	1.45	0.68	98	31	34	35	0.48	0.34	0.13
20	27	71		1.46	0.70	70	46	22	32	0.77	0.57	0.20
30	33	72		1.44	0.66	57	52	22	26	0.73	0.52	0.21
40	47	70		1.50	0.77	49	56	22	22	0.84	0.61	0.24
50	57	75		1.54	0.84	57	56	19	25	0.92	0.65	0.27
60	66	70		1.55	0.85	45	55	24	21	1.11	0.83	0.28
70	73	77		1.61	0.94	44	56	22	22	1.22	0.85	0.37
80	80	78		1.59	0.90	51	61	18	21	1.09	0.84	0.25
90	87	77		1.55	0.85	70	46	20	33	1.02	0.80	0.23
100	95	82		1.52	0.80	53	59	17	24	0.96	0.74	0.22
110	103	76		1.54	0.84	61	55	19	26	1.00	0.82	0.18
120	112	83		1.53	0.82	46	59	19	22	0.98	0.75	0.23
130	121	72		1.57	0.87	42	60	20	20	1.04	0.86	0.18
140	131	66		1.51	0.78	57	35	41	24	0.78	0.56	0.22
152	143	81	49	1.51	0.78	34	44	40	16	0.78	0.52	0.27
160	153	69		1.50	0.77	57	40	34	26	0.77	0.62	0.15
170	164	76		1.52	0.80	61	45	30	25	0.80	0.55	0.25
180	174	60		1.53	0.82	56	35	36	29	0.82	0.63	0.19
190	183	70		1.48	0.73	68	24	41	35	0.73	0.44	0.29
200	195	75		1.52	0.80	50	28	45	26	0.88	0.62	0.26
210	206	83		1.58	0.89	94	32	36	32	0.98	0.73	0.25
220	218	83		1.58	0.89	47	46	31	23	0.98	0.81	0.17
230	229	76		1.57	0.87	57	33	38	29	0.96	0.79	0.17
240	236	75		1.49	0.75	58	33	40	27	0.83	0.63	0.20
250	241	77		1.53	0.82	51	54	23	23	0.90	0.68	0.23
258	246	73	49	1.45	0.68	75	34	39	27	1.29	1.00	0.29
270	252	75		1.37	0.56	62	44	29	27	1.07	0.78	0.29
280	257	74		1.48	0.73	53	53	24	23	1.39	1.04	0.35
290	262	68		1.48	0.73	51	53	24	22	1.39	1.03	0.36
300	268	74		1.49	0.75	37	46	34	20	1.43	0.97	0.45
310	273	86		1.55	0.85	36	58	24	18	1.62	1.20	0.42
320	278	89		1.55	0.85	24	69	20	11	1.62	1.40	0.22
330	283	81		1.55	0.85	30	59	26	15	1.62	1.44	0.18
340	289	87		1.61	0.94	22	74	15	11	1.78	1.45	0.34
350	294	87		1.65	1.01	29	69	19	12	1.92	1.66	0.26
360	299	88		1.63	0.97	27	74	14	13	1.85	1.60	0.25
371	305	80	42	1.59	0.90	19	59	35	7	1.72	1.52	0.20
380	310	88		1.65	1.01	28	70	16	14	1.92	1.53	0.38
390	315	87		1.61	0.94	27	68	20	13	1.78	1.56	0.22
400	320	73				36	47	34	19			
410	326	76		1.52	0.80	35	56	27	17	1.52	1.12	0.40
420	331	71		1.50	0.77	31	62	23	14	1.46	1.11	0.34
429	335	71	48	1.42	0.63	28	52	35	13	1.20	0.85	0.35
440	341	82		1.41	0.61	25	67	22	11	1.16	0.83	0.34
450	347	84		1.46	0.70	32	63	21	16	1.33	1.09	0.24
460	352	86		1.37	0.56	35	68	18	14	1.07	0.90	0.17


Carotte 91-KS03
Longueur: 429 cm
Profondeur: 2890 m
Position: 36°46,01'N
30°29,77'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1.5
2
% CaCO3
50
75
100
Texture
0
50
100
Sables
Silts
Argiles
Nannofossiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
210.000
Unité III
270.000
NN20

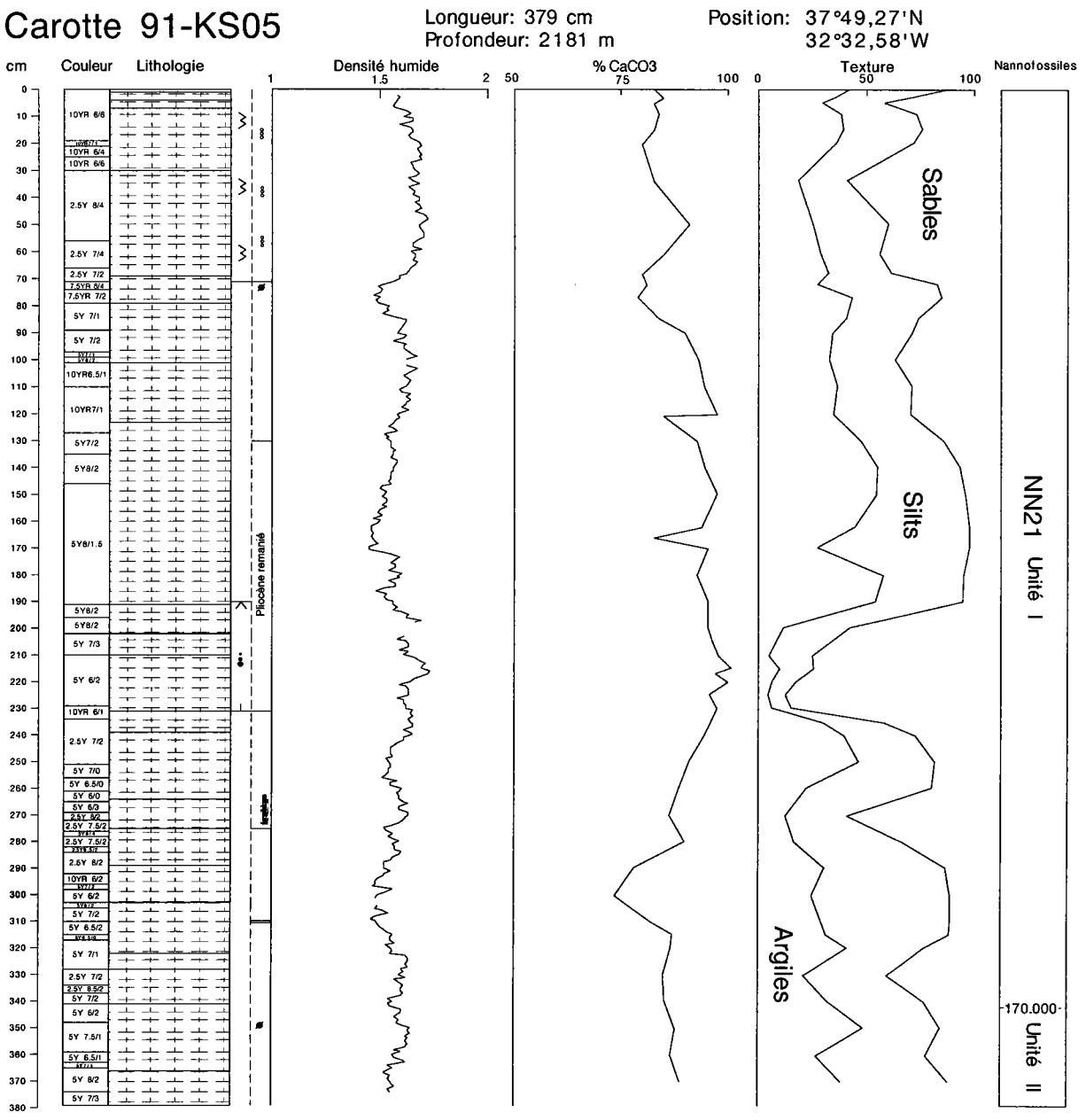
Carotte 91-KS03

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	3	79				32	63	22	15			
10	10	70		1.55	0.85	37	57	24	19	1.28	0.90	0.38
20	17	71		1.48	0.73	48	53	23	24	1.10	0.78	0.32
23	19	73	53	1.47	0.72	41	40	41	19	1.07	0.78	0.29
30	23	76		1.47	0.72	54	44	29	28	1.07	0.81	0.26
40	30	73		1.48	0.73	35	56	26	18	1.17	0.85	0.32
50	37	75		1.49	0.75	35	61	22	17	1.20	0.90	0.30
59	43	78	52	1.48	0.73	30	49	38	13	1.17	0.91	0.26
70	50	65		1.47	0.72	25	65	24	11	1.15	0.74	0.40
80	56	76		1.59	0.90	36	61	21	18	1.45	1.10	0.35
90	62	71		1.52	0.80	46	51	24	25	1.20	0.85	0.35
100	69	79		1.59	0.90	40	61	19	20	1.36	1.07	0.29
110	76	87		1.58	0.89	49	60	19	21	1.24	1.08	0.16
120	83	74		1.57	0.87	39	55	25	20	1.22	0.90	0.32
130	90	87		1.53	0.82	36	61	20	19	1.15	1.00	0.15
140	97	88		1.52	0.80	33	68	15	17	1.12	0.99	0.14
150	104	85		1.59	0.90	28	67	18	15	1.27	1.08	0.19
160	111	86		1.57	0.87	37	60	19	20	1.22	1.05	0.17
170	118	83		1.54	0.84	44	64	15	20	1.17	0.97	0.20
181	126	75	46	1.52	0.80	86	36	33	31	1.12	0.84	0.28
190	134	74		1.53	0.82	29	62	24	14	0.98	0.73	0.25
200	143	78		1.57	0.87	44	59	21	20	1.04	0.81	0.23
210	152	67		1.51	0.78	40	49	32	19	0.94	0.63	0.31
220	162	88		1.50	0.77	28	59	29	12	0.92	0.81	0.11
230	169	78		1.53	0.82	36	50	33	17	0.98	0.77	0.21
242	179	76	51	1.44	0.66	61	36	40	24	0.80	0.61	0.19
250	185	75		1.44	0.66	41	37	42	21	0.80	0.60	0.20
256	190	78	47	1.53	0.82	60	42	32	25	1.06	0.83	0.23
265	197	87		1.59	0.90	31	61	22	17	1.18	1.02	0.15
274	205	85	50	1.57	0.87	31	49	36	15	1.13	0.96	0.17
289	217	89	45	1.59	0.90	20	58	35	7	1.18	1.05	0.13
300	226	79		1.59	0.90	36	50	31	20	1.18	0.93	0.25
308	232	72	49	1.49	0.75	37	47	35	17	0.98	0.70	0.27
320	240	88		1.66	1.03	39	53	28	20	1.33	1.17	0.17
330	246	79		1.51	0.78	27	60	26	14	2.20	1.74	0.46
340	250	81		1.45	0.68	45	61	20	19	1.91	1.55	0.35
346	252	72	53	1.42	0.63	35	50	33	17	1.76	1.27	0.49
360	257	88		1.61	0.94	29	74	14	13	2.63	2.32	0.31
368	259	78		1.48	0.73	37	72	14	14	2.05	1.60	0.46
373	261	83	49	1.48	0.73	24	58	31	11	2.05	1.70	0.35
384	265	61		1.45	0.68	34	41	44	15	1.91	1.17	0.74
390	267	71		1.51	0.78	28	56	30	13	2.20	1.57	0.63
395	268	76		1.58	0.89		9	37	54	2.49	1.89	0.59
399	270	84	44	1.59	0.90		18	33	49	2.53	2.13	0.41
405	272	88		1.60	0.92		13	7	79	2.58	2.27	0.31
415	275	80		1.44	0.66		62	18	20	1.86	1.49	0.37
419	276	86		1.53	0.82		69	27	5	2.29	1.97	0.32
427	279	89					45	16	39			


Carotte 91-KS04
Longueur: 396 cm
Profondeur: 2183 m
Position: 38°05,45'N
30°35,84'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
∂ 18O
Sables
Silts
Argiles
Stade 1
Stade 2
Stade 3
Stade 4
Stade5.1
12.000
24.000
59.000
74.000

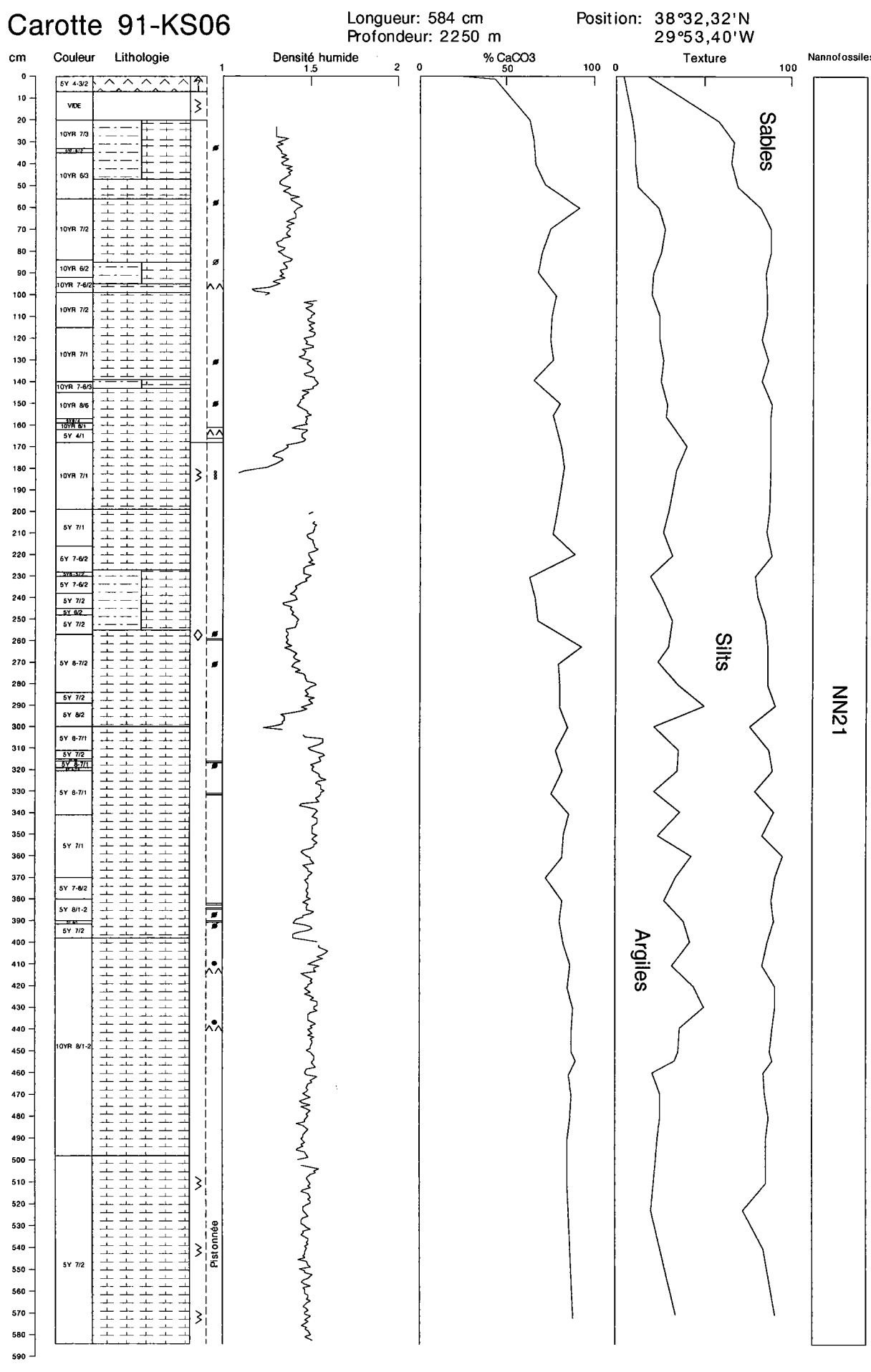
Carotte 91-KS04

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	8.0	80				12	80	16	4			
7	8.4	76		1.59	0.90					16.02	12.81	3.20
11	8.6	74		1.54	0.84	16	70	24	6	14.80	11.25	3.55
15	8.8	72		1.47	0.72					12.67	9.37	3.29
17	8.9	73		1.44	0.66					11.75	8.46	3.29
25	9.4	72		1.46	0.70	48	45	31	24	12.36	9.03	3.34
34	9.9	78		1.42	0.63		17	26	57	11.15	8.02	3.12
45	10.5	84		1.5			17	24	59			
56	11.1	78		1.52			38	25	36			
68	11.8	71		1.39	0.60	28	58	29	13	10.54	8.19	2.35
78	12.9	66		1.30	0.44	37	39	48	13	3.00	2.13	0.87
89	14.5	72		1.28	0.41	37	52	29	19	2.76	1.81	0.95
102	16.4	76		1.35	0.53	44	45	31	24	3.58	2.58	1.00
109	17.4	74		1.32	0.47	54	27	48	25	3.23	2.45	0.78
117	18.6	68		1.32	0.47	23	62	28	11	3.23	2.39	0.84
131	20.6	66		1.36	0.54	33	57	25	18	3.70	2.51	1.18
146	22.8	75		1.43	0.65	24	61	27	12	4.40	2.90	1.50
154	24.0			1.46			39	23	38			
159	25.0			1.5			64	23	13			
163	25.7	76		1.37	0.56	28	63	22	15	2.13	1.60	0.53
175	28.0	77		1.37	0.56	29	55	33	12	2.13	1.62	0.51
185	31.1	72		1.35	0.53	19	66	25	9	2.00	1.55	0.45
192	33.2	76		1.39	0.60	28	64	21	15	2.26	1.64	0.62
207	37.9	76		1.38	0.58					2.20	1.67	0.53
217	41.0	79		1.41	0.61	21	61	30	10	2.33	1.77	0.56
227	44.0	74		1.47	0.72	51	57	22	20	2.72	2.15	0.57
237	47.1			1.49			23	36	41			
245	49.6	15		1.56			22	58	20			
256	53.0	50		1.43	0.65	31	53	33	14	2.46	1.83	0.63
263	54.4	77		1.45	0.68	26	65	21	14	2.59	1.29	1.29
278	57.3	74		1.48	0.73	24	65	23	12	2.79	2.14	0.64
287	59.0	39		1.47			22	39	38			
290	59.5	49		1.48	0.73	47	50	32	18	4.03	2.98	1.05
305	62.3	58		1.31	0.46	19	67	25	8	2.52	1.23	1.28
320	65.0	19		1.32			22	55	22			
334	67.5	66		1.26	0.37	19	69	23	8	2.04	1.19	0.86
340	68.6	58		1.37	0.56	28	59	27	13	3.09	2.04	1.05
353	71.0	61		1.42	0.63	23	65	25	10	3.46	2.01	1.45
363	72.8	29		1.46			40	43	16			
369	73.9	76		1.42	0.63	20	74	17	10	3.40	2.07	1.33
377	75.4	79		1.38	0.58	26	68	19	13	3.12	2.37	0.75
392	78.1	71		1.41		20	72	18	10			


Carotte 91-KS05
Longueur: 379 cm
Profondeur: 2181 m
Position: 37°49,27'N
32°32,58'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
Pliocène remanié
NN21 Unité I
170.000
Unité II

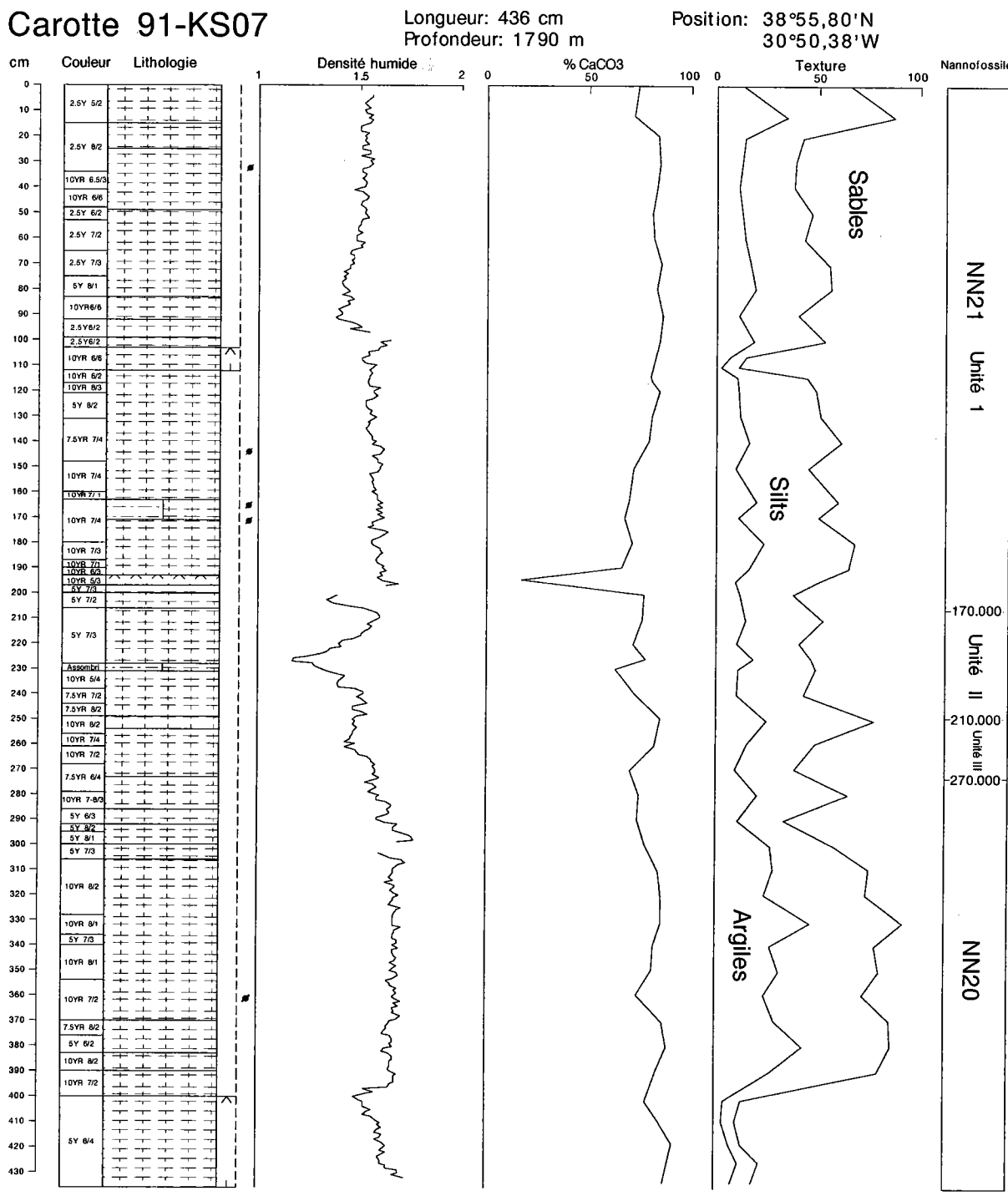
Carotte 91-KS05

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	5	83				33	68	17	15			
3	8	85		1.55	0.85	66	50	16	34	0.68	0.58	0.10
5	11	83		1.53	0.82	91	38	15	47	0.66	0.54	0.11
9	15	84		1.61	0.94	71	51	17	32	0.94	0.79	0.15
15	21	83		1.62	0.96	58	54	18	29	0.96	0.79	0.16
20	26	80		1.65	1.01	65	48	19	33	1.11	0.89	0.22
34	41	83		1.62	0.96	132	23	13	63	1.05	0.87	0.18
50	55	91		1.65	1.01	86	37	18	44	1.11	1.01	0.10
61	64	85		1.63	0.97	90	36	15	49	0.97	0.83	0.15
68	72	80		1.59	0.90	89	40	16	44	1.18	0.94	0.24
72	77	81	33	1.47	0.72	39	40	40	19	0.93	0.75	0.18
77	82	79		1.46	0.70	36	62	20	18	0.91	0.72	0.19
85	90	84		1.59	0.90	62	54	16	31	1.18	0.99	0.19
90	94	90		1.54	0.84	63	50	17	34	1.09	0.98	0.11
100	101	93		1.59	0.90	79	43	15	42	1.18	1.10	0.08
110	107	95		1.59	0.90	63	49	17	34	1.18	1.11	0.06
120	114	97		1.55	0.85	66	48	17	34	1.11	1.08	0.03
130	120	93		1.49	0.75	34	68	15	17	0.98	0.91	0.07
140		94		1.53	0.82	19	80	12	8			
150		97		1.49	0.75	13	83	12	5			
162		94		1.45	0.68	12	70	27	3			
170		95		1.45	0.68	12	65	33	2			
180		93		1.50	0.77	14	83	11	6			
190		95		1.48	0.73	19	80	13	7			
200		95		1.63	0.97	77	19	21	61			
205		96		1.59	0.90	100	13	19	68			
210		98		1.58	0.89	134	9	15	77			
215		100		1.66	1.03	230	14	8	77			
217		97	41	1.69	1.08	53	43	29	28			
220		100		1.61	0.94	231	9	7	85			
225		96		1.60	0.92	212	6	5	89			
230		98		1.59	0.90	248	9	4	87			
235						92	39	14	47			
240		95		1.62	0.96	68	52	15	32			
250		91		1.50	0.77	47	64	14	22			
260		89		1.57	0.87	45	46	32	22			
270		86		1.60	0.92	139	22	16	62			
280	126	90		1.55	0.85	64	33	30	36	0.77	0.69	0.08
290	137	78		1.48	0.73	33	60	25	16	0.73	0.57	0.16
300	149	74		1.45	0.68	31	54	33	13	0.68	0.50	0.18
310	160	82		1.44	0.66	32	60	27	13	0.66	0.55	0.12
315	165	87	47	1.52	0.80	28	49	38	13	0.80	0.70	0.10
320	170	87		1.51	0.78	55	57	15	28	0.78	0.68	0.11
330	179	85		1.55	0.85	86	35	21	45	0.85	0.73	0.13
340	188	85		1.52	0.80	51	53	20	27	0.88	0.75	0.13
350	197	88		1.61	0.94	42	65	16	19	1.03	0.91	0.12
360	206	87		1.52	0.80	46	47	28	25	0.88	0.77	0.12
370	215	89		1.51	0.78	30	67	19	15	0.86	0.77	0.10


Carotte 91-KS06
Longueur: 584 cm
Profondeur: 2250 m
Position: 38°32,32'N
29°53,40'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1.5
2
% CaCO3
0
50
100
Texture
0
100
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Pistonnée

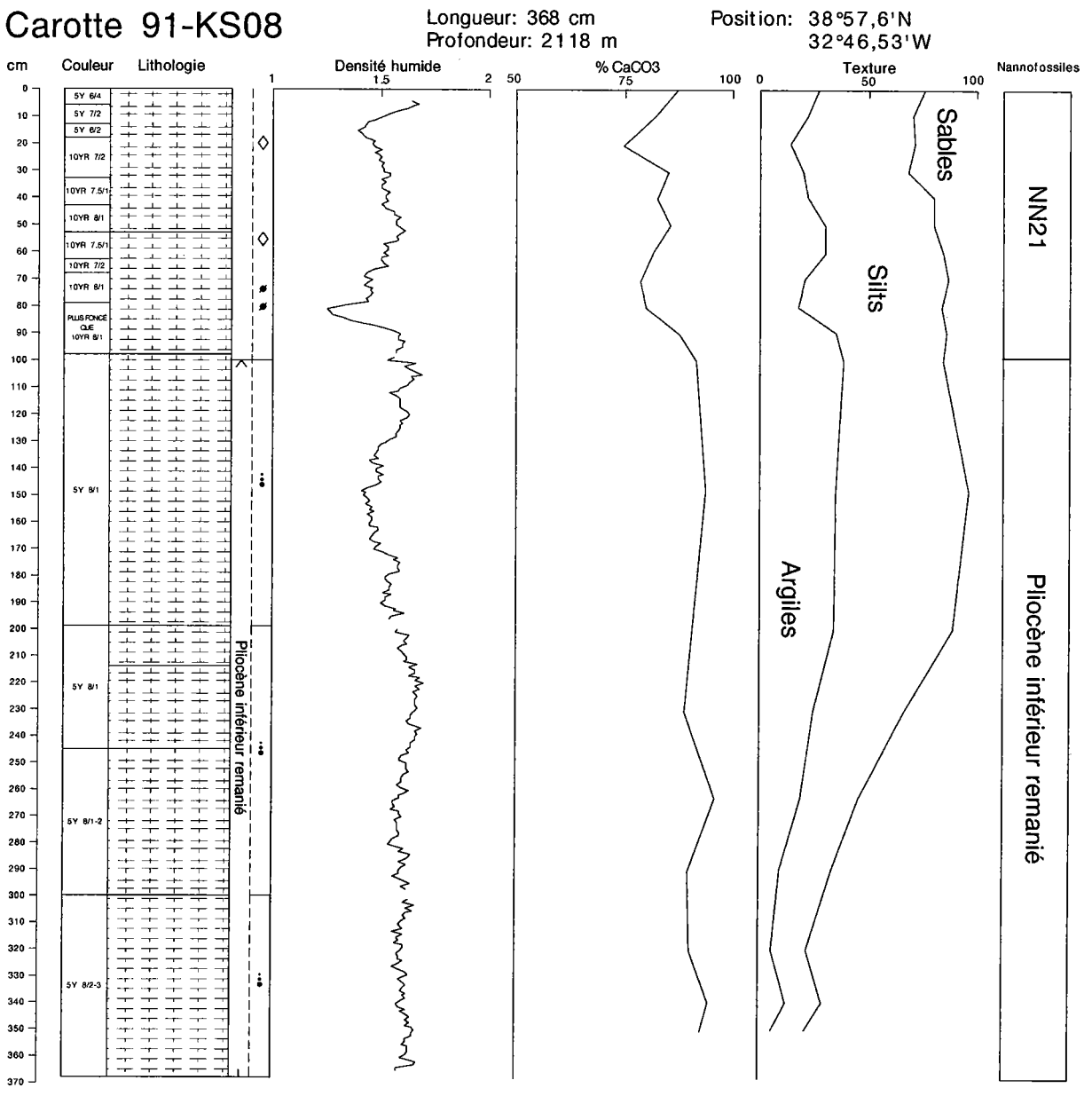
Carotte 91-KS06

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	4	24				137	5	11	83			
20	12	63		1.24	0.35	73	16	41	44	0.85	0.54	0.31
30	16	66		1.24	0.35	64	20	46	34	0.85	0.56	0.29
40	21	66		1.31	0.46	63	18	46	36	1.10	0.73	0.37
50	25	71		1.29	0.42	64	21	47	32	2.24	1.60	0.64
60	27	92		1.35	0.53	41	40	40	20	2.79	2.55	0.24
70	29	75		1.31	0.46	32	48	39	13	2.43	1.82	0.61
80	30	70	50	1.29	0.42	31	41	46	13	2.24	1.57	0.67
90	32	67		1.30	0.44	38	36	48	16	2.33	1.57	0.76
100	34	78		1.49	0.75	38	36	49	15	3.98	3.09	0.89
110	36	75		1.45	0.68	38	42	42	16	3.61	2.72	0.89
120	37	75		1.43	0.65	42	41	40	19	3.43	2.58	0.85
130	39	76		1.44	0.66	35	45	41	15	3.52	2.68	0.84
140	41	65		1.47	0.72	40	41	41	19	3.79	2.46	1.33
150	43	80		1.42	0.63	31	50	38	12	3.34	2.68	0.66
156	44	76	53	1.43	0.65	29	45	42	13	3.43	2.61	0.82
170	47	81		1.26	0.37	30	61	25	14	1.97	1.60	0.38
180	48	83				31	55	31	14			
200	51	79				34	47	39	14			
210	52	76		1.45	0.68	38	44	40	16	3.61	2.75	0.86
220	55	89		1.47	0.72	31	50	38	13	3.79	3.38	0.42
230	58	63		1.44	0.66	51	33	45	22	3.52	2.21	1.31
240	61	66		1.29	0.42	39	40	38	21	2.54	1.68	0.86
250	64	68		1.37	0.56	36	49	35	16	3.37	2.28	1.09
263	65	93		1.37	0.56	31	43	43	14	3.37	3.13	0.24
270	66	79		1.37	0.56	37	41	44	14	3.37	2.67	0.70
280	67	81		1.45	0.68	33	55	30	15	4.09	3.30	0.79
290	69	80		1.41	0.61	27	71	19	10	3.68	2.95	0.72
300	70	85		1.42	0.63	48	36	39	26	3.78	3.21	0.57
310	72	78		1.53	0.82	31	53	33	14	4.91	3.83	1.09
320	74	82		1.51	0.78	30	54	34	12	4.47	3.65	0.82
330	75	76		1.51	0.78	52	35	43	22	4.47	3.38	1.09
340	77	86		1.50	0.77	29	56	33	11	4.37	3.76	0.61
350	79	83		1.47	0.72	37	39	44	17	4.08	3.37	0.71
360	81	82	50	1.47	0.72	15	66	29	5	4.08	3.35	0.73
370	82	72		1.45	0.68	26	52	38	10	3.88	2.81	1.07
380	85	82		1.45	0.68	33	45	43	12	3.88	3.18	0.70
390	87	81		1.46	0.70	28	58	31	11	3.98	3.21	0.77
400	88	83		1.51	0.78	38	61	24	15	4.47	3.70	0.77
410	90	87		1.48	0.73	35	50	32	18	4.18	3.62	0.56
420	91	85		1.46	0.70	23	66	24	10	3.98	3.38	0.60
430	93	88		1.46	0.70	24	69	20	11	3.98	3.50	0.49
440	95	87		1.45	0.68	29	55	33	12	3.88	3.40	0.49
450	96	88		1.48	0.73	33	56	31	14	4.18	3.66	0.52
454	97	90	53	1.48	0.73	26	50	39	11	4.18	3.76	0.42
460	98	86		1.48	0.73	38	34	49	17	4.18	3.60	0.58
470	100	87		1.39	0.60	39	41	43	17	3.39	2.95	0.44
480	101	86		1.43	0.65	34	40	46	14	3.69	3.19	0.50
490	103	85		1.41	0.61	36	37	48	15	3.49	2.96	0.53
510	106	85		1.46	0.70	38	34	50	15	3.98	3.39	0.59
523						55	32	39	29			
540	112	86		1.43	0.65	37	40	43	17	3.69	3.18	0.51
571	117	88	49	1.45	0.68	26	50	39	10	3.88	3.42	0.47


Carotte 91-KS07
Longueur: 436 cm
Profondeur: 1790 m
Position: 38°55,80'N
30°50,38'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1.5
2
% CaCO3
0
50
100
Texture
0
50
100
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
210.000
Unité III
270.000
NN20

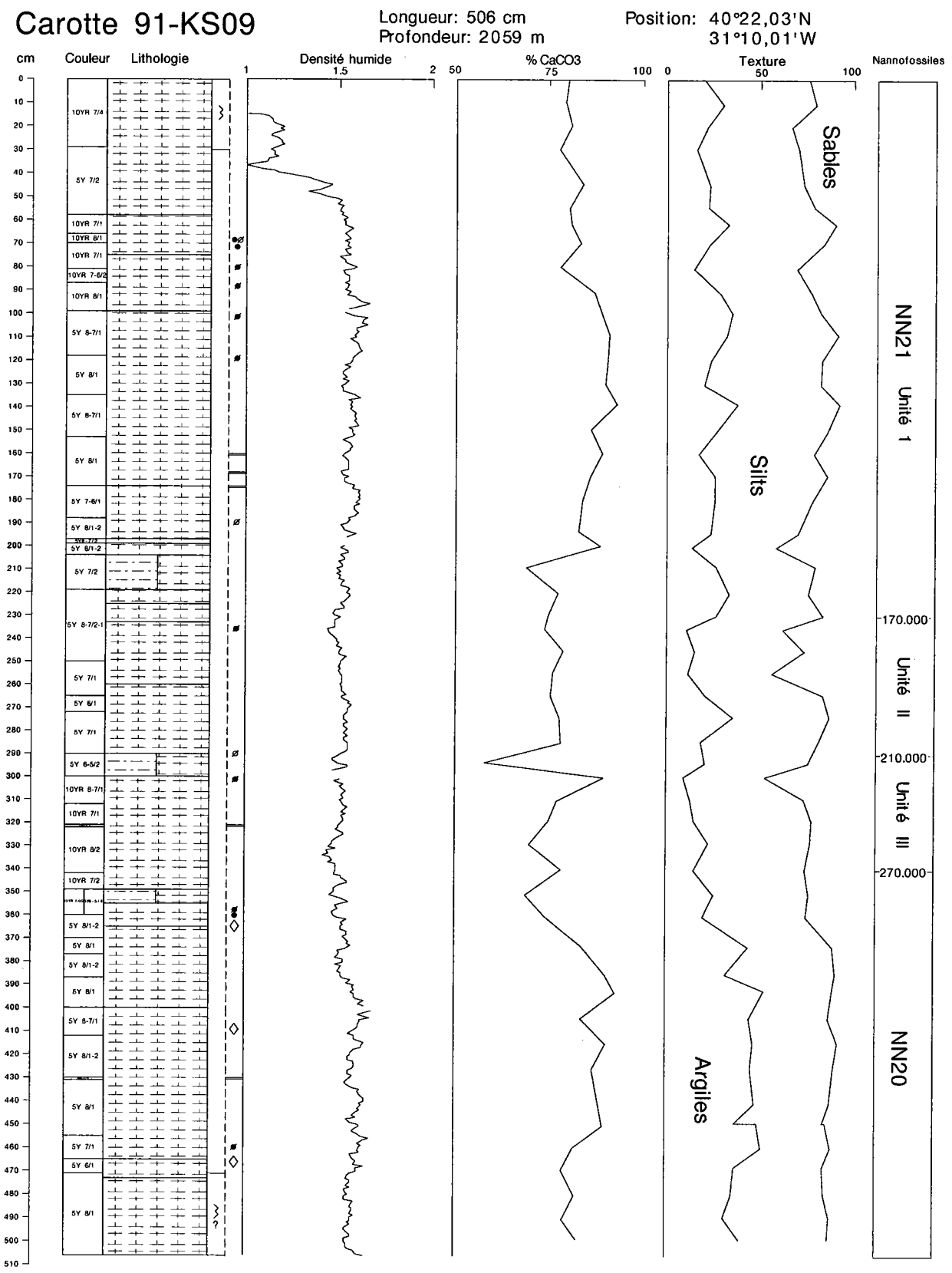
Carotte 91-KS07

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	5	74				91	22	42	36			
12	20	72	42	1.52	0.80	29	51	33	15	0.64	0.48	0.17
20	30	84		1.48	0.73	128	20	19	61	0.59	0.42	0.16
30	43	85		1.51	0.78	191	20	16	65	0.63	0.53	0.10
40	56	83		1.48	0.73	150	16	19	65	0.59	0.50	0.09
50	69	81		1.48	0.73	124	19	25	56	0.59	0.49	0.10
60	81	81		1.44	0.66	154	22	18	60	0.60	0.48	0.11
70	93	85		1.43	0.65	125	26	26	48	0.58	0.47	0.11
80	104	83		1.38	0.58	122	30	23	48	0.52	0.44	0.08
90	116	86		1.36	0.54	131	16	21	63	0.49	0.41	0.08
100	128	84		1.62	0.96	140	28	21	50	0.86	0.74	0.12
106							8	4	88			
110							5	5	90			
114	135	80		1.51	0.78	117	16	26	58	0.71	0.60	0.11
116	137	81		1.50	0.77	197	4	5	91	0.69	0.56	0.14
120	140	85		1.53	0.82	113	19	28	53	0.74	0.60	0.14
130	149	81		1.54	0.84	100	19	29	51	0.75	0.64	0.12
140	163	79		1.54	0.84	93	26	33	42	0.75	0.61	0.15
150	176	72		1.57	0.87	120	16	27	57	0.78	0.62	0.16
163	190	70	44	1.55	0.85	97	29	27	44	0.77	0.55	0.22
170	198	67		1.59	0.90	104	18	30	52	0.81	0.57	0.24
180	208	71		1.52	0.80	78	34	30	36	0.72	0.49	0.24
190	220	66		1.58	0.89	90	25	38	37	0.80	0.57	0.23
195		17		1.34	0.51		16	32	52			
200	230	77		1.57	0.87	179	19	16	65	0.46	0.30	0.15
210	240	76		1.35	0.53	137	24	26	51	0.78	0.60	0.18
220	251	72		1.12	0.15	143	16	23	62	0.68	0.52	0.16
226	258	78	46	1.27	0.39	166	25	17	57	0.19	0.14	0.05
230	262	63		1.48	0.73	116	18	29	54	0.51	0.39	0.11
240	272	73		1.43	0.65	136	17	24	59	0.95	0.60	0.35
250	278	86		1.44	0.66	63	40	36	25	0.84	0.61	0.23
260	285	82		1.54	0.84	137	23	23	55	0.86	0.74	0.12
270	291	71		1.57	0.87	132	14	23	63	1.09	0.90	0.19
280	298	75		1.55	0.85	84	28	34	38	1.13	0.80	0.33
290	304	74				174	16	15	70	1.88	1.41	0.47
300	311	78				115	38	16	47			
310	315	85		1.64	0.99	58	40	33	28	2.18	1.70	0.48
320	319	86		1.67	1.04	61	34	38	29	2.29	1.94	0.35
331	324	86	40	1.64	0.99	20	63	28	9	2.18	1.87	0.31
340	328	82		1.64	0.99	54	38	37	24	2.18	1.87	0.31
350	332	82		1.63	0.97	50	44	34	22	2.14	1.77	0.38
360	337	74		1.64	0.99	62	34	36	30	2.18	1.78	0.40
370	341	87		1.63	0.97	39	42	41	17	2.24	1.66	0.58
380	345	89		1.64	0.99	40	60	23	17	2.28	1.97	0.31
390	350	84		1.63	0.97	61	39	38	22	2.24	1.98	0.26
402	353	79		1.49	0.75	243	6	5	89			
410	353	85		1.58	0.89	239	5	4	91			
419		92	47	1.61	0.94	238	9	1	90			
426							14	4	82			
434		88				221	11	5	85			


Carotte 91-KS08
Longueur: 368 cm
Profondeur: 2118 m
Position: 38°57,6'N
32°46,53'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
5Y 6/4
5Y 7/2
5Y 6/2
10YR 7/2
10YR 7.5/1
10YR 8/1
10YR 7.5/1
10YR 7/2
10YR 8/1
PLUS FONCÉ QUE 10YR 8/1
5Y 8/1
5Y 8/1
5Y 8/1-2
5Y 8/2-3
Pliocène inférieur remanié
Sables
Silts
Argiles
NN21
Pliocène inférieur remanié

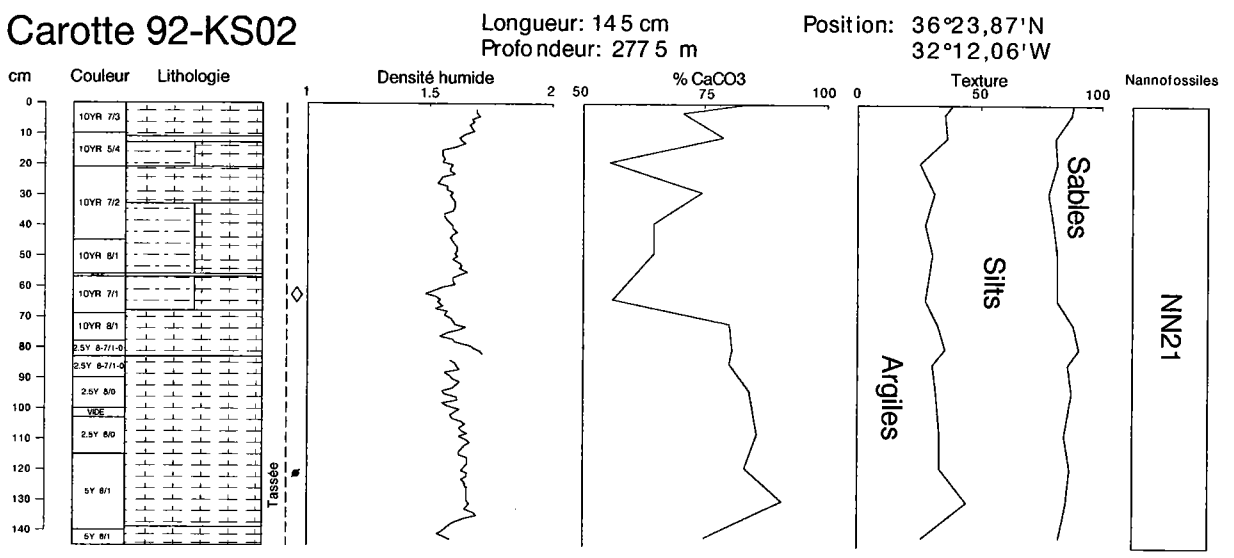
Carotte 91-KS08

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	6	87				62	42	31	27	0.98	0.85	0.12
9	13	82	52	1.49	0.75	77	33	36	32	0.82	0.67	0.15
20	21	75		1.42	0.63	69	24	46	30	0.93	0.69	0.24
30	29	85		1.47	0.72	79	33	33	34	0.95	0.81	0.14
40	36	83		1.48	0.73	53	37	41	22	1.06	0.88	0.18
50	44	86		1.53	0.82	48	47	30	23	0.93	0.80	0.13
60	51	82		1.47	0.72	43	48	34	18	0.82	0.67	0.15
70	59	78		1.42	0.63	39	35	51	14	0.42	0.33	0.09
80	67	80		1.22	0.32	47	30	52	18	1.11	0.89	0.22
90	74	88		1.55	0.85	39	55	29	16	1.13	0.99	0.14
100	80	92		1.49	0.75	44	59	23	18	0.82	0.75	0.07
148		94	52	1.36	0.54	19	55	40	4			
200						26	53	34	13			
230		89		1.63	0.97	52	37	27	36			
263		96		1.55	0.85	89	24	17	59			
290		90		1.55	0.85	105	14	17	69			
320		90		1.57	0.87	134	9	11	80			
340		95		1.54	0.84	134	15	10	75			
350		93	36	1.63	0.97	134	9	11	80			


Carotte 91-KS09
Longueur: 506 cm
Profondeur: 2059 m
Position: 40°22,03'N
31°10,01'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Unité 1
170.000
Unité II
210.000
Unité III
270.000
NN20

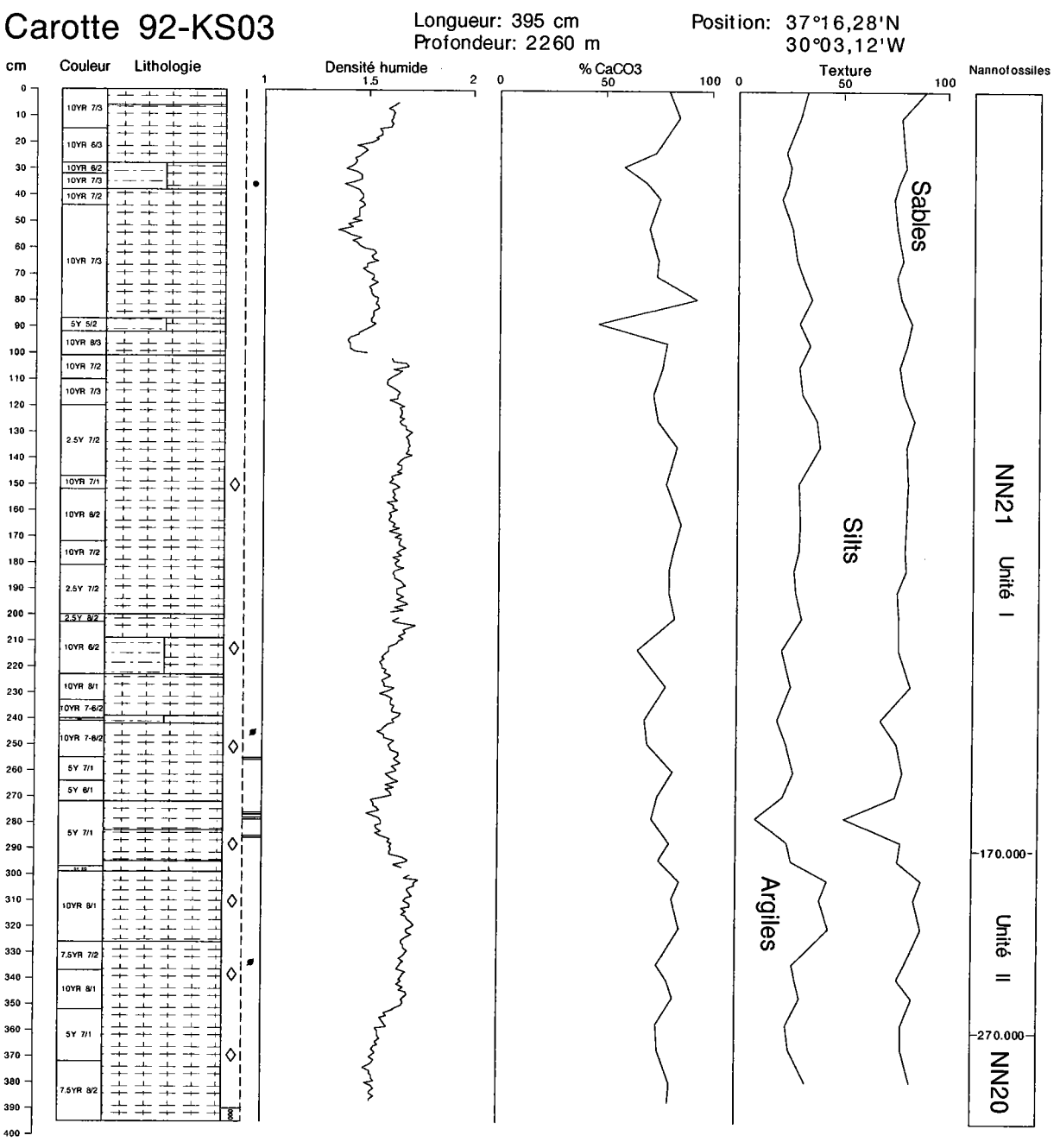
Carotte 91-KS09

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	0	80				65	35	39	27			
10	7	79				59	49	27	24			
20	16	81	42			78	30	32	37			
30	24	78				77	27	41	32			
45	36	84	45	1.42	0.63	85	36	35	30	0.76	0.63	0.12
55	45	80		1.47	0.72	57	37	40	23	0.86	0.69	0.17
62	50	81	46	1.49	0.75	26	51	37	12	0.90	0.73	0.17
70	57	83		1.51	0.78	44	40	42	18	0.94	0.78	0.16
80	65	78		1.55	0.85	70	24	43	33	0.94	0.73	0.21
91	75	87	46	1.52	0.80	79	42	33	25	1.36	1.19	0.18
100							51	29	20			
109	89	91	43	1.54	0.84	24	51	39	10	1.42	1.29	0.13
120	98	91		1.53	0.82	50	38	43	19	1.39	1.26	0.13
130	103	90		1.49	0.75	51	35	46	19	1.28	1.15	0.13
139	107	93	44	1.52	0.80	21	61	30	9	1.36	1.27	0.10
150	111	86		1.53	0.82	40	45	39	16	1.39	1.20	0.19
160	116	89		1.49	0.75	49	28	49	23	1.28	1.14	0.14
170	122	86		1.51	0.78	43	47	37	16	1.33	1.15	0.19
180	127	84	47	1.58	0.89	79	41	35	25	1.51	1.27	0.24
194	140	83	47	1.52	0.80	94	37	30	33	0.80	0.67	0.14
200	148	89		1.49	0.75	88	22	35	44	0.75	0.67	0.08
209	160	69	48	1.48	0.73	56	42	36	23	0.73	0.51	0.23
220	173	78		1.50	0.77	63	50	22	28	0.77	0.60	0.17
230	180	75		1.44	0.66	43	43	39	18	0.66	0.50	0.17
236	184	74	51	1.39	0.60	79	19	42	40	0.60	0.44	0.15
245	190	79		1.47	0.72	67	25	47	28	0.93	0.73	0.20
255	197	76		1.47	0.72	77	18	36	46	0.93	0.71	0.22
265	204	76		1.48	0.73	44	34	49	18	0.95	0.72	0.23
274	210	78	46	1.49	0.75	35	52	34	15	0.98	0.76	0.21
285	220	78		1.51	0.78	47	29	51	20	1.02	0.80	0.22
294	227	58	48	1.46	0.70	66	32	42	27	0.91	0.53	0.38
300	232	90		1.47	0.72	86	15	36	49	0.93	0.83	0.10
310	241	77		1.47	0.72	57	22	50	28	0.93	0.72	0.21
319	246	75		1.49	0.75	56	26	50	24	1.28	0.96	0.32
329	252	70	49	1.43	0.65	61	36	38	25	1.10	0.77	0.33
340	259	79		1.45	0.68	65	25	47	27	1.16	0.91	0.25
351	266	69	49	1.42	0.63	62	38	36	27	1.07	0.74	0.33
360	271	74		1.44	0.66	55	27	46	27	1.13	0.84	0.29
373	279	84	44	1.53	0.82	35	59	29	12	1.39	1.17	0.22
385	286	90		1.48	0.73	30	45	45	10	1.25	1.13	0.12
393	291	93	41	1.53	0.82	36	67	20	13	1.39	1.29	0.10
404	297	84	41	1.64	0.99	36	59	26	15	1.68	1.41	0.27
415	304	90		1.61	0.94	25	63	28	9	1.60	1.44	0.15
426	311	87	42	1.54	0.84	34	62	26	12	1.42	1.24	0.18
441			41				65	21	14			
450	325	90		1.58	0.89	43	65	18	17	1.51	1.35	0.15
460	331	82		1.59	0.90	34	69	18	14	1.54	1.26	0.28
469	337	79	43	1.57	0.87	46	53	29	18	1.48	1.17	0.31
480	343	82		1.52	0.80	44	48	35	17	1.36	1.12	0.24
490	349	79		1.53	0.82	38	46	40	14	1.39	1.10	0.29
499	355	83	45	1.50	0.77	40	56	29	15	1.30	1.08	0.22


Carotte 92-KS02
Longueur: 145 cm
Profondeur: 277 5 m
Position: 36°23,87'N
32°12,06'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
10YR 7/3
10YR 5/4
10YR 7/2
10YR 8/1
10YR 7/1
10YR 8/1
2.5Y 8-7/1-0
2.5Y 8-7/1-0
2.5Y 8/0
VIDE
2.5Y 8/0
5Y 8/1
5Y 8/1
Tassée
Sables
Silts
Argiles
NN21

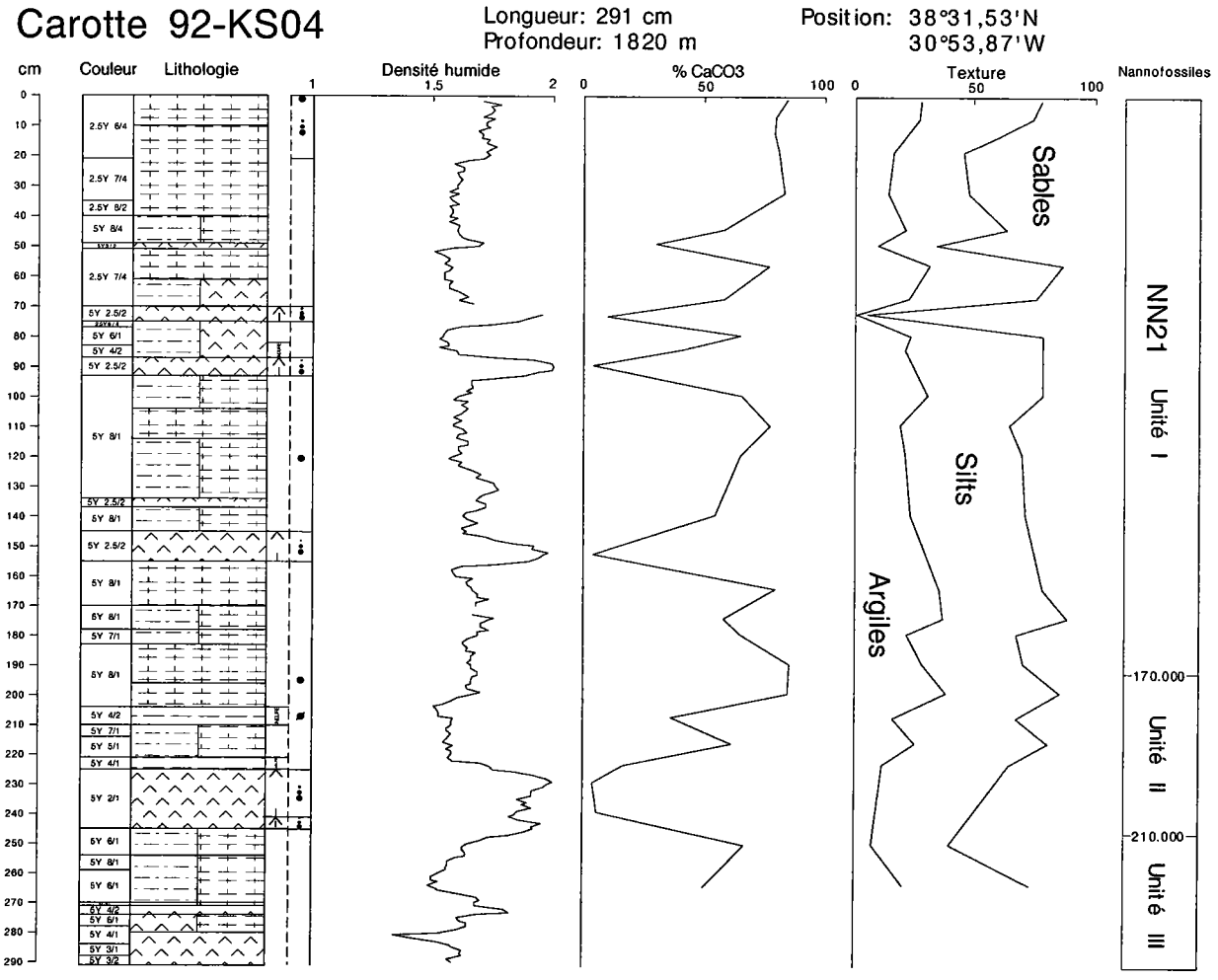
Carotte 92-KS02

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	4.0	83				42	66	21	14			
3	4.3	71	45	1.66	1.03	32	60	25	15	4.10	3.42	0.68
11	5.2	79		1.59	0.90	51	55	23	22	3.62	2.55	1.07
19	7.3	56	52	1.51	0.78	48	40	40	20	3.14	2.47	0.67
29	10.8	74		1.55	0.85	56	49	26	25	3.41	1.89	1.52
39	14.2	65	51	1.54	0.84	62	45	32	22	2.17	1.61	0.56
49	17.8	65	51	1.57	0.87	70	49	31	20	2.26	1.46	0.80
64	24.0	56	53	1.50	0.77	52	43	36	20	1.99	1.29	0.71
72	27.2	80		1.57	0.87	30	53	33	14	2.00	1.12	0.88
80	30.5	81	48	1.65	1.01	28	58	31	11	2.32	1.85	0.47
85	32.6	80	50	1.57	0.87	49	49	35	16	2.00	1.61	0.39
94	36.0	84	63	1.51	0.78	47	52	34	14	1.80	1.44	0.36
108	41.3	85		1.62	0.96	52	54	29	17	2.20	1.85	0.35
119	45.5	83	47	1.61	0.94	46	54	31	15	2.16	1.85	0.31
130	51.3	90		1.62	0.96	45	65	17	17	2.20	1.83	0.37
142	58.1	75	51	1.52	0.80	60	46	34	20	1.84	1.67	0.18


Carotte 92-KS03
Longueur: 395 cm
Profondeur: 2260 m
Position: 37°16,28'N
30°03,12'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
270.000
NN20

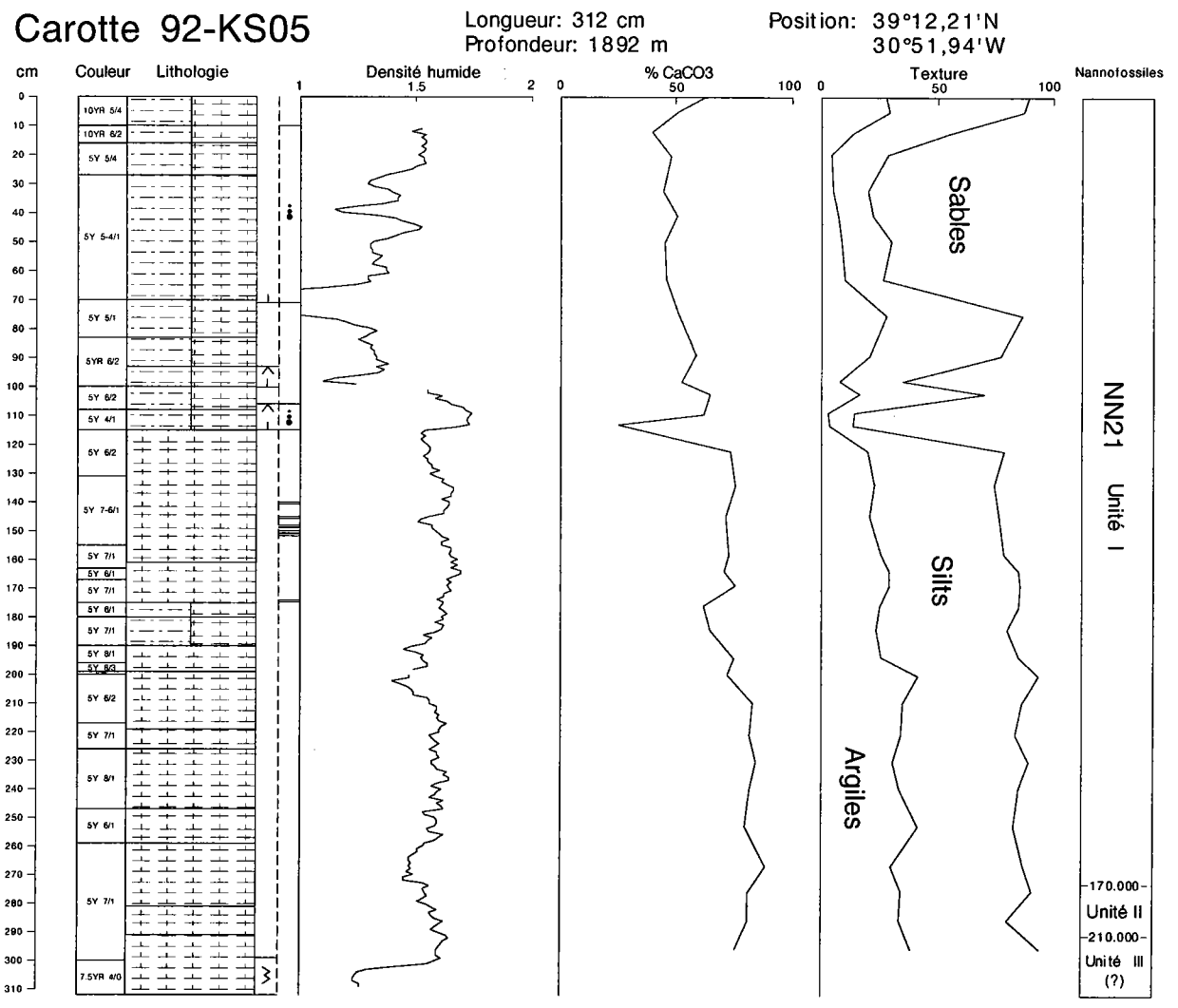
Carotte 92-KS03

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	2	79				25	58	30	12			
10	9	84	44	1.58	0.89	64	47	28	25	1.24	1.04	0.20
23	18	73	47	1.45	0.68	54	36	42	23	0.95	0.70	0.26
29	23	58	50	1.37	0.56	58	38	39	23	0.79	0.46	0.33
35	27	69	54	1.37	0.56	64	37	38	26	0.84	0.58	0.27
41	31	75	52	1.43	0.65	73	33	39	28	0.97	0.73	0.24
52	39	70		1.37	0.56	71	41	32	27	0.84	0.59	0.25
64	47	74	48	1.48	0.73	63	45	30	24	1.10	0.81	0.28
70	51	74		1.48	0.73	68	49	23	28	1.10	0.81	0.29
79	57	93		1.50	0.77	77	51	24	25	1.15	1.07	0.08
88	62	46	44	1.47	0.72	50	45	36	20	0.86	0.40	0.46
96	69	79	54	1.36	0.54	66	53	25	22	0.65	0.51	0.14
105	79	77	46	1.66	1.03	73	45	30	25	1.64	1.25	0.39
115	90	72	48	1.62	0.96	72	45	33	23	1.53	1.10	0.43
125	94	75		1.64	0.99	46	55	27	18	1.59	1.18	0.40
135	98	84	44	1.67	1.04	65	56	21	23	1.67	1.39	0.28
149	105	79	46	1.57	0.87	55	45	34	21	1.39	1.09	0.30
165	114	86	47	1.60	0.92	68	52	26	21	1.48	1.26	0.21
175	119	83	45	1.63	0.97	66	48	30	22	1.56	1.29	0.27
182	123	80		1.64	0.99	61	45	33	22	1.59	1.27	0.32
191	128	80	46	1.61	0.94	80	45	29	26	0.94	0.75	0.19
201	140	83	44	1.62	0.96	92	48	26	26	0.96	0.79	0.16
213	154	65	49	1.57	0.87	62	35	39	25	0.87	0.57	0.30
227	168	79	41	1.54	0.84	58	43	39	19	0.84	0.66	0.18
240	180	69	47	1.59	0.90	87	30	36	34	0.90	0.62	0.29
249	188	71	48	1.59	0.90	66	38	36	26	1.54	1.08	0.45
260	197	83	46	1.61	0.94	61	44	33	23	1.60	1.32	0.28
269	201	75	46	1.59	0.90	64	37	36	27	1.54	1.15	0.38
278	206	72		1.52	0.80	92	16	33	51	1.36	0.99	0.38
287	210	81	47	1.57	0.87	61	39	37	24	1.48	1.19	0.29
294	213	76	46	1.67	1.04	58	41	33	26	1.77	1.35	0.43
302	217	86		1.73	1.13	27	62	23	14	1.92	1.65	0.27
309	220	82	44	1.66	1.03	34	59	24	18	1.74	1.43	0.31
320	226	86		1.69	1.08	27	63	23	13	1.83	1.57	0.26
334	233	76	47	1.64	0.99	58	44	35	21	1.68	1.27	0.41
340	238	80	47	1.63	0.97	83	47	28	25	1.66	1.32	0.33
347	246	83	45	1.65	1.01	57	49	33	18	1.21	1.00	0.21
357	258	75	51	1.55	0.85	55	39	38	23	1.02	0.77	0.26
367	268	76	55	1.49	0.75	56	43	33	23	0.90	0.68	0.22
380	277	82	51	1.46	0.70	65	54	27	19	0.84	0.68	0.16
387	282	81		1.48	0.73	56	51	28	20	0.88	0.71	0.17


Carotte 92-KS04
Longueur: 291 cm
Profondeur: 1820 m
Position: 38°31,53'N
30°53,87'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1,5
2
% CaCO3
0
50
100
Texture
0
50
100
Sables
Silts
Argiles
Nannofossiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
210.000
Unité III

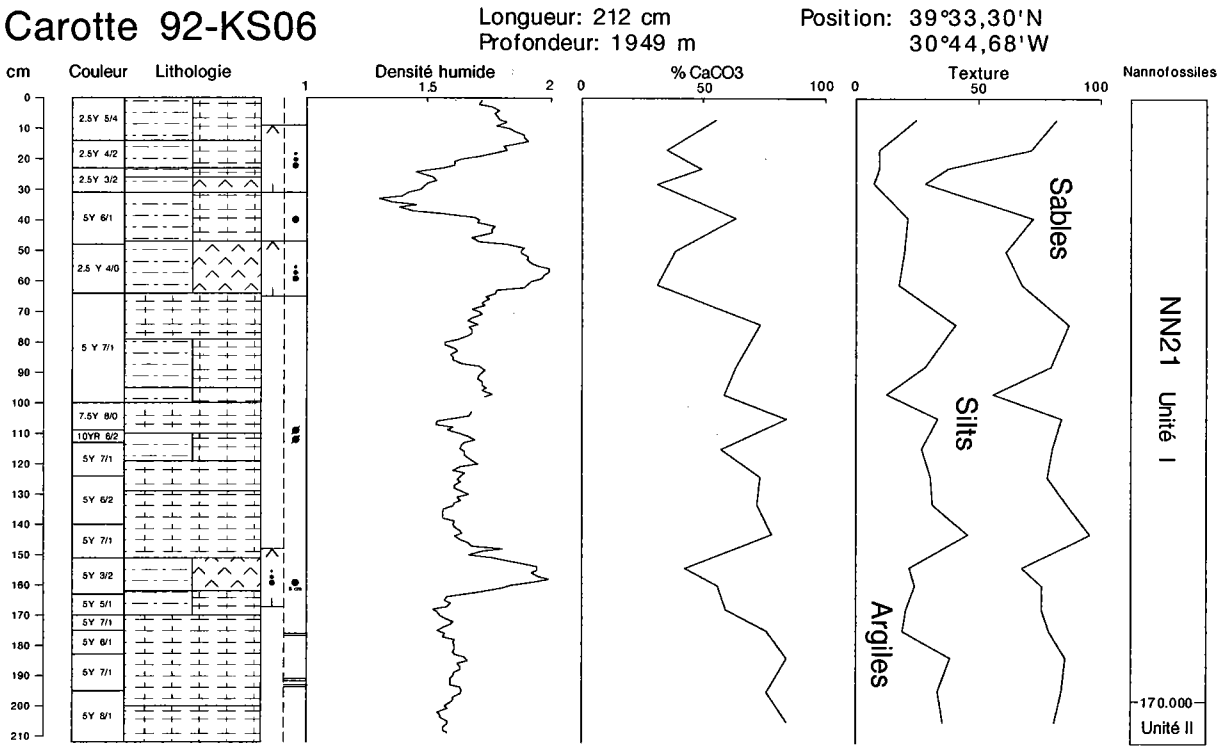
Carotte 92-KS04

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
1	4	85	44	1.68	1.06	72	46	29	25	0.95	0.81	0.15
7	11	80	43	1.68	1.06	74	43	28	29	0.95	0.76	0.19
12	16	79	41	1.66	1.03	109	33	24	44	0.92	0.73	0.19
18	23	81	41	1.70	1.09	148	23	19	58	0.98	0.80	0.19
32	38	83	46	1.53	0.82	135	21	24	55	0.90	0.75	0.15
44	52	59	44	1.58	0.89	112	33	27	40	0.98	0.57	0.41
49		30	16			261	15	17	68			
56	58	77	48	1.51	0.78	38	48	36	16	0.86	0.66	0.20
67	66	59	64	1.62	0.96	67	37	37	27	1.72	1.01	0.71
72		10	33			476	2	3	95			
79	71	66	53	1.51	0.78	69	38	39	23	1.41	0.92	0.49
84	74	41	53	1.49	0.75	79	33	44	23	0.53	0.22	0.31
89		4	33									
99	87	66	47	1.63	0.97	67	48	28	25	0.68	0.45	0.23
109	106	77		1.55	0.85	73	31	31	38	0.60	0.46	0.13
119	125	66	49	1.59	0.90	86	34	34	33	0.63	0.41	0.22
139	157	55	46	1.61	0.94	87	38	30	32	0.85	0.46	0.38
152		4	34									
164	176	80	44	1.63	0.97	68	54	21	24	0.88	0.70	0.18
174	188	59	43	1.73	1.13	30	57	30	14	1.02	0.59	0.42
179	194	65	45	1.66	1.03	95	35	30	35	1.54	1.00	0.54
189	206	86	45	1.62	0.96	75	44	23	33	1.43	1.23	0.21
199	218	85	42	1.67	1.04	52	58	25	17	1.56	1.33	0.23
207		37	50			105	26	40	35			
216	226	62	23	1.51	0.78	55	41	37	21	1.18	0.73	0.45
223		17	41			75	18	45	37			
229		4	32									
239		6	32									
250	234	67	46	1.62	0.96	125	12	26	62	1.43	0.96	0.47
264	248	50	51	1.45	0.68	83	35	36	29	0.95	0.48	0.48


Carotte 92-KS05
Longueur: 312 cm
Profondeur: 1892 m
Position: 39°12,21'N
30°51,94'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21 Unité I
170.000
Unité II
210.000
Unité III
(?)

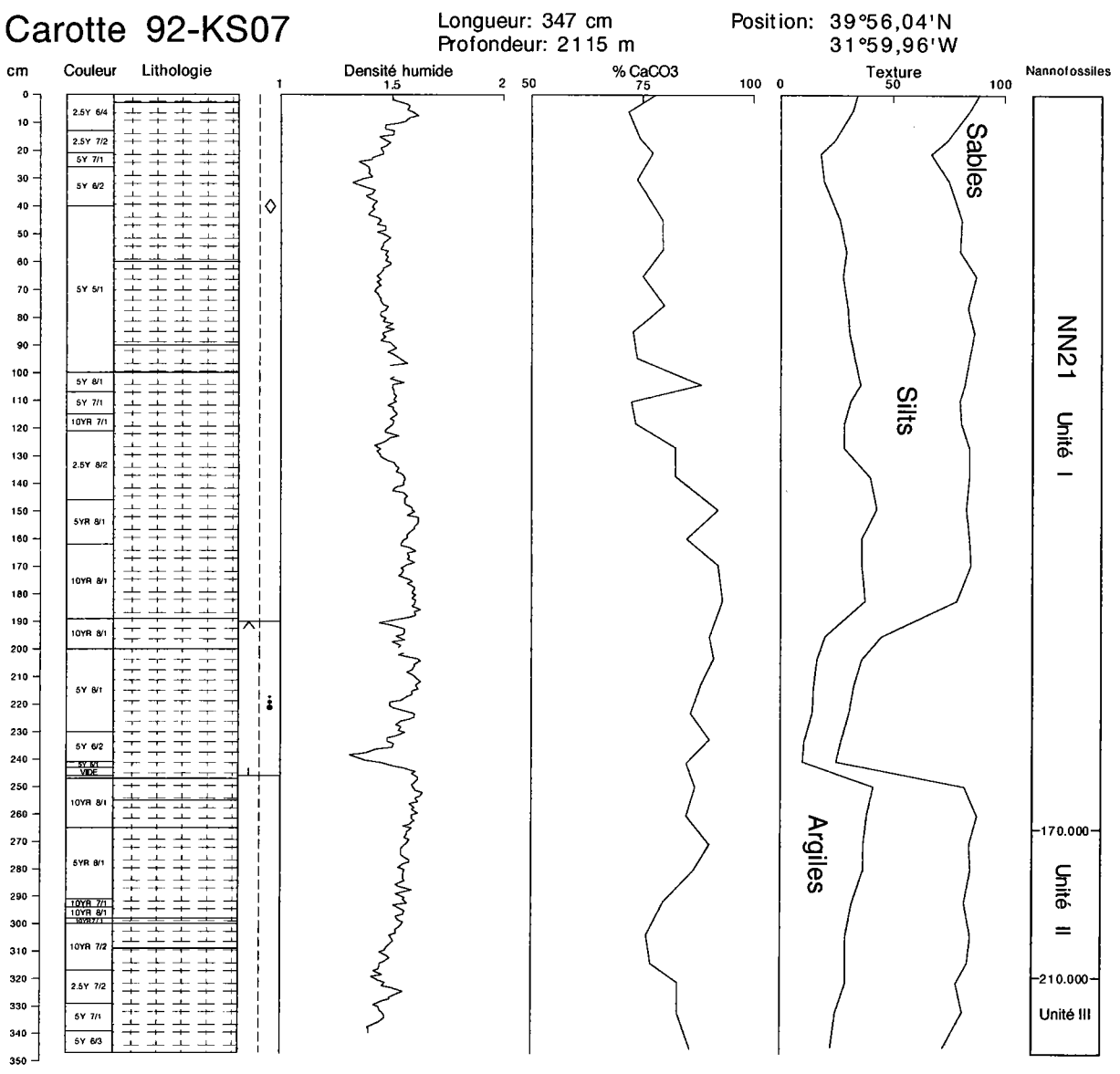
Carotte 92-KS05

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	0.1	63				33	47	41	12			
5	1.8	52	42			51	48	38	14			
12	3.4	40		1.44	0.66	92	18	35	47			
20	3.4	48	38	1.47	0.72	105	7	21	72			
32	3.4	45	34	1.33	0.49	188	7	11	82			
41	3.4	51		1.28	0.41	238	10	10	80			
50	3.4	45	26	1.27	0.39	257	13	15	72			
63	3.5	46	24	1.23	0.34	299	14	10	76			
75	3.7	52	39			31	42	43	15			
89	6.3	59	53	1.27	0.39	61	32	42	25			
98	9.0	53	38	1.03	0.01	169	12	21	67			
102	11.0	65	50	1.51	0.78	78	27	42	32			
109	16.6	62	44	1.72	1.11	200	4	10	86			
113	16.7	25	44	1.70	1.09	195	5	8	88			
122	21.2	74	51	1.52	0.80	54	33	43	23			
134	29.2	76		1.60	0.92	60	37	35	28	1.38	1.05	0.34
145	36.4	72	51	1.52	0.80	66	35	39	26	1.20	0.87	0.34
158	45.1	73	46	1.61	0.94	63	41	36	24	1.41	1.03	0.38
164	49.0	71	45	1.66	1.03	43	46	37	17	1.54	1.09	0.45
169	52.4	76	46	1.60	0.92	40	48	35	16	1.38	1.05	0.33
176	57.0	62	47	1.58	0.89	43	42	42	16	1.33	0.83	0.51
184	61.4	65	50	1.58	0.89	55	39	39	22	2.66	1.73	0.93
194	64.6	75	55	1.48	0.73	44	42	41	17	2.20	1.65	0.55
200	66.5	72		1.43	0.65	18	65	28	7	1.94	1.40	0.54
210	69.6	83	48	1.52	0.80	42	56	28	16	2.41	2.00	0.41
221	73.1	82	46	1.52	0.80	51	52	29	19	1.44	1.18	0.26
230	75.9	85		1.53	0.82	30	50	38	12	1.47	1.25	0.23
240	79.1	82	48	1.58	0.89	46	52	31	17	1.60	1.31	0.29
253	83.2	80	44	1.54	0.84	50	57	23	20	1.50	1.20	0.30
267	86.4	89	53	1.43	0.65	46	51	34	15	1.16	1.04	0.13
276	88.5	81		1.50	0.77	25	56	33	10	1.38	1.12	0.26
286	90.9	81	47	1.59	0.90	68	52	25	23	1.63	1.32	0.31
296	93.0	76		1.55	0.85	19	62	32	6	1.54	1.16	0.37


Carotte 92-KS06
Longueur: 212 cm
Profondeur: 1949 m
Position: 39°33,30'N
30°44,68'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II

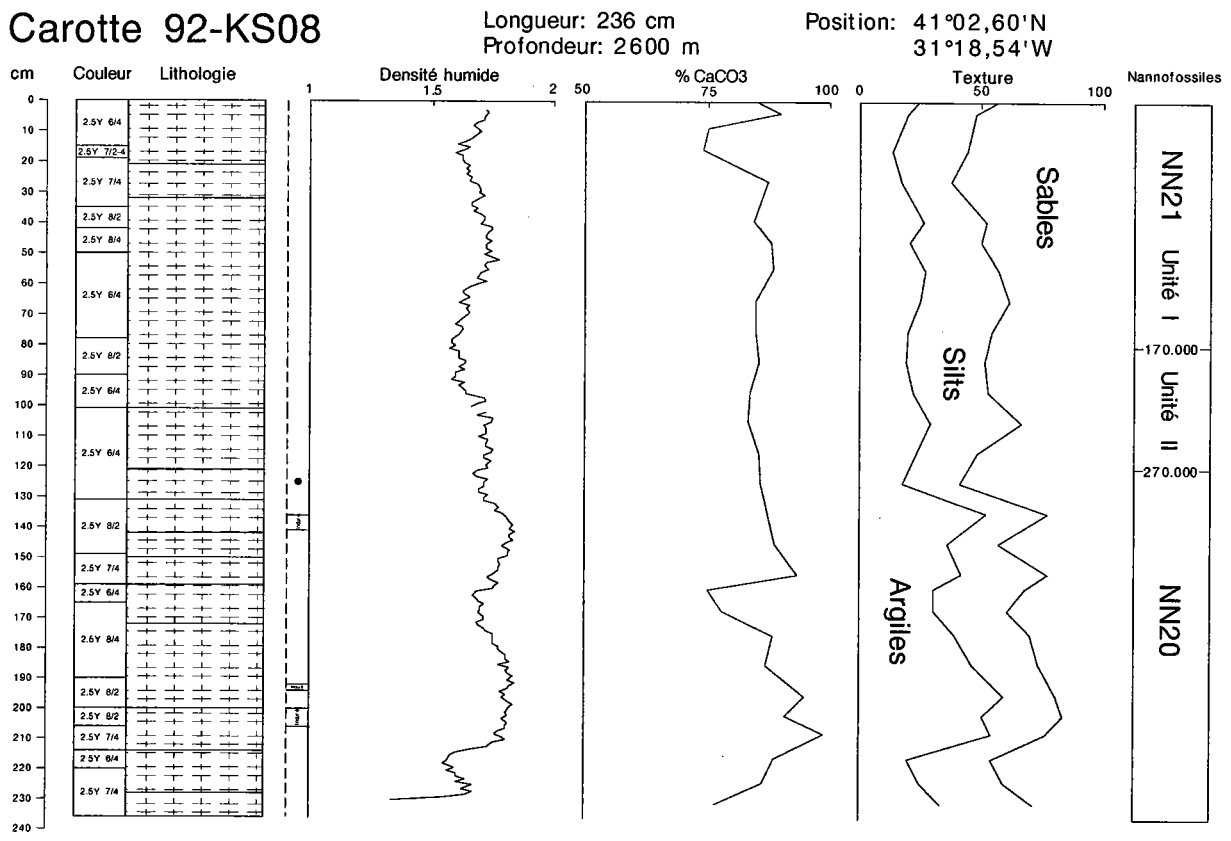
Carotte 92-KS06

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
7	20	55	40	1.77	1.20	59	41	39	21			
17		35	36	1.80	1.25	53	13	58	30			
23		49	33	1.52	0.80	136	13	22	65			
28		31	28	1.46	0.70	245	12	15	74			
39	24	63	43	1.66	1.03	78	34	35	30			
50		38	29	1.87	1.35	138	29	30	42			
61	42	31	31	1.90	1.40	118	26	40	34			
74	52	73	39	1.67	1.04	46	61	23	16			
88	63	63	44	1.68	1.06	50	45	32	23	2.12	1.34	0.78
97	69	58		1.74	1.15	108	19	34	46	2.29	1.34	0.95
105	75	84	58	1.58	0.89	50	51	30	19	1.78	1.49	0.28
115	82	57	42	1.60	0.92	53	43	35	23	1.84	1.05	0.79
124	89	73		1.61	0.94	61	46	30	25	1.88	1.38	0.50
133	95	72	43	1.58	0.89	42	50	34	16	1.78	1.28	0.50
143	102	78		1.61	0.94	15	70	25	5	1.88	1.47	0.41
154		42	26	1.93	1.46	109	32	33	35			
160		56		1.82	1.28	66	37	37	27			
168	105	59	46	1.48	0.73	60	33	40	26			
175	108	76		1.50	0.77	55	31	46	23	1.53	1.17	0.37
184	111	84	42	1.62	0.96	43	57	26	17	1.91	1.61	0.31
195	117	76		1.61	0.94	37	51	31	19	1.88	1.43	0.45
205	122	84	42	1.54	0.84	63	53	24	22	1.67	1.40	0.27


Carotte 92-KS07
Longueur: 347 cm
Profondeur: 2115 m
Position: 39°56,04'N
31°59,96'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1.5
2
% CaCO3
50
75
100
Texture
0
50
100
Sables
Silts
Argiles
Nannofossiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
210.000
Unité III

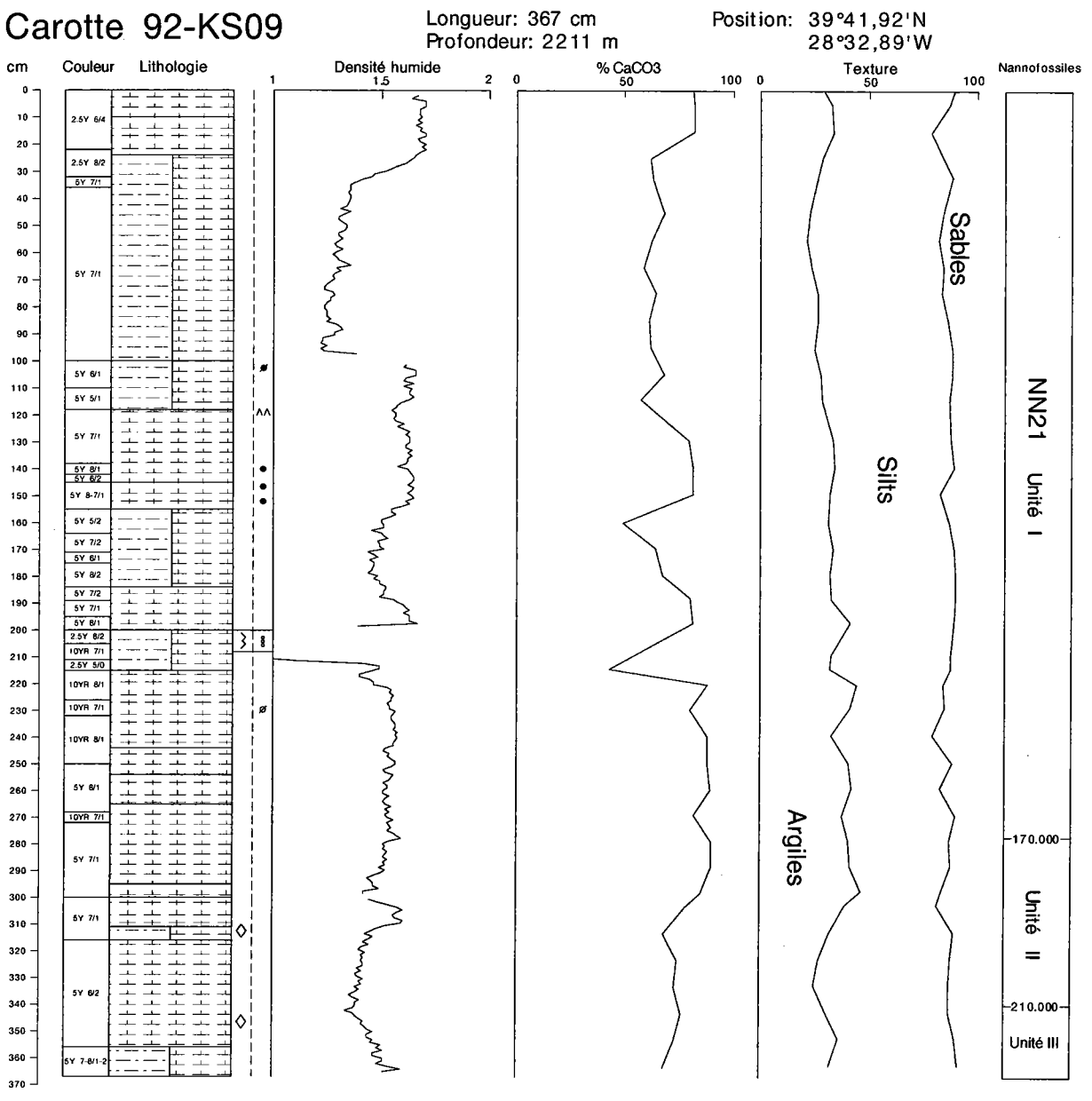
Carotte 92-KS07

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0		78				29	57	30	13			
6		72	42	1.55	0.85	48	51	31	18			
16		75	48	1.43	0.65	66	37	35	28			
21		78	50	1.42	0.63	86	28	37	35			
31		74	54	1.29	0.42	60	31	42	27			
45		80	51	1.41	0.61	51	43	36	21			
56		80	47	1.44	0.66	53	46	31	23			
65		75	52	1.38	0.58	37	46	40	14			
76		80	49	1.44	0.66	43	48	34	18			
85		73	48	1.42	0.63	38	48	37	15			
95		74	46	1.50	0.77	50	47	31	21			
104		88	46	1.46	0.70	47	53	26	21			
110		73	45	1.48	0.73	56	48	29	23			
118		74	49	1.46	0.70	55	45	33	22			
127		83	51	1.41	0.61	49	44	39	18			
137		83	44	1.51	0.78	50	58	24	18			
149		92	42	1.55	0.85	55	60	19	21			
159		85	45	1.53	0.82	45	56	26	18			
169		92	44	1.53	0.82	51	57	26	18			
182		93	41	1.58	0.89	76	56	19	25			
195		90	41	1.48	0.73	124	26	14	60			
203		91	44	1.59	0.90	164	21	10	68			
213		88	43	1.58	0.89	153	18	10	72			
223		86	43	1.57	0.87	144	17	9	74			
233		90	45	1.44	0.66	177	14	10	76			
241		85	40	1.41	0.61	176	13	9	78			
250		87	41	1.57	0.87	56	60	19	21			
260		85	43	1.55	0.85	37	59	27	14			
271		90	44	1.52	0.80	53	56	25	18			
280		87	47	1.52	0.80	51	57	26	18			
292		80	45	1.53	0.82	53	52	28	20			
304		76	45	1.45	0.68	43	48	35	17			
314		77	48	1.41	0.61	49	49	33	18			
321		83	48	1.43	0.65	60	47	29	24			
332		83	52	1.42	0.63	51	42	37	21			
345		86	54			75	37	34	30			


Carotte 92-KS08
Longueur: 236 cm
Profondeur: 2600 m
Position: 41°02,60'N
31°18,54'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
% CaCO3
Texture
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
270.000
NN20

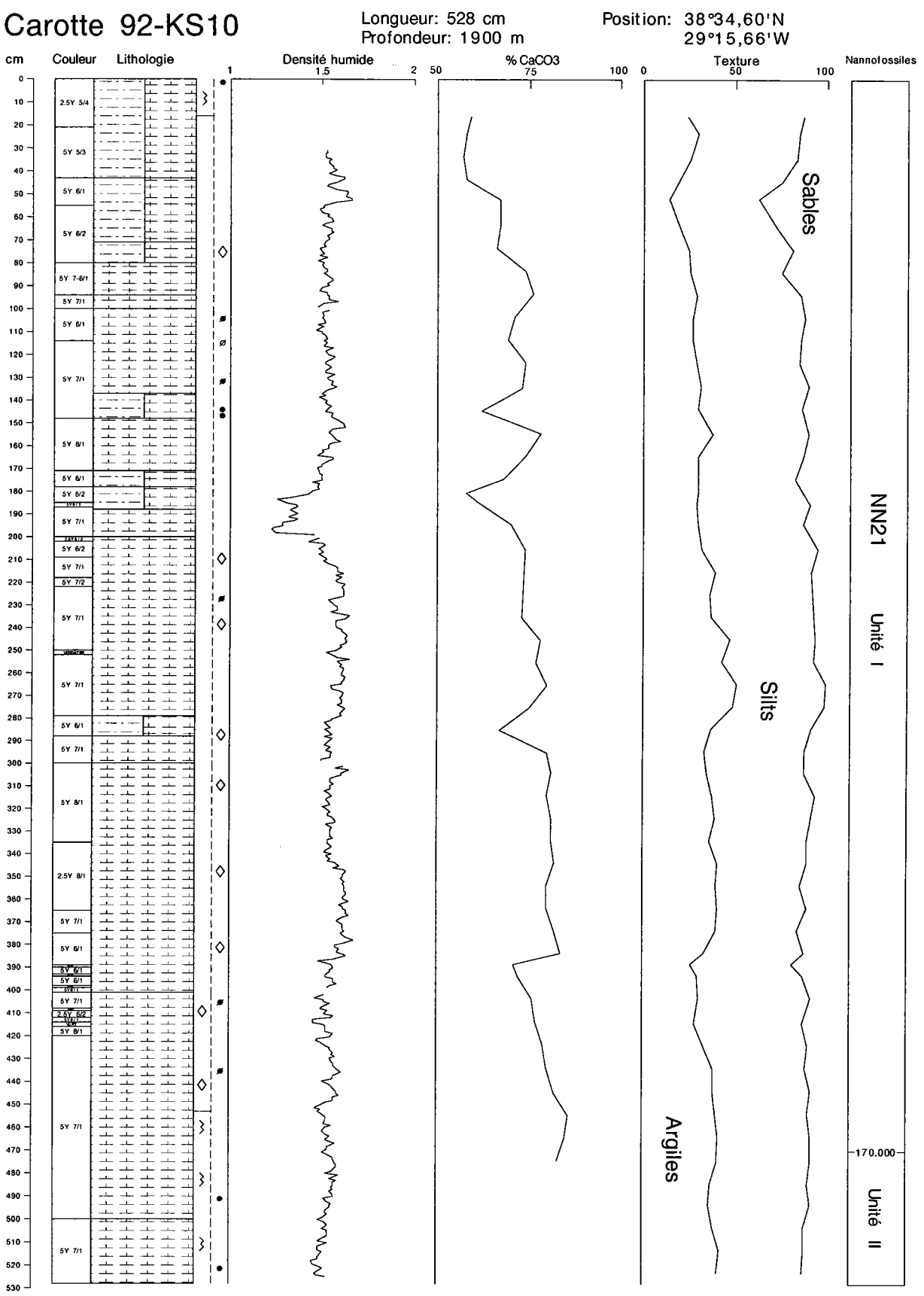
Carotte 92-KS08

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	8	85				163	39	13	48			
4	19	90	40	1.70	1.09	195	30	13	56	0.44	0.39	0.04
9	32	75		1.65	1.01					0.50	0.38	0.13
16	49	74	44	1.60	0.92	162	20	21	59	0.46	0.34	0.12
26	66	88	42	1.62	0.96	203	24	9	67	0.57	0.50	0.07
39	95	85	39	1.68	1.06	145	36	11	53	0.42	0.36	0.07
46	112	88	42	1.72	1.11	124	29	17	54	0.44	0.39	0.05
55	144	89	40	1.70	1.09	123	37	15	48	0.55	0.48	0.06
65	163	85	44	1.60	0.92	112	38	19	43	0.46	0.39	0.07
75	182	85	45	1.59	0.90	124	30	21	50	0.45	0.38	0.07
85	201	86	44	1.61	0.94	146	29	19	53	0.47	0.40	0.07
95	219	84	43	1.61	0.94	139	32	16	52	0.47	0.39	0.08
105	237	84	41	1.72	1.11	100	43	19	38	0.56	0.46	0.09
115	255	86	41	1.72	1.11	166	33	10	57	0.67	0.57	0.10
125	273	86	42	1.68	1.06	181	25	12	63	0.64	0.55	0.09
135			37			57	62	10	28	0.61	0.54	0.07
145	306	89	37	1.78	1.21	122	42	9	49			
155	325	94	41	1.73	1.13	60	55	18	27	0.56	0.53	0.04
160	334	75	43	1.73	1.13	91	41	23	36	0.56	0.42	0.14
167	347	78	43	1.67	1.04	111	39	17	44	0.52	0.41	0.11
175	362	89	41	1.73	1.13	80	50	15	35	0.56	0.50	0.06
185	380	87	38	1.75	1.16	70	56	13	31	0.58	0.51	0.08
195	399	95	44	1.78	1.21	52	66	10	24	0.61	0.58	0.03
202	412	91	37	1.79	1.23	52	71	8	20	0.62	0.56	0.06
208	423	99	37	1.74	1.15	70	63	9	29	0.57	0.57	0.01
216	438	89	47	1.53	0.82	123	27	24	49	0.41	0.36	0.05
224	453	87	45	1.57	0.87	109	33	22	45	0.44	0.38	0.06
231	466	77	47	1.29	0.42	82	45	22	33	0.21	0.16	0.05


Carotte 92-KS09
Longueur: 367 cm
Profondeur: 2211 m
Position: 39°41,92'N
28°32,89'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1.5
2
% CaCO3
0
50
100
Texture
0
50
100
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II
210.000
Unité III

Carotte 92-KS09

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	12	81				30	52	36	12			
5	14	82	46	1.67	1.04	46	53	32	14	2.40	1.97	0.43
15	18	82	43	1.65	1.01	65	52	24	24	2.32	1.90	0.42
25	23	62	47	1.62	0.96	46	42	40	18	2.20	1.35	0.85
32	26	63	57	1.36	0.54	36	42	45	12	1.03	0.65	0.38
45	31	68	60	1.28	0.41	42	38	45	17	0.77	0.52	0.25
55	36	62	60	1.24	0.35	47	35	46	20	0.67	0.42	0.26
65	40	59	56	1.23	0.34	41	37	46	17	0.64	0.37	0.27
75	46	64	59	1.22	0.32	43	42	40	18	0.61	0.39	0.22
85	53	61	57	1.19	0.27	40	42	44	15	0.51	0.31	0.20
95	60	62	54	1.16	0.22	41	40	47	13	0.43	0.27	0.17
105	65	68	48	1.63	0.97	39	45	41	13	1.95	1.32	0.62
114	69	57	48	1.60	0.92	43	44	42	14	1.84	1.05	0.79
129	76	79	48	1.60	0.92	39	51	35	14	3.50	2.77	0.74
139	81	81	50	1.54	0.84	34	54	34	12	3.18	2.57	0.60
149	85	81	49	1.59	0.90	53	48	33	19	3.44	2.79	0.65
160	89	49	53	1.46	0.70	39	49	37	14	2.65	1.30	1.35
169	93	64	55	1.45	0.68	36	53	35	12	2.59	1.66	0.93
179	96	68	55	1.44	0.66	37	50	39	11	2.52	1.70	0.82
188	98	80	52	1.52	0.80	34	52	37	11	3.05	2.44	0.61
197	100	81	47	1.64	0.99	35	61	26	12	3.77	3.05	0.72
209	102	54	43			36	48	38	14			
214	103	43	38	1.45	0.68	38	45	42	14	2.59	1.11	1.48
220	105	88	44	1.43	0.65	54	62	19	19	2.46	2.16	0.29
229	106	80	45	1.50	0.77	48	60	22	18	2.92	2.33	0.58
239	108	88	46	1.53	0.82	66	50	26	23	3.11	2.74	0.37
249	110	88	46	1.53	0.82	48	62	24	14	3.11	2.74	0.37
259	112	89	45	1.49	0.75	55	62	18	20	2.85	2.54	0.31
269	114	82	46	1.48	0.73	30	60	28	11	2.79	2.28	0.50
279	116	90	49	1.50	0.77	42	60	24	15	2.92	2.62	0.29
288	118	90	49	1.48	0.73	38	61	25	14	2.79	2.51	0.28
298	120	85	45	1.37	0.56	59	62	17	20	2.13	1.81	0.32
303	121	78	47	1.49	0.75	55	56	22	21	2.85	2.22	0.63
313	123	68	53	1.38	0.58	38	52	35	13	2.20	1.49	0.70
323	126	74	56	1.36	0.54	40	45	42	13	2.07	1.53	0.54
333	128	73	59	1.33	0.49	39	43	43	14	1.87	1.37	0.50
343	131	76	60	1.32	0.47	39	48	37	15	1.38	1.05	0.33
353	135	73	53	1.43	0.65	32	57	32	11	1.88	1.37	0.51
363	138	68	52	1.49	0.75	30	51	40	9	2.18	1.48	0.70


Carotte 92-KS10
Longueur: 528 cm
Profondeur: 1900 m
Position: 38°34,60'N
29°15,66'W
cm
Couleur
Lithologie
Densité humide
1
1.5
2
% CaCO3
50
75
100
Texture
0
50
100
Nannofossiles
Sables
Silts
Argiles
NN21
Unité I
170.000
Unité II

Carotte 92-KS10

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Moyenne (µm)	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
16	2	59	52			43	39	47	15			
24	3	58	47			50	46	36	18			
34	4	57	49	1.48	0.73	45	40	41	19	2.20	1.25	0.95
44	7	58	47	1.59	0.90	58	28	45	27	2.71	1.57	1.14
52	11	67	49	1.63	0.97	84	22	39	40	2.92	1.96	0.96
64	16	67	54	1.46	0.70	75	31	39	30	1.75	1.17	0.58
74	20	66	54	1.45	0.68	50	40	39	21	1.70	1.12	0.58
84	24	74	50	1.49	0.75	66	39	33	28	1.88	1.39	0.49
94	27	76	49	1.49	0.75	44	45	38	17	2.10	1.60	0.50
104	31	71	53	1.46	0.70	40	43	42	14	1.96	1.39	0.57
114	34	69	51	1.47	0.72	46	44	39	16	2.00	1.38	0.62
124	38	74	53	1.48	0.73	45	46	37	17	2.05	1.52	0.53
134	41	73	49	1.54	0.84	33	49	39	12	2.34	1.71	0.63
144	45	62	48	1.49	0.75	45	47	37	16	2.10	1.30	0.80
154	48	78	47	1.50	0.77	32	57	31	12	2.15	1.68	0.47
164	52	74	49	1.44	0.66	39	47	38	15	1.86	1.38	0.48
174	55	68	49	1.46	0.70	48	45	36	20	1.96	1.33	0.63
181	58	58	52	1.38	0.58	37	45	40	15	1.62	0.94	0.68
185	59	61	59	1.26	0.37	28	47	42	11	1.41	0.86	0.55
194	62	70	55	1.23	0.34	43	46	40	15	1.28	0.90	0.38
205	65	74	56	1.45	0.68	20	52	42	6	2.59	1.92	0.67
215	68		48			28	60	30	10			
225	70		47			27	57	34	9			
235	72	73	47	1.62	0.96	26	55	36	9	5.45	3.98	1.47
245	74	78	46	1.60	0.92	26	68	24	8	5.26	4.10	1.16
255	77	77	48	1.55	0.85	28	65	27	8	4.86	3.75	1.12
265	79	80	48	1.58	0.89	11	75	23	1	5.06	4.05	1.01
275	81	75	47	1.58	0.89	12	70	28	2	5.06	3.79	1.26
285	84	67	50	1.48	0.73	33	56	33	11	4.18	2.80	1.38
295	86	80	51	1.52	0.80	38	50	36	14	4.57	3.66	0.91
304	88	81	48	1.58	0.89	37	53	32	15	5.06	4.10	0.96
314	90	80	51	1.52	0.80	35	58	34	8	4.57	3.66	0.91
324	93	81	36	1.52	0.80	41	61	29	11	4.57	3.70	0.87
334	95	81	50	1.50	0.77	42	57	30	13	4.37	3.54	0.83
344	97	82	49	1.54	0.84	34	62	25	13	4.77	3.91	0.86
354	99	80	47	1.60	0.92	54	61	22	17	5.26	4.20	1.05
364	101	80	46	1.59	0.90	38	62	25	13	5.16	4.13	1.03
374	102	82	46	1.60	0.92	48	58	23	19	5.26	4.31	0.95
384	104	84	46	1.59	0.90	40	52	34	15	5.16	4.33	0.83
389	105	71	47	1.52	0.80	44	41	38	21	4.57	3.24	1.33
394	105	72	49	1.49	0.75	35	47	38	15	4.28	3.08	1.20
404	107	76	52	1.48	0.73	28	49	41	10	4.18	3.17	1.00
414	108	77	54	1.42	0.63	34	46	39	15	3.59	2.76	0.83
424	110	79	49	1.49	0.75	31	52	37	12	4.28	3.38	0.90
434	111	80	47	1.55	0.85	36	57	29	14	4.86	3.89	0.97
444	112	82	46	1.55	0.85	29	59	31	10	4.86	3.99	0.88
454	114	86	51	1.46	0.70	34	59	29	12	3.98	3.42	0.56
464	115	85	80	1.51	0.78	31	62	27	11	4.47	3.80	0.67
475	116	83	49	1.54	0.84	31	60	29	11	4.77	3.96	0.81
485	118		49	1.53	0.82	38	54	35	11	4.67		
494	119		49	1.51	0.78	34	54	35	11	4.47		
504	120		47	1.47	0.72	47	56	29	15	4.08		
514	122		47	1.47	0.72	43	60	25	15	4.08		
524	123		47	1.44	0.66	47	58	26	16	3.79		

Carotte GEOFAR KF01

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
5	5.5			
10	5.9	1.51	0.78	8.47
20	6.9	1.49	0.75	8.10
30	7.8	1.57	0.87	9.40
40	8.7	1.52	0.80	8.66
50	9.7	1.52	0.80	8.66
60	10.6	1.41	0.61	6.62
70	11.5	1.31	0.46	4.94
80	12.4	1.28	0.41	2.56
90	13.4	1.49	0.75	4.73
100	14.7	1.51	0.78	4.94
110	16.6	1.38	0.58	3.64
120	18.4	1.32	0.47	2.99
130	20.2	1.35	0.53	3.32
140	22.0	1.31	0.46	2.88
150	23.9	1.29	0.42	2.67
160	25.7	1.29	0.42	2.71
170	27.5	1.36	0.54	3.48
180	29.4	1.33	0.49	3.15
190	31.2	1.58	0.89	5.68
201	33.2	1.58	0.89	5.68
210	34.9	1.35	0.53	3.37
220	36.7	1.42	0.63	4.03
230	38.5	1.51	0.78	5.02
240	40.2	1.49	0.75	4.80
250	42.0	1.44	0.66	4.25
260	43.7	1.43	0.65	4.14
270	45.5	1.37	0.56	3.59
280	47.0	1.42	0.63	4.03
290	48.5	1.45	0.68	4.36
300	49.9	1.64	0.99	6.34
310	51.2	1.51	0.78	5.02
320	52.4	1.46	0.70	4.47
330	53.5	1.44	0.66	4.25
340	54.6	1.41	0.61	3.92
350	55.7	1.51	0.78	5.02
360	56.8	1.53	0.82	5.24
370	59.0	1.50	0.77	3.15
380	61.3	1.47	0.72	2.93
390	63.5	1.58	0.89	3.64
400	65.9	1.62	0.96	3.92
410	68.4	1.30	0.44	1.81
420	70.3	1.33	0.49	2.02
430	72.2	1.34	0.51	2.09
440	74.2	1.28	0.41	1.67
450	76.9	1.37	0.56	2.30
460	79.4	1.48	0.73	3.00
470	81.8	1.55	0.85	3.50
480	85.3	1.49	0.75	3.08
490	87.9	1.53	0.82	3.36
497	89.1	1.72	1.11	4.56

Carotte GEOFAR KF08

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
5	0.1	1.31	0.46	5.68
10	0.4	1.52	0.80	9.94
20	0.9	1.50	0.77	9.51
30	1.4	1.54	0.84	10.37
40	2.3	1.44	0.66	8.23
50	3.0	1.37	0.56	6.96
60	3.4	1.33	0.49	6.10
70	3.9	1.36	0.54	6.74
80	4.3	1.32	0.47	5.89
90	4.8	1.37	0.56	6.96
99	5.2	1.58	0.89	11.01
110	5.7	1.41	0.61	7.60
120	6.1	1.49	0.75	9.30
130	6.6	1.42	0.63	7.81
140	9.0	1.38	0.58	7.17
150	11.4	1.32	0.47	5.89
160	13.8	1.33	0.49	2.07
170	16.2	1.32	0.47	1.99
180	18.6	1.32	0.47	1.99
190	21.0	1.21	0.30	1.27
197	22.7	1.51	0.78	3.29
210	25.6	1.46	0.70	2.72
220	27.6	1.35	0.53	2.05
230	29.6	1.41	0.61	2.39
240	31.7	1.41	0.61	2.39
250	34.3	1.32	0.47	1.85
260	36.9	1.34	0.51	1.99
270	39.2	1.38	0.58	2.25
280	41.3	1.37	0.56	2.19
290	43.3	1.39	0.60	2.32
298	44.9	1.55	0.85	3.33
310	48.3	1.52	0.80	3.13
320	51.8	1.39	0.60	2.32
330	55.4	1.36	0.54	2.12
340	59.9	1.42	0.63	1.45
350	64.0	1.45	0.68	1.57
360	68.3	1.35	0.53	1.21
370	73.6	1.43	0.65	2.20
380	76.5	1.42	0.63	2.14
390	80.3	1.44	0.66	2.26
400	84.1	1.55	0.85	2.90
410	86.3	1.49	0.75	2.55
420	88.6	1.54	0.84	2.84
430	91.0	1.52	0.80	2.73
440	93.4	1.49	0.75	2.55
448	**95.3**	1.55	0.85	2.90

Carotte GEOFAR KF09

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
5	0.6	1.58	0.89	9.23
10	1.2	1.48	0.73	7.62
20	2.5	1.50	0.77	7.98
30	3.7	1.55	0.85	8.87
40	4.9	1.58	0.89	9.23
50	6.1	1.47	0.72	7.44
60	7.4	1.51	0.78	8.16
70	8.6	1.52	0.80	8.34
80	9.8	1.43	0.65	6.73
89	10.3	1.39	0.60	6.19
110	11.4	1.41	0.61	6.37
120	11.8	1.41	0.61	6.37
130	12.4	1.44	0.66	10.76
140	13.0	1.41	0.61	9.92
150	13.6	1.42	0.63	10.20
160	14.2	1.45	0.68	11.04
170	14.8	1.46	0.70	11.32
180	15.4	1.48	0.73	11.87
190	15.9	1.45	0.68	11.04
206	16.8	1.41	0.61	9.92
210	17	1.33	0.49	7.97
220	17.7	1.24	0.35	5.74
230	18.3	1.22	0.32	5.19
240	18.9	1.23	0.34	5.46
250	19.6	1.27	0.39	6.30
260	20.3	1.15	0.20	3.24
270	20.9	1.29	0.42	6.86
280	21.6	1.31	0.46	7.42
290	22.3	1.31	0.46	7.42
310	23.6	1.27	0.39	6.30
320	24.2	1.27	0.39	5.87
330	24.9	1.26	0.37	5.61
340	25.5	1.23	0.34	5.09
350	26.2	1.28	0.41	6.13
360	26.8	1.26	0.37	5.61
370	27.5	1.29	0.42	6.39
380	28.2	1.21	0.30	4.57
390	28.9	1.20	0.29	4.31
410	30.2	1.27	0.39	5.87
420	30.8	1.27	0.39	5.87
430	31.4	1.24	0.35	5.35
440	32.2	1.28	0.41	6.13
450	32.8	1.28	0.41	6.13
460	33.5	1.35	0.53	7.95

Carotte GEOFAR KF10

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
5	1.1	1.61	0.94	9.20
10	1.7	1.44	0.66	6.51
20	2.9	1.47	0.72	7.01
30	4.1	1.47	0.72	7.01
40	5.1	1.50	0.77	7.52
50	6.1	1.42	0.63	6.17
60	7.1	1.46	0.70	6.85
70	8.1	1.47	0.72	7.01
80	9.1	1.39	0.60	5.83
90	10.1	1.33	0.49	4.82
101	11.2	1.51	0.78	7.69
110	11.8	1.42	0.63	6.17
120	12.5	1.45	0.68	11.38
130	13.2	1.48	0.73	12.24
140	13.8	1.43	0.65	10.80
150	14.4	1.43	0.65	10.80
160	14.9	1.49	0.75	12.53
170	15.5	1.48	0.73	12.24
180	16.1	1.49	0.75	12.53
190	16.7	1.42	0.63	10.52
201	17.4	1.47	0.72	11.95
210	18.0	1.28	0.41	6.78
220	18.6	1.22	0.32	5.35
230	19.2	1.27	0.39	6.50
240	19.8	1.27	0.39	6.50
250	20.4	1.22	0.32	5.35
260	20.9	1.27	0.39	6.50
270	21.5	1.29	0.42	7.07
280	22.1	1.29	0.42	7.07
290	22.7	1.26	0.37	6.21
301	23.3	1.49	0.75	12.53
310	23.8	1.35	0.53	8.79
320	24.3	1.37	0.56	9.09
330	24.9	1.33	0.49	7.97
340	25.4	1.34	0.51	8.25
350	26.1	1.32	0.47	7.69
360	26.7	1.31	0.46	7.42
370	27.3	1.33	0.49	7.97
380	28.2	1.33	0.49	7.97
390	28.9	1.30	0.44	7.14
400	29.4	1.29	0.42	6.86

Carotte GEOFAR KF12

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
11	0.8	1.44	0.66	
20	1.0	1.47	0.72	
30	1.3	1.49	0.75	
40	1.6	1.46	0.70	
50	2.0	1.47	0.72	
60	2.2	1.48	0.73	
70	2.4	1.49	0.75	
80	2.9	1.43	0.65	
90	3.3	1.47	0.72	
100	3.8	1.44	0.67	
110	4.4	1.43	0.65	
120	5.0	1.39	0.60	
130	5.4	1.43	0.65	
140	5.8	1.38	0.58	
150	6.3	1.41	0.61	
160	6.7	1.36	0.54	
170	7.1	1.27	0.39	
180	7.6	1.36	0.54	
190	8.1	1.34	0.51	
200	8.7	1.37	0.55	
210	9.19	1.39	0.60	
220	9.6	1.37	0.56	
230	10.1	1.32	0.47	
240	10.5	1.34	0.51	
250	10.9	1.36	0.54	
251	11.0	1.35	0.53	
260	11.4	1.31	0.46	
270	11.8	1.32	0.47	
280	12.2	1.33	0.49	
290	12.5	1.37	0.56	
300	12.8	1.36	0.54	
310	13.1	1.39	0.60	
320	13.4	1.37	0.56	
330	13.7	1.38	0.58	
340	14.0	1.33	0.49	
350	14.4	1.46	0.70	
360	14.7	1.39	0.60	
370	15.0	1.39	0.60	
380	15.2	1.45	0.68	
389	15.4	1.37	0.56	

Carotte GEOFAR KF13

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
6	0.1	1.30	0.44	3.92
10	0.4	1.34	0.51	4.53
20	1.3	1.50	0.77	6.83
30	2.1	1.41	0.61	5.45
40	2.9	1.46	0.70	6.22
50	3.8	1.48	0.73	6.52
60	4.6	1.51	0.78	6.98
70	5.8	1.35	0.53	4.69
78	7.1	1.47	0.72	6.37
95	9.6	1.47	0.72	6.37
100	10.4	1.46	0.70	6.22
110	11.9	1.44	0.66	5.91
120	13.4	1.34	0.51	2.90
130	14.9	1.29	0.42	2.41
140	16.5	1.30	0.44	2.51
150	18.0	1.36	0.54	3.10
160	20.1	1.34	0.51	2.90
170	22.2	1.35	0.53	3.00
176	23.4	1.36	0.54	3.10
193	27.0	1.39	0.60	2.86
200	28.4	1.33	0.49	2.36
210	30.5	1.32	0.47	2.28
220	32.6	1.30	0.44	2.11
230	34.7	1.21	0.30	1.45
240	36.8	1.31	0.46	2.20
250	38.9	1.30	0.44	2.11
260	41.0	1.36	0.54	2.61
270	43.1	1.33	0.49	2.36
274	43.9	1.30	0.44	2.11
293	47.9	1.41	0.61	2.94
300	49.4	1.46	0.70	3.35
310	51.4	1.42	0.63	3.02
320	53.5	1.49	0.75	3.60
330	55.6	1.44	0.66	3.19
340	57.7	1.45	0.68	3.27
350	59.8	1.42	0.63	2.64
360	61.9	1.48	0.73	3.08
370	64.0	1.50	0.77	3.22
376	65.6	1.50	0.77	3.22
392	69.9	1.42	0.63	2.64
400	72.0	1.43	0.65	2.46
410	74.6	1.44	0.66	2.52
420	77.3	1.46	0.70	2.65
430	80.0	1.42	0.63	2.39
440	82.1	1.49	0.75	2.85
450	84.2	1.46	0.70	2.65
460	86.3	1.42	0.63	2.39
470	88.4	1.57	0.87	3.31
474	89.2	1.54	0.84	3.18
491	92.8	1.53	0.82	3.11
500	94.7	1.52	0.80	3.05
510	96.8	1.51	0.78	2.98
520	98.9	1.49	0.75	2.85
530	103.8	1.54	0.84	3.18
540	108.9	1.49	0.75	2.85
550	113.9	1.38	0.58	2.20
560	119.0	1.35	0.53	2.00
570	124.1	1.34	0.51	1.94
574	126.1	1.39	0.60	2.26

Carotte GEOFAR KF14

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
10	6.6	1.45	0.68	4.97
20	8.0	1.54	0.83	6.08
30	9.3	1.50	0.77	5.60
40	10.6	1.44	0.66	4.85
50	12.0	1.44	0.66	2.32
60	13.6	1.46	0.70	2.43
70	16.3	1.35	0.53	1.84
80	19.9	1.37	0.55	1.93
90	23.6	1.35	0.53	1.86
100	27.2	1.35	0.52	2.19
110	30.9	1.41	0.62	2.61
120	34.5	1.40	0.60	2.54
130	38.1	1.46	0.70	2.93
140	41.1	1.43	0.66	2.75
150	43.1	1.42	0.64	2.70
160	45.1	1.45	0.68	2.86
170	47.1	1.44	0.66	2.77
180	49.1	1.45	0.69	2.88
190	51.0	1.44	0.67	2.81
200	53.0	1.46	0.71	2.97
210	54.8	1.49	0.75	3.14
220	56.4	1.50	0.77	3.24
230	57.9	1.48	0.73	3.08
240	59.4	1.47	0.71	4.42
250	61.2	1.41	0.62	3.86
260	63.4	1.44	0.67	4.15
270	65.3	1.40	0.60	3.72
280	66.6	1.38	0.57	3.51
290	67.9	1.41	0.62	3.87
300	69.3	1.41	0.62	3.83
310	70.7	1.33	0.50	3.08
320	72.1	1.33	0.49	3.08
330	73.5	1.31	0.47	2.94
340	74.7	1.39	0.59	3.71
350	76.0	1.52	0.80	5.05
360	77.2	1.54	0.84	5.27
370	79.0	1.53	0.81	5.09
380	81.1	1.51	0.78	4.89
390	83.1	1.57	0.88	5.53
400	85.2	1.56	0.86	5.43
410	87.3	1.52	0.80	5.05
420	89.4	1.52	0.80	5.03
430	91.5	1.54	0.82	5.19
440	93.6	1.51	0.78	4.90
450	95.7	1.56	0.86	5.43
458	97.4	1.58	0.89	5.59

Carotte GEOFAR KF18

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
4	7.13	1.92	1.44	31.78
10	7.40	1.41	0.61	13.54
20	7.85	1.46	0.70	15.44
30	8.30	1.52	0.80	17.72
40	8.75	1.47	0.72	15.82
50	9.21	1.55	0.85	18.86
60	9.66	1.54	0.84	18.48
70	10.11	1.51	0.78	17.34
80	10.56	1.45	0.68	15.06
90	11.01	1.46	0.70	15.44
101	11.51	1.63	0.97	21.52
110	11.92	1.42	0.63	13.92
120	12.48	1.44	0.66	17.27
130	13.20	1.43	0.65	16.82
140	13.84	1.45	0.68	17.71
150	14.43	1.36	0.54	14.14
160	14.91	1.38	0.58	15.03
170	15.38	1.32	0.47	12.35
180	15.77	1.34	0.51	13.24
190	16.17	1.30	0.44	11.45
201	16.60	1.42	0.63	16.37
210	16.96	1.28	0.41	10.56
220	17.35	1.24	0.35	9.22
230	17.74	1.23	0.34	8.77
240	18.08	1.23	0.34	8.77
250	18.38	1.26	0.37	9.66
260	18.68	1.22	0.32	8.32
270	18.98	1.18	0.25	6.53
280	19.28	1.22	0.32	8.32
290	19.57	1.24	0.35	9.22
301	19.90	1.45	0.68	17.71
310	20.17	1.30	0.44	11.45
320	20.47	1.19	0.27	6.98
330	20.77	1.18	0.25	6.53
340	21.06	1.15	0.20	5.19
350	21.36	1.18	0.25	6.53
360	21.66	1.20	0.29	7.43
370	21.92	1.16	0.22	5.64
380	22.20	1.14	0.18	4.75
390	22.54	1.17	0.23	6.09
401	22.96	1.42	0.63	16.37
410	23.38	1.23	0.34	8.77
420	23.85	1.22	0.32	8.32
430	24.32	1.24	0.35	7.55
437	24.65	1.45	0.68	14.51

Carotte GEOFAR KF16

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
4	1.0	1.61	0.94	24.70
10	1.2	1.43	0.65	17.01
20	1.6	1.43	0.65	17.01
30	2.0	1.42	0.63	16.56
40	2.4	1.39	0.60	15.66
50	2.7	1.34	0.51	13.40
60	3.1	1.42	0.63	16.56
70	3.5	1.36	0.54	14.30
80	3.9	1.21	0.30	7.97
90	4.3	1.47	0.72	18.82
95	4.5	1.64	0.99	26.06
102	4.7	1.64	0.99	26.06
110	5.0	1.41	0.61	16.11
120	5.4	1.44	0.66	17.47
130	5.8	1.36	0.54	14.30
140	6.2	1.38	0.58	15.20
150	6.5	1.39	0.60	15.66
160	6.9	1.35	0.53	13.85
170	7.3	1.30	0.44	11.59
180	7.7	1.29	0.42	11.13
190	8.1	1.31	0.46	12.04
200	8.4	1.49	0.75	19.73
210	8.8	1.24	0.35	9.32
220	9.2	1.32	0.47	12.49
230	9.6	1.28	0.41	10.68
240	10.0	1.32	0.47	12.49
250	10.3	1.27	0.39	10.23
260	10.7	1.17	0.23	6.16
270	11.1	1.23	0.34	8.87
280	11.5	1.21	0.30	7.97
290	11.9	1.33	0.49	12.94
300	12.2	1.45	0.68	25.48
310	12.4	1.31	0.46	17.12
320	12.7	1.08	0.10	3.61
326	12.9	1.17	0.23	8.76
333	13.0	1.17	0.23	8.76
340	13.2	1.21	0.30	11.33
350	13.5	1.27	0.39	14.55
360	13.8	1.30	0.44	16.48
370	14.0	1.27	0.39	14.55
380	14.3	1.35	0.53	19.69
390	14.6	1.52	0.80	29.98
401	14.9	1.60	0.92	34.49
410	15.1	1.41	0.61	22.91
420	15.4	1.32	0.47	17.76
430	15.6	1.31	0.46	17.12
440	15.9	1.24	0.35	13.26
450	16.2	1.16	0.22	8.11
460	16.5	1.09	0.11	4.25
470	16.7	1.11	0.13	4.90
480	17.0	1.16	0.22	8.11
490	17.3	1.20	0.29	10.69
500	17.5	1.43	0.65	24.19
510	17.8	1.28	0.41	15.19
520	18.1	1.16	0.22	8.11
530	18.3	1.20	0.29	10.69
540	18.6	1.22	0.32	11.97
550	18.9	1.18	0.25	9.40
560	19.1	1.16	0.22	8.11
570	19.4	1.14	0.18	6.83
580	19.7	1.17	0.23	8.76
590	19.9	1.21	0.30	11.33
600	20.2	1.37	0.56	20.98
610	20.5	1.07	0.08	2.97
620	20.7	1.11	0.13	4.90
630	21.0	1.22	0.32	11.97
640	21.3	1.06	0.06	2.32
650	21.5	1.14	0.18	6.83
660	21.8	1.16	0.22	8.11
670	22.1	1.09	0.11	4.25
680	22.3	1.19	0.27	10.04
690	22.6	1.27	0.39	14.55
700	22.9	1.41	0.61	22.91
710	23.1	1.16	0.22	8.11
720	23.4	1.22	0.32	11.97
730	23.7	1.19	0.27	10.04
740	24.0	1.26	0.37	13.90
750	24.3	1.21	0.30	9.45
760	24.6	1.19	0.27	8.38
770	24.9	1.23	0.34	10.52
780	25.2	1.22	0.32	9.99
790	25.5	1.31	0.46	14.28
794	25.7	1.42	0.63	19.65

Carotte GEOFAR KF15

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	43	84	42	1.72	1.11	0.89	0.75	0.14
10	55	85	39	1.70	1.09	0.87	0.74	0.13
20	67	92	45	1.63	0.97	0.77	0.71	0.06
30	79	93	43	1.66	1.02	1.12	1.04	0.08
40	91	86	42	1.61	0.95	1.04	0.90	0.15
50	99	94	38	1.65	1.01	1.11	1.04	0.07
60	107	94	39	1.65	1.01	1.11	1.05	0.07
170	186	90	40	1.67	1.04	1.56	1.41	0.16
180	192	92	43	1.58	0.89	1.33	1.23	0.11
190	197	93	36	1.73	1.13	1.69	1.57	0.12
200	204	94	38	1.66	1.02	1.53	1.43	0.09
210	210	90	39	1.64	0.99	1.49	1.34	0.15
220	217	92	38	1.65	1.01	1.51	1.39	0.12
230	224	88	43	1.60	0.92	1.38	1.22	0.17
240	231	90	39	1.64	0.98	1.47	1.33	0.15
246	235	83	38	1.67	1.03	1.55	1.29	0.26
257	243	100	37	1.66	1.03	1.54	1.54	0.00

Carotte GEOFAR KF20

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
101	64	81	45	1.64	0.98	2.46	1.99	0.47
110	67	86	46	1.59	0.90	2.26	1.95	0.32
120	70	85	43	1.59	0.91	2.28	1.94	0.34
130	73	82	46	1.59	0.91	2.83	2.32	0.51
140	76	83	47	1.56	0.87	2.69	2.23	0.46
150	80	86	43	1.64	0.99	3.07	2.64	0.43
160	83	84	41	1.59	0.91	2.82	2.37	0.45
170	86	86	45	1.54	0.83	2.58	2.22	0.36
180	88	83	45	1.56	0.86	2.66	2.21	0.45
190	91	85	42	1.59	0.90	2.81	2.38	0.42
200	93	86	43	1.68	1.06	3.28	2.83	0.46
210	95	86	46	1.57	0.88	2.73	2.34	0.38
220	98	88	45	1.61	0.93	2.90	2.55	0.35
230	101	85	42	1.66	1.03	3.19	2.71	0.48
240	105	92	43	1.64	0.99	3.06	2.81	0.24
250	109	89	51	1.62	0.95	2.95	2.63	0.32
261	114	84	48	1.56	0.86	2.67	2.24	0.43
268	116	85	48	1.51	0.78	2.43	2.07	0.36
280	120	82	43	1.59	0.90	2.81	2.30	0.50
290	124	84	45	1.59	0.90	2.81	2.36	0.45
300	127	85	47	1.62	0.96	2.98	2.53	0.45
310	130	78	47	1.54	0.84	1.25	0.98	0.28
320	134	83	48	1.51	0.78	1.18	0.98	0.20
330	136	81	48	1.48	0.74	1.11	0.90	0.21
340	138	80	47	1.46	0.70	1.05	0.84	0.21
350	140	80	48	1.51	0.79	1.18	0.95	0.24
360	144	79	47	1.52	0.80	1.20	0.94	0.25
370	149	79	49	1.47	0.72	1.09	0.86	0.23
380	153	77	48	1.50	0.76	1.14	0.88	0.26
390	159	77	42	1.58	0.89	1.34	1.03	0.31
400	167	86	45	1.61	0.94	1.42	1.22	0.20
410	174	82	46	1.55	0.85	1.27	1.04	0.23
414	177	75	48	1.53	0.82	1.23	0.92	0.31

Carotte GEOFAR KF21

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
0	0.2	67	48	1.55	0.84	7.41	4.96	2.44
10	1.5	69	48	1.43	0.66	5.77	3.98	1.79
20	2.8	63	49	1.54	0.83	7.32	4.61	2.71
30	4.2	63	46					
40	5.5	57	45	1.55	0.84	7.40	4.22	3.18
50	6.8	40	44	1.57	0.88	7.77	3.11	4.66
60	8.1	51	41	1.61	0.94	8.27	4.22	4.05
70	19.0	71	41	1.60	0.92	8.11	5.76	2.35
80	19.7	75	43	1.58	0.89	7.81	5.86	1.95
90	20.1	69	42	1.60	0.93	8.19	5.65	2.54
100	20.4	81	46	1.55	0.85	7.51	6.08	1.43
110	21.0	82	50	1.43	0.66	2.24	1.84	0.40
118	21.7	74	43	1.51	0.78	2.67	1.97	0.69
125	22.2	75	45	1.55	0.84	2.87	2.15	0.72
130	22.6	76	42	1.60	0.93	3.16	2.40	0.76
140	24.1	73	45	1.58	0.90	3.05	2.22	0.82
150	26.1	72	45	1.56	0.86	4.14	2.98	1.16
160	28.1	71	44	1.56	0.86	4.14	2.94	1.20
170	30.1	76	44	1.53	0.82	3.93	2.99	0.94
180	32.0	77	45	1.55	0.84	4.05	3.12	0.93
185	33.0	78	44	1.52	0.79	3.81	2.97	0.84
190	34.0	77	44	1.52	0.80	3.83	2.95	0.88
200	36.0	78	44	1.59	0.90	4.34	3.39	0.96
210	37.9	74	44	1.64	0.99	4.74	3.50	1.23
220	39.9	83	47					
225	40.9	74	44	1.65	1.01	4.84	3.58	1.26
230	41.9	60	42	1.64	0.99	4.74	2.84	1.89
235	42.9	56	41	1.65	1.00	4.80	2.69	2.11
240	43.8	85	52	1.59	0.92	4.41	3.74	0.66
250	45.8	80	43	1.59	0.91	4.38	3.51	0.88
260	47.8	71	45	1.60	0.93	4.47	3.17	1.30
270	49.7	71	44	1.65	1.00	4.80	3.41	1.39
280	51.7	76	44	1.58	0.90	4.32	3.29	1.04
290	53.7	71	44	1.56	0.87	4.16	2.95	1.21
300	55.7	75	44	1.58	0.89	4.28	3.21	1.07
310	57.6	78	44	1.60	0.92	4.43	3.45	0.97
320	59.4	77	41	1.58	0.89	4.70	3.62	1.08
330	60.9	74	43	1.56	0.86	4.57	3.38	1.19
340	62.4	70		1.52	0.80	4.23	2.96	1.27
350	63.9	70	52	1.41	0.63	3.31	2.32	0.99
360	65.4	70	51	1.43	0.66	3.47	2.43	1.04
370	66.9	77	50	1.45	0.69	3.63	2.80	0.84
380	68.3	77	50	1.43	0.66	3.47	2.68	0.80
390	69.8	75	48	1.42	0.64	4.95	3.71	1.24
400	71.2	77	49	1.45	0.69	5.31	4.09	1.22
413	72.8	75		1.60	0.92	7.10	5.33	1.78
418	73.4	76	41	1.70	1.09	8.36	6.35	2.01
422	73.8	73	43	1.65	1.01	7.76	5.67	2.10
430	74.8	73	43	1.57	0.87	6.70	4.89	1.81
440	76.0	68	44	1.55	0.85	6.54	4.45	2.09
446	76.7	75	42	1.64	0.99	7.60	5.70	1.90
450	77.2	76	40	1.62	0.96	7.36	5.60	1.77
470	79.5	72	44	1.60	0.92	7.10	5.11	1.99
481	81.0	70	45	1.52	0.80	6.15	4.30	1.84
490	82.4	69	47	1.52	0.80	6.14	4.24	1.90
500	83.9	67	45	1.61	0.94	7.27	4.87	2.40
511	85.5	75	47	1.62	0.97	7.43	5.57	1.86
564	93.4	81	46	1.55	0.84	6.50	5.27	1.24
574	94.8	80	50	1.57	0.87	6.74	5.39	1.35
594	97.8	77	49	1.50	0.77	5.91	4.55	1.36
604	99.3	82	50	1.47	0.71	5.48	4.49	0.99
614	100.8	79	48	1.50	0.77	5.94	4.69	1.25
624	102.3	82	46	1.52	0.80	6.17	5.06	1.11
634	103.8	82	46	1.53	0.82	6.31	5.17	1.13
644	105.2	85	45	1.53	0.82	6.31	5.36	0.95
654	106.7	86	47					

Carotte GEOFAR KF21

		Total				Carbonates				Résiduel			
Profondeur (cm)	**Age (ka)**	**Moyenne (µm)**	**Argiles (%)**	**Silts (%)**	**Sables (%)**	**Moyenne (µm)**	**Argiles (%)**	**Silts (%)**	**Sables (%)**	**Moyenne (µm)**	**Argiles (%)**	**Silts (%)**	**Sables (%)**
0	0.2	37	20	67	13	35	23	66	12	41	10	76	14
10	1.5	43	17	67	16	43	18	66	16	35	11	77	11
20	2.8	43	15	66	18	43	17	65	18	34	13	76	11
30	4.2	54	33	52	16	55	37	49	14	40	17	70	13
40	5.5	35	25	62	14	34	28	59	13	33	14	75	10
50	6.8	39	21	66	13	38	25	64	11	32	18	72	10
60	8.1	72	25	46	29	83	27	41	32	29	26	65	8
70	19.0	136	8	39	52	150	8	36	56	51	16	66	18
80	19.7	206	3	11	85	221	3	6	91	110	11	53	36
90	20.1	189	3	13	84	200	3	9	88	137	9	38	53
100	20.4	181	4	11	85	195	3	7	90	51	11	62	27
110	21.0	147	10	26	65	156	10	23	67	52	13	66	21
118	21.7	111	9	29	62	119	10	24	66	50	15	65	20
125	22.2	122	8	34	58	130	7	32	61	53	20	60	20
130	22.6	110	7	39	54	117	7	36	57	52	17	62	21
140	24.1	97	15	34	52	104	15	30	55	38	19	67	14
150	26.1	82	14	45	40	85	15	43	42	55	16	63	21
160	28.1	91	13	43	44	95	14	41	45	60	14	62	24
170	30.1	98	13	33	54	104	14	29	57	52	17	63	21
180	32.0	103	9	39	53	108	9	37	55	60	14	62	25
185	33.0	81	13	46	41	83	14	44	42	54	16	63	21
190	34.0	104	9	41	50	109	9	39	52	56	18	61	21
200	36.0	114	15	29	55	120	16	26	58	65	15	60	25
210	37.9	118	9	37	54	125	9	34	57	65	15	59	26
220	39.9	194	5	14	81	205	5	11	84	80	11	53	36
225	40.9	167	7	24	68	181	8	20	72	79	12	56	32
230	41.9	133	12	29	58	150	14	22	64	72	11	60	29
235	42.9	165	6	27	67	204	5	15	79	40	16	71	14
240	43.8	209	3	9	88	221	3	6	91	52	12	65	24
250	45.8	121	10	31	60	128	10	28	62	59	12	63	25
260	47.8	90	20	35	45	95	22	31	47	53	16	64	20
270	49.7	113	9	37	54	122	10	33	58	53	15	65	20
280	51.7	123	9	28	62	130	10	25	65	70	13	60	27
290	53.7	86	19	35	46	90	20	31	48	49	19	63	17
300	55.7	93	11	42	47	98	11	40	49	46	21	61	18
310	57.6	81	22	37	41	83	23	35	42	52	17	63	20
320	59.4	94	11	41	47	99	11	39	49	46	20	63	17
330	60.9	68	25	42	34	70	26	39	35	40	23	63	13
340	62.4	86	18	37	45	92	18	33	49	36	23	64	13
350	63.9	59	22	48	30	61	24	45	31	36	18	70	12
360	65.4	38	30	54	16	38	31	53	15	29	28	62	10
370	66.9	43	22	62	16	43	22	62	16	29	25	66	9
380	68.3	27	41	48	11	24	44	47	10	40	23	64	13
390	69.8	42	27	55	19	41	28	54	18	40	25	62	13
400	71.2	32	42	46	13	26	45	45	10	61	18	62	20
413	72.8	52	25	51	24	51	27	49	24	45	18	66	16
418	73.4	87	17	31	52								
422	73.8	40	29	54	17	38	31	52	17	38	17	71	11
430	74.8	48	25	54	21	48	26	53	21	36	20	68	12
440	76.0	41	35	46	19	40	38	43	19	42	21	66	12
446	76.7	97	18	30	51								
450	77.2	81	17	45	38	85	17	42	40	54	18	67	15
470	79.5	42	32	49	18	41	35	47	18	39	17	71	12
481	81.0	71	19	47	34	75	20	44	36	42	19	68	12
490	82.4	44	36	44	20	43				32			
500	83.9	61	18	56	25	63	19	55	26	44	24	66	10
511	85.5	58	16	53	30	58	17	52	31	33	14	70	15
564	93.4	66	19	50	31	67	20	49	32	37	17	67	16
574	94.8	55	16	57	27	56	17	56	27	40	17	70	12
594	97.8	57	18	58	24	57	19	57	24	43	15	71	14
604	99.3	40	36	47	17	39	38	46	16	44	20	64	15
614	100.8	64	16	54	30	65	16	54	30	56	19	65	16
624	102.3	69	16	50	34	69	17	49	34	55	16	63	21
634	103.8	58	30	39	30	57	32	38	30	66	15	64	21
644	105.2	49	26	52	22	47	27	52	21	39	14	61	25
654	106.7	37	37	47	17		38	46	16		14	73	13

Carotte GEOFAR KS15

Profondeur (cm)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche
0	70	61	1.52	0.80
5	70	48	1.57	0.88
10	71	47	1.53	0.82
20	71	46	1.55	0.84
30	71	45	1.57	0.88
40	67	49	1.57	0.88
50	70	45	1.54	0.83
60	66	47	1.55	0.84
70	60	47	1.51	0.78
80	42	43	1.60	0.93
90	58	39	1.66	1.02
100	61	39	1.58	0.89
110	76	46	1.07	0.08
120	73	39	1.18	0.25
130	82	41	1.30	0.45
140	77	52	1.54	0.83
150	78	49	1.48	0.73
160	71	50	1.45	0.68
167	76	43	1.59	0.91
171	78	42	1.60	0.93
174	78	40	1.62	0.97
177				
182	62	48	1.55	0.84
190	67	43	1.58	0.89
200	76	46	1.54	0.82
210	85	45	1.58	0.89
220	79	46	1.51	0.78
230	76	48	1.54	0.83
240	76	49	1.61	0.94
250	76	43	1.60	0.93
260	80	46	1.54	0.82
270	86	49	1.51	0.79
273	78	43	1.58	0.89
278	80	45	1.59	0.90
282	84	43	1.62	0.96
290	82	43	1.59	0.91
300	80	46	1.57	0.87
310	80	46	1.57	0.88
320	78	46	1.55	0.85
330	75	44	1.61	0.94
340	73	44	1.62	0.96
350	75	46	1.55	0.85
360	77	46	1.53	0.82
370	74	45	1.59	0.90
380	74	45	1.54	0.83
390	72	44	1.61	0.94
400	69	44	1.58	0.89
413	63	48	1.55	0.84
425	64	42	1.60	0.93
435	72	41	1.74	1.15

Carotte GEOFAR KS15

	Total				Carbonates				Résiduel			
Profondeur (cm)	**Moyenne (µm)**	**Argiles (%)**	**Silts (%)**	**Sables (%)**	**Moyenne (µm)**	**Argiles (%)**	**Silts (%)**	**Sables (%)**	**Moyenne (µm)**	**Argiles (%)**	**Silts (%)**	**Sables (%)**
0	22	30	64	7	14	34	62	3	43	8	76	16
5	36	25	60	15	28	29	59	12	49	7	73	21
10	33	27	59	13	27	31	57	13	38	9	80	12
20	33	33	54	13	27	37	51	12	34	11	79	10
30	39	25	59	15	33	28	57	14	38	11	77	12
40	38	26	58	16	33	29	55	15	35	12	78	10
50	40	28	56	16	34	31	54	16	34	15	74	11
60	40	24	61	16	34	27	58	15	34	10	79	10
70	35	27	60	13	29	31	56	13	33	13	78	9
80	35	27	60	12	28	34	54	12	30	15	76	9
90	81	19	49	32	80	21	44	35	34	15	76	9
100	180	7	31	61	190	8	27	65	103	8	56	36
110	312	4	11	85	329	4	8	88	182	8	41	51
120	190	7	20	73	195	8	16	76	109	8	45	47
130	216	10	19	71	219	10	17	73	48	9	54	36
140	45	24	59	17	41	25	58	17	29	18	73	9
150	38	26	59	15	33	28	58	15	36	16	73	11
160	44	31	51	18	39	33	49	18	29	18	74	8
167	75	19	44	37	68	20	43	37	60	13	63	24
171	137	13	23	63	138	14	20	67	44	16	66	18
174	94	19	40	40	90	20	38	42	44	15	67	18
177	100	20	35	45	98				47	14	68	18
182	119	12	43	45	121	14	40	46	78	9	58	33
190	64	18	54	28	62	19	52	29	35	17	71	12
200	70	30	47	23	64	32	45	24	32	20	69	11
210	232	11	18	71	236	11	16	72	97	11	56	33
220	24	49	42	9	17	53	40	7	45	13	73	14
230	53	31	48	21	47	34	46	21	37	14	75	11
240	56	28	49	23	50	30	47	24	34	16	73	12
250	48	38	41	21	40	41	39	20	41	19	67	14
260	54	33	45	23	47	35	43	23	36	16	71	12
270	169	11	17	72	168	11	14	74	50	10	65	25
273	107	19	33	48	104	20	30	50	41	16	67	17
278	124	13	26	60	122	14	23	63	48	15	63	22
282	63	32	40	28	55	34	38	29	42	14	70	16
290	77	20	47	32	71	21	46	33	44	18	66	16
300	55	30	51	20	50	31	49	20	32	15	75	9
310	52	22	57	20	48	23	56	20	35	15	74	11
320	46	31	54	16	41	33	52	15	31	16	75	9
330	45	30	54	17	40	32	52	16	34	16	73	11
340	38	35	51	15	32	38	48	14	30	18	72	10
350	40	33	52	15	34	36	50	15	35	11	77	11
360	34	38	51	11	27	41	49	10	34	15	73	11
370	44	32	52	17	37	34	50	16	40	13	73	14
380	38	30	56	14	32	33	55	13	39	14	72	14
390	29	37	53	10	23	40	51	9	31	18	72	10
400	35	27	60	13	30	30	57	13	28	14	78	8
413	103	11	49	40	109	12	46	42	44	9	71	20
425	35	38	49	13	30	41	46	13	21	23	71	5
435		20	39	41		21	36	43		22	69	10

Carotte GEOFAR KS16

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
1	4	73		1.61	0.95	2.46	1.79	0.66
10	10	65		1.69	1.06	2.77	1.80	0.97
20	17	46		1.62	0.95	1.52	0.70	0.82
24	20	61		1.63	0.97	1.55	0.95	0.60
30	24	65		1.55	0.84	1.34	0.87	0.47
40	31	62		1.59	0.92	1.28	0.80	0.49
50	38	61		1.54	0.84	1.17	0.71	0.46
60	45	65		1.55	0.85	1.19	0.77	0.42
70	52	68		1.57	0.87	1.22	0.83	0.39
80	59	66	47	1.64	0.99	1.38	0.91	0.47
90	66	68	50	1.51	0.78	1.18	0.80	0.38
100	72	72	47	1.55	0.85	1.70	1.22	0.48
110	77	70	45	1.61	0.95	1.90	1.33	0.57
120	82	70	46	1.55	0.84	1.68	1.18	0.50
130	87	69	46	1.54	0.83	1.66	1.15	0.52
140	91	72	52	1.46	0.69	1.39	1.00	0.39
150	96	79	52	1.47	0.72	1.45	1.14	0.30
160	100	75	47	1.54	0.82	1.65	1.23	0.41
170	106	75	48	1.56	0.86	1.72	1.29	0.43
180	110	78	48	1.54	0.82	1.65	1.28	0.36
190	115	77	48	1.54	0.83	1.66	1.28	0.38
200	121	72	43	1.63	0.98	1.96	1.41	0.55
208	125	60	43	1.59	0.92	1.84	1.10	0.73
214	130	63	46	1.53	0.81	0.89	0.56	0.33
220	136	72	49	1.46	0.71	0.78	0.56	0.22
230	146	74	46	1.55	0.84	0.92	0.68	0.24
240	156	73	45	1.55	0.85	0.94	0.69	0.25
250	167	81	44	1.60	0.92	1.01	0.82	0.19
260	175	76	44	1.58	0.89	0.98	0.74	0.23
269	181	77	45	1.58	0.90	0.99	0.76	0.23
274	185	75	47	1.59	0.92	1.01	0.76	0.25
280	189	67	48	1.53	0.81	2.92	1.95	0.96
290	195	62	45	1.57	0.87	3.15	1.95	1.20
300	201	70	46	1.53	0.82	2.94	2.05	0.88
310	209	73	45	1.55	0.85	3.06	2.23	0.83
320	216	77	46	1.51	0.78	2.81	2.16	0.65
330	221	76	48	1.45	0.69	2.48	1.89	0.60
340	227	69	44	1.54	0.82	2.96	2.04	0.92
350	233	71	46	1.51	0.79	2.84	2.02	0.82
360	237	76	45	1.53	0.81	2.93	2.23	0.70
370	241	75	46	1.53	0.82	2.95	2.21	0.74
380	245	67	47	1.55	0.84	3.03	2.03	1.00
390	249	68		1.42	0.64	2.30	1.56	0.74
400	251	79	55	1.32	0.48	1.73	1.36	0.36
410	254	76	56	1.32	0.48	1.74	1.32	0.42
420	257	77	48	1.41	0.62	2.24	1.72	0.51
430	260	71	49	1.36	0.54	1.94	1.38	0.56
440	263	76	49	1.41	0.62	2.23	1.69	0.54
447	265	74	48	1.40	0.61	2.19	1.62	0.57
453	267	84	44	1.53	0.81	2.92	2.45	0.47
460	269	86	43	1.54	0.83	2.99	2.58	0.42
470	272	90	44	1.62	0.96	3.44	3.10	0.34
480	275	89	46	1.57	0.87	3.15	2.80	0.35
487	277	89	41	1.60	0.93	3.33	2.97	0.37
500	280	85	44	1.52	0.80	2.89	2.45	0.43
510	282	84	45	1.49	0.75	2.70	2.27	0.43
520	285	86	44	1.43	0.65	2.33	2.00	0.33
530	287	85	42	1.53	0.81	2.92	2.48	0.44
540	290	91	41	1.55	0.84	3.03	2.75	0.27
550	293	89	45	1.50	0.76	2.75	2.44	0.30
560	295	87	45	1.51	0.78	2.79	2.43	0.36
570	298	83	44	1.58	0.89	3.20	2.65	0.54
581	301	85	43	1.60	0.92	3.32	2.82	0.50
590	304	81	44	1.53	0.82	3.03	2.45	0.58

Carotte GEOFAR KS16 (suite)

Profondeur (cm)	Age (ka)	CaCO3 (%)	H2O (%)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)
600	306	70	39	1.64	0.99	3.67	2.57	1.10
610	309	84	41	1.63	0.97	3.59	3.01	0.57
620	312	85	41	1.60	0.92	3.41	2.90	0.51
630	315	88	40	1.66	1.02	3.76	3.31	0.45
640	317	83	41	1.65	1.00	3.70	3.07	0.63
650	320	77	41	1.65	1.01	3.74	2.88	0.86
655	321	75	41	1.62	0.97	3.57	2.68	0.89
660	323	76	42	1.59	0.91	3.38	2.57	0.81
670	325	81	43	1.56	0.87	3.20	2.60	0.61
680	328	74	43	1.69	1.07	3.97	2.94	1.03
690	331	63	49	1.58	0.89	3.28	2.07	1.22
697	332	76	45	1.52	0.80	2.97	2.25	0.71
710	336	84	43	1.62	0.96	3.54	2.97	0.57
720	338	85	42	1.63	0.98	3.62	3.08	0.54
730	341	86	42	1.61	0.94	3.49	3.00	0.49
740	343	85	42	1.59	0.92	3.40	2.89	0.51
750	346	87	42	1.59	0.90	3.35	2.91	0.44
760	349	88	41	1.56	0.86	3.17	2.79	0.38
770	352	88	39	1.66	1.03	3.79	3.34	0.46

Carotte GEOFAR KS06

Profondeur (cm)	Age (ka)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)
2	7.9	2.00	1.58	
10	9.4	1.37	0.56	
20	11.2	1.45	0.68	
30	13.0	1.53	0.82	4.18
40	14.8	1.68	1.06	5.40
50	16.6	1.63	0.97	4.97
60	18.4	1.59	0.90	4.61
70	20.2	1.55	0.85	4.35
80	22.0	1.34	0.51	2.60
94	24.5	1.74	1.15	8.71
100	25.6	1.73	1.13	8.58
110	27.4	1.61	0.94	7.14
120	29.8	1.64	0.99	7.53
130	30.5	1.63	0.97	7.40
140	31.4	1.63	0.97	7.40
150	32.6	1.60	0.92	7.01
160	33.8	1.65	1.01	7.66
170	35.1	1.79	1.23	9.36
174	35.5	1.82	1.28	9.75

Stade 1 (0 à 12 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-1-KS01	93	2.40						15
90-1-KS02	88	3.90	1.46	0.70	2.71	2.25	0.47	9
90-2-KS02	82	1.80						12
90-2-KS03	95	0.80	1.43	0.66	0.53	0.50	0.03	59
91-KS01								
91-KS02	75	0.60						29
91-KS03	75	1.50	1.55	0.85	1.28	0.90	0.38	17
91-KS04	74	17.70	1.47	0.72	12.75	9.41	3.34	21
91-KS05	84	0.80	1.54	0.84	0.67	0.56	0.11	32
91-KS06	44	2.40	1.24	0.35	0.85	0.54	0.31	63
91-KS07	74	0.80						36
91-KS08	87	1.30						27
91-KS09	80	1.20						25
92-KS02	72	4.00	1.58	0.89	3.57	2.50	1.07	19
92-KS03	82	1.40	1.58	0.89	1.24	1.04	0.20	18
92-KS04	82	0.90	1.68	1.06	0.95	0.78	0.17	27
92-KS05	58	3.00	1.39	0.59				20
92-KS06								
92-KS08	85	0.40						48
92-KS09	81	1.70						12
92-KS10	60	3.00	1.57	0.87	2.61	1.59	1.02	23
GEOF-KS15	65	11.35	1.56	0.87	15.44	10.00	5.44	21
GEOF-KS16	69	2.60	1.65	1.00	2.61	1.80	0.82	
GEOF-KF15		0.80						
GEOF-KF20		2.10						
GEOF-KF21	64	7.56	1.56	0.86	7.56	4.84	2.71	40
GEOF-KF01		10.8	1.47	0.72	7.79			
GEOF-KF08		12.4	1.43	0.66	8.16			
GEOF-KF09		10.4	1.49	0.74	7.72			
GEOF-KF10		9.8	1.46	0.70	6.86			
GEOF-KF12		23.6	1.40	0.60	14.17			
GEOF-KF13		8.9	1.48	0.74	6.59			
GEOF-KF14		7.3	1.49	0.75	5.45			
GEOF-KF16		26.3	1.36	0.54	14.15			
GEOF-KF18		22.1	1.50	0.77	16.94			
GEOF-KS06								

Stade 2 (12 à 24 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-1-KS01	45	2.50	1.80	1.25	3.13	1.35	1.78	31
90-1-KS02	59	4.56	1.49	0.76	3.41	1.94	1.48	15
90-2-KS02	79	2.40	1.33	0.49	1.17	0.93	0.25	11
90-2-KS03								
91-KS01								
91-KS02	73	0.70	1.50	0.76	0.53	0.39	0.14	32
91-KS03	73	1.50	1.47	0.72	1.08	0.79	0.29	24
91-KS04	71	6.80	1.34	0.50	3.41	2.43	0.98	17
91-KS05	84	1.00	1.61	0.95	0.95	0.79	0.16	30
91-KS06	66	2.40	1.28	0.41	0.97	0.64	0.33	35
91-KS07	72	0.80	1.52	0.80	0.64	0.46	0.18	15
91-KS08	78	1.30	1.45	0.69	0.90	0.71	0.19	31
91-KS09	79	1.20						34
92-KS02	62	2.60	1.54	0.82	2.14	1.33	0.82	21
92-KS03	66	1.40	1.41	0.62	0.87	0.58	0.29	23
92-KS04	80	0.90	1.68	1.06	0.95	0.76	0.19	51
92-KS05	74	1.15	1.52	0.80				23
92-KS06	59		1.72	1.11				25
92-KS08	90	0.40	1.70	1.09	0.44	0.39	0.04	56
92-KS09	75	2.30	1.65	1.00	2.31	1.74	0.57	19
92-KS10	69	2.50	1.47	0.71	1.77	1.23	0.55	26
GEOF-KS15	77	2.66	1.27	0.40	1.45	1.12	0.32	64
GEOF-KS16	57	1.60	1.60	0.92	1.47	0.84	0.63	
GEOF-KF15								
GEOF-KF20								
GEOF-KF21	76	15.67	1.54	0.82	2.80	2.12	0.68	61
GEOF-KF01		6.3	1.34	0.50	3.16			
GEOF-KF08		4.2	1.32	0.48	2.02			
GEOF-KF09		16.2	1.35	0.53	8.60			
GEOF-KF10		16.7	1.37	0.56	9.32			
GEOF-KF12		41.4	1.37	0.56	13.27			
GEOF-KF13		5.7	1.34	0.51	2.92			
GEOF-KF14		3.5	1.39	0.59	2.06			
GEOF-KF16		37.4	1.23	0.33	12.37			
GEOF-KF18		26	1.27	0.40	10.36			
GEOF-KS06		5.1	1.58	0.89	4.54			

Stade 3 (24 à 59 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-1-KS01	47	2.00	1.66	1.02	2.05	0.90	1.15	28
90-1-KS02	53	5.50	1.53	0.81	4.44	2.34	2.10	12
90-2-KS02	75	3.90	1.33	0.50	1.94	1.49	0.45	19
90-2-KS03	99	0.90	1.64	0.99	0.89	0.88	0.01	70
91-KS01	86	1.00	1.41	0.63	0.63	0.54	0.09	68
91-KS02	72	1.10	1.49	0.74	0.82	0.59	0.23	26
91-KS03	73	1.60	1.50	0.77	1.23	0.90	0.32	15
91-KS04	73	3.80	1.41	0.62	2.36	1.73	0.63	13
91-KS05	85	1.10	1.64	0.99	1.09	0.92	0.17	47
91-KS06	76	5.30	1.39	0.59	3.13	2.37	0.76	16
91-KS07	84	0.80	1.49	0.75	0.60	0.50	0.10	63
91-KS08	83	1.30	1.47	0.72	0.94	0.78	0.16	22
91-KS09	82	1.20	1.47	0.72	0.86	0.71	0.15	21
92-KS02	82	2.30	1.58	0.90	2.07	1.70	0.36	16
92-KS03	76	1.50	1.44	0.67	1.00	0.77	0.23	26
92-KS04	73	1.10	1.54	0.83	0.91	0.66	0.25	37
92-KS05	72	1.50	1.59	0.92	1.37	0.98	0.39	21
92-KS06	73		1.67	1.04				16
92-KS08	75	0.50	1.62	0.97	0.48	0.36	0.12	59
92-KS09	63	1.90	1.26	0.37	0.71	0.44	0.26	16
92-KS10	69	2.89	1.45	0.69	1.96	1.37	0.59	15
GEOF-KS15	74	2.09	1.55	0.84	1.76	1.30	0.46	39
GEOF-KS16	64	1.40	1.58	0.89	1.25	0.81	0.44	
GEOF-KF15	85	0.80	1.71	1.10	0.88	0.74	0.14	
GEOF-KF20								
GEOF-KF21	74	4.80	1.59	0.91	4.35	3.19	1.15	58
GEOF-KF01		6.4	1.43	0.65	4.17			
GEOF-KF08		3.9	1.39	0.59	2.30			
GEOF-KF09		15.1	1.28	0.42	6.31			
GEOF-KF10		16.2	1.33	0.50	8.10			
GEOF-KF12								
GEOF-KF13		4.8	1.38	0.58	2.78			
GEOF-KF14		4.2	1.44	0.67	2.83			
GEOF-KF16		31.2	1.23	0.34	10.46			
GEOF-KF18		21.3	1.31	0.47	9.96			
GEOF-KS06		7.6	1.65	1.01	7.66			

Stade 4 (59 à 71 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-1KS01	50	2.20	1.59	0.91	2.01	0.99	1.02	24
90-1-KS02	72	4.45	1.50	0.77	3.46	2.36	1.10	32
90-2-KS02	72	2.80	1.46	0.71	1.98	1.43	0.55	24
90-2-KS03	97	0.80	1.65	1.01	0.81	0.79	0.02	57
91-KS01	77	1.10	1.38	0.57	0.63	0.49	0.14	71
91-KS02	70	1.30	1.55	0.85	1.11	0.77	0.33	21
91-KS03	75	1.50	1.55	0.85	1.28	0.96	0.32	22
91-KS04	58	5.50	1.37	0.55	3.03	1.74	1.29	12
91-KS05	85	1.00	1.63	0.97	0.97	0.83	0.15	49
91-KS06	79	6.00	1.38	0.58	3.45	2.74	0.71	17
91-KS07	81	0.80	1.48	0.73	0.59	0.47	0.11	56
91-KS08	80	1.30	1.22	0.32	0.42	0.33	0.08	18
91-KS09	78	1.10	1.55	0.85	0.94	0.73	0.21	33
92-KS02								
92-KS03	62	1.20	1.42	0.63	0.76	0.45	0.30	21
92-KS04	62	1.80	1.57	0.87	1.57	0.97	0.60	25
92-KS05	74	3.00	1.50	0.77	2.30	1.69	0.61	15
92-KS06	61	2.00	1.71	1.10	2.21	1.34	0.87	35
92-KS08	88	0.60	1.62	0.96	0.57	0.50	0.07	67
92-KS09	62	2.00	1.46	0.70	1.41	0.88	0.53	13
92-KS10	72	3.80	1.34	0.51	1.94	1.41	0.53	10
GEOF-KS15	72	1.58	1.56	0.86	1.35	0.97	0.39	28
GEOF-KS16	68	1.50	1.51	0.78	1.18	0.80	0.38	
GEOF-KF15	92	0.80	1.63	0.97	0.77	0.71	0.06	
GEOF-KF20	84	2.50	1.60	0.93	2.33	1.96	0.38	
GEOF-KF21	74	5.83	1.47	0.72	4.18	3.11	1.07	28
GEOF-KF01		4.1	1.48	0.73	2.98			
GEOF-KF08		2.3	1.41	0.62	1.42			
GEOF-KF13		4.2	1.48	0.73	3.06			
GEOF-KF14		6.2	1.43	0.65	4.00			

Stade 5 (71 à 128 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-1KS01	78	2.17	1.58	0.89	1.93	1.51	0.42	21
90-1-KS02	84	4.11	1.52	0.80	3.29	2.72	0.57	9
90-2-KS02	85	2.30	1.60	0.92	2.11	1.80	0.32	13
90-2-KS03	95	0.80	1.71	1.10	0.88	0.83	0.05	56
91-KS01	92	0.90	1.48	0.74	0.66	0.61	0.05	58
91-KS02	78	1.21	1.56	0.86	1.05	0.81	0.23	24
91-KS03	83	1.40	1.55	0.85	1.19	0.99	0.20	20
91-KS04	75	5.40	1.40	0.60	3.26	2.53	0.74	11
91-KS05	88	1.26	1.54	0.83	1.05	0.93	0.13	31
91-KS06	84	5.71	1.47	0.71	4.06	3.40	0.65	13
91-KS07	84	0.90	1.45	0.68	0.61	0.51	0.10	54
91-KS08	90	1.50	1.52	0.80	1.20	1.08	0.12	17
91-KS09	89	1.70	1.53	0.81	1.37	1.21	0.16	18
92-KS03	79	1.53	1.63	0.97	1.49	1.18	0.31	22
92-KS04	62	0.70	1.57	0.87	0.61	0.39	0.22	29
92-KS05	82	1.80	1.53	0.81	1.47	1.20	0.27	15
92-KS06	76	2.00	1.58	0.90	1.79	1.36	0.43	19
92-KS08	86	0.40	1.70	1.09	0.43	0.37	0.06	54
92-KS09	76	3.80	1.48	0.73	2.79	2.17	0.62	15
92-KS10	79	5.70	1.54	0.83	4.71	3.72	0.99	12
GEOF-KS15	80	1.45	1.57	0.87	1.26	1.02	0.25	41
GEOF-KS16	72	2.00	1.55	0.84	1.69	1.22	0.47	
GEOF-KF15	92	1.10	1.64	1.00	1.10	1.01	0.09	
GEOF-KF20	85	3.10	1.60	0.92	2.85	2.43	0.42	
GEOF-KF21	76	7.70	1.57	0.87	6.72	5.05	1.66	31
GEOF-KF01		4.1	1.44	0.67	2.76			
GEOF-KF08		3.4	1.50	0.76	2.58			
GEOF-KF13		3.8	1.48	0.73	2.76			
GEOF-KF14		6.3	1.49	0.74	4.69			

Stade 6 (128 à 186 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-1KS01	57	1.90	1.58	0.89	1.69	0.95	0.73	23
90-1-KS02	85	4.40	1.42	0.64	2.82	2.40	0.42	21
90-2-KS02	76	1.00	1.49	0.75	0.75	0.57	0.18	18
90-2-KS03	93	0.50	1.67	1.03	0.52	0.48	0.04	58
91-KS01	91	0.70	1.59	0.91	0.64	0.58	0.06	47
91-KS02	70	1.00	1.51	0.78	0.78	0.55	0.23	26
91-KS03	77	1.20	1.50	0.77	0.92	0.71	0.22	18
91-KS05	82	1.00	1.49	0.75	0.75	0.62	0.13	21
91-KS07	80	0.90	1.53	0.82	0.74	0.59	0.15	59
91-KS09	78	1.00	1.47	0.72	0.72	0.56	0.16	31
92-KS03	74	1.00	1.58	0.89	0.89	0.66	0.23	26
92-KS04	68	0.90	1.62	0.96	0.86	0.58	0.28	28
92-KS08	86	0.50	1.63	0.97	0.49	0.42	0.07	47
92-KS09	72	2.90	1.41	0.62	1.81	1.30	0.51	12
GEOF-KS15	78	1.40	1.57	0.89	1.24	0.96	0.28	21
GEOF-KS16	74	1.10	1.56	0.85	0.94	0.70	0.24	
GEOF-KF15	92	1.50	1.66	1.02	1.53	1.41	0.12	
GEOF-KF20	80	1.50	1.52	0.80	1.20	0.96	0.24	

Stade 7 (186 à 245 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-1KS01	72	1.50	1.63	0.98	1.46	1.03	0.44	20
90-2-KS02	81	0.90	1.67	1.04	0.93	0.76	0.17	13
90-2-KS03	95	0.70	1.69	1.08	0.75	0.72	0.03	58
91-KS01	89	1.00	1.59	0.91	0.91	0.82	0.10	51
91-KS02	78	1.10	1.54	0.84	0.92	0.72	0.20	27
91-KS03	82	1.30	1.57	0.88	1.15	0.95	0.20	17
91-KS05	87	1.10	1.54	0.83	0.91	0.80	0.12	22
91-KS07	71	0.90	1.52	0.80	0.72	0.51	0.21	48
91-KS09	77	1.30	1.48	0.73	0.95	0.73	0.22	29
92-KS03	79	1.70	1.63	0.97	1.65	1.30	0.35	24
92-KS04	71	1.40	1.64	0.98	1.36	0.97	0.39	30
92-KS08	84	0.50	1.64	1.00	0.50	0.42	0.08	48
GEOF-KS15	70	1.40	1.60	0.93	1.30	0.90	0.39	23
GEOF-KS16	71	3.60	1.53	0.81	2.91	2.07	0.84	
GEOF-KF15	91	1.50	1.65	1.00	1.50	1.37	0.13	

Stade 8 (245 à 303 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-1KS01	67	2.30	1.67	1.03	2.37	1.60	0.77	16
90-2-KS03	93	0.80	1.74	1.16	0.93	0.86	0.07	52
91-KS01	88	1.50	1.57	0.88	1.32	1.19	0.13	46
91-KS02	80	1.90	1.53	0.81	1.54	1.25	0.29	18
91-KS03	80	2.80	1.51	0.78	2.19	1.74	0.45	26
91-KS07	75	1.30	1.40	0.60	0.78	0.59	0.19	52
91-KS09	80	1.70	1.49	0.75	1.27	1.02	0.25	20
92-KS03	79	1.20	1.53	0.81	0.97	0.77	0.20	21
92-KS04	50	1.40	1.45	0.68	0.95	0.48	0.48	29
92-KS08	86	0.60	1.70	1.09	0.65	0.56	0.09	60
GEOF-KS16	83	3.60	1.49	0.74	2.67	2.23	0.44	

Stade 9 (303 à 339 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-2-KS03	93	0.50	1.80	1.25	0.62	0.58	0.05	44
91-KS01	87	2.30	1.65	1.01	2.31	2.02	0.30	46
91-KS02	78	1.90	1.55	0.84	1.60	1.28	0.32	14
91-KS07	81	2.20	1.63	0.98	2.15	1.75	0.40	32
91-KS09	86	1.70	1.58	0.89	1.51	1.29	0.22	14
92-KS08	86	0.50	1.74	1.16	0.58	0.50	0.08	37
GEOF-KS16	79	3.70	1.61	0.94	3.50	2.76	0.74	

Stade 9 (339 à 362 ka)

Carottes	CaCO3 (%)	Tx. Sédim. (cm.ka-1)	Densité	Dens. sèche	Flux total (g.cm-2.ka-1)	Flux CaCO3 (g.cm-2.ka-1)	Flux Résiduel (g.cm-2.ka-1)	Sables (%)
90-2-KS03	96	0.60	1.76	1.18	0.71	0.68	0.03	35
91-KS01	90	2.30	1.66	1.02	2.35	2.12	0.23	36
91-KS02	84	1.90	1.41	0.62	1.19	0.99	0.19	14
91-KS07	86	2.30	1.64	0.98	2.26	1.95	0.31	20
91-KS09	81	1.70	1.52	0.80	1.35	1.10	0.25	15
92-KS08	88	0.50	1.65	1.00	0.50	0.45	0.06	34
GEOF-KS16	87	3.70	1.60	0.93	3.44	2.99	0.45	

Fonctions d'apport pélagique

6 ka

Age (ka)	Moyenne (µm)	Age (ka)	Moyenne (µm)	Age (ka)	Moyenne (µm)	Age (ka)	Moyenne (µm)	Age (ka)	Moyenne (µm)	Age (ka)	Moyenne (µm)
0	65	**60**	50	**120**	49	**180**	60	**240**	56	**300**	28
1	64	**61**	51	**121**	50	**181**	61	**241**	54	**301**	27
2	45	**62**	51	**122**	50	**182**	62	**242**	54	**302**	25
3	47	**63**	53	**123**	51	**183**	62	**243**	54	**303**	24
4	49	**64**	54	**124**	53	**184**	62	**244**	54	**304**	22
5	51	**65**	55	**125**	57	**185**	60	**245**	54	**305**	22
6	52	**66**	55	**126**	60	**186**	59	**246**	54	**306**	24
7	49	**67**	55	**127**	62	**187**	58	**247**	54	**307**	26
8	50	**68**	54	**128**	62	**188**	58	**248**	55	**308**	27
9	52	**69**	54	**129**	62	**189**	57	**249**	56	**309**	29
10	53	**70**	54	**130**	61	**190**	57	**250**	57	**310**	30
11	49	**71**	53	**131**	61	**191**	56	**251**	55	**311**	31
12	51	**72**	53	**132**	59	**192**	55	**252**	54	**312**	31
13	52	**73**	52	**133**	58	**193**	53	**253**	53	**313**	31
14	54	**74**	52	**134**	56	**194**	52	**254**	52	**314**	32
15	55	**75**	52	**135**	56	**195**	51	**255**	51	**315**	32
16	56	**76**	51	**136**	56	**196**	51	**256**	51	**316**	33
17	57	**77**	51	**137**	56	**197**	51	**257**	50	**317**	34
18	57	**78**	50	**138**	56	**198**	50	**258**	51	**318**	35
19	57	**79**	49	**139**	61	**199**	50	**259**	52	**319**	37
20	58	**80**	48	**140**	61	**200**	50	**260**	51	**320**	38
21	58	**81**	48	**141**	60	**201**	50	**261**	49	**321**	38
22	58	**82**	48	**142**	59	**202**	51	**262**	49	**322**	38
23	59	**83**	48	**143**	58	**203**	52	**263**	49	**323**	39
24	58	**84**	49	**144**	58	**204**	53	**264**	49	**324**	39
25	55	**85**	50	**145**	57	**205**	55	**265**	49	**325**	39
26	53	**86**	49	**146**	57	**206**	55	**266**	47	**326**	38
27	51	**87**	48	**147**	57	**207**	53	**267**	52	**327**	37
28	50	**88**	46	**148**	57	**208**	50	**268**	51	**328**	36
29	50	**89**	44	**149**	56	**209**	47	**269**	51	**329**	35
30	51	**90**	44	**150**	56	**210**	45	**270**	51	**330**	34
31	52	**91**	43	**151**	55	**211**	44	**271**	50	**331**	32
32	54	**92**	41	**152**	54	**212**	43	**272**	50	**332**	33
33	55	**93**	40	**153**	54	**213**	42	**273**	49	**333**	34
34	56	**94**	39	**154**	53	**214**	40	**274**	48	**334**	34
35	58	**95**	40	**155**	52	**215**	38	**275**	47	**335**	35
36	60	**96**	41	**156**	51	**216**	36	**276**	45	**336**	35
37	58	**97**	42	**157**	51	**217**	34	**277**	44	**337**	36
38	56	**98**	43	**158**	50	**218**	34	**278**	42	**338**	36
39	55	**99**	43	**159**	49	**219**	36	**279**	41	**339**	35
40	53	**100**	44	**160**	49	**220**	37	**280**	40	**340**	35
41	52	**101**	44	**161**	49	**221**	38	**281**	40	**341**	35
42	51	**102**	44	**162**	49	**222**	39	**282**	31	**342**	35
43	50	**103**	44	**163**	50	**223**	40	**283**	31	**343**	36
44	50	**104**	44	**164**	51	**224**	41	**284**	30	**344**	36
45	49	**105**	44	**165**	51	**225**	42	**285**	29	**345**	36
46	47	**106**	42	**166**	52	**226**	44	**286**	28	**346**	36
47	46	**107**	42	**167**	52	**227**	46	**287**	28	**347**	36
48	45	**108**	44	**168**	53	**228**	48	**288**	28	**348**	36
49	43	**109**	44	**169**	54	**229**	50	**289**	28	**349**	35
50	42	**110**	44	**170**	56	**230**	52	**290**	29	**350**	36
51	42	**111**	45	**171**	57	**231**	54	**291**	31		
52	43	**112**	46	**172**	58	**232**	56	**292**	31		
53	44	**113**	45	**173**	60	**233**	56	**293**	32		
54	45	**114**	44	**174**	60	**234**	57	**294**	32		
55	46	**115**	44	**175**	61	**235**	57	**295**	32		
56	48	**116**	46	**176**	61	**236**	58	**296**	32		
57	50	**117**	45	**177**	61	**237**	58	**297**	32		
58	51	**118**	45	**178**	62	**238**	58	**298**	31		
59	50	**119**	47	**179**	62	**239**	57	**299**	30		

2 ka

Age (ka)	Moyenne (µm)	Age (ka)	Moyenne (µm)
		60	37
		61	35
		62	33
3	49	**63**	29
4	47	**64**	27
5	48	**65**	26
6	52	**66**	25
7	57	**67**	24
8	38	**68**	29
9	52	**69**	33
10	61	**70**	29
11	59	**71**	27
12	56	**72**	26
13	59	**73**	30
14	58	**74**	30
15	58	**75**	28
16	58	**76**	28
17	59	**77**	28
18	50	**78**	21
19	40	**79**	13
20	40	**80**	17
21	43	**81**	20
22	43	**82**	25
23	44	**83**	30
24	45	**84**	31
25	42	**85**	33
26	40	**86**	36
27	37	**87**	37
28	36	**88**	36
29	33	**89**	33
30	33	**90**	29
31	33	**91**	30
32	35	**92**	33
33	37	**93**	35
34	38	**94**	37
35	38	**95**	37
36	37	**96**	33
37	36	**97**	37
38	35	**98**	40
39	34	**99**	49
40	32	**100**	48
41	29	**101**	38
42	32	**102**	45
43	36	**103**	44
44	41	**104**	40
45	41	**105**	39
46	39	**106**	32
47	37	**107**	29
48	36	**108**	33
49	36	**109**	33
50	36	**110**	33
51	37	**111**	36
52	35	**112**	31
53	36	**113**	32
54	38	**114**	33
55	41	**115**	31
56	39	**116**	31
57	36	**117**	34
58	35	**118**	37
59	36	**119**	34

Composition du sédiment de surface

Carotte	% CaCO3	% Quartz	% Feldspaths	% MLO	% MLT	% V. volc.	% Planc. silic.	% Spicules	% Matrice
90-1-KS01	93	0.0	1.5	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1	5.0
90-1-KS02	93	0.0	1.0	0.3	0.0	0.1	0.7	0.2	4.8
90-2-KS02	82	0.0	3.6	3.6	0.0	0.1	0.8	0.7	9.2
90-2-KS03	95	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.4	0.2	3.7
91-KS01	87	0.0	2.0	1.4	0.8	0.4	0.7	1.6	6.1
91-KS02	75	0.0	7.6	2.5	1.1	0.5	0.1	1.4	11.9
91-KS03	79	0.0	7.4	3.1	0.7	1.0	0.5	0.4	7.9
91-KS04	80	0.0	5.9	3.3	0.6	0.9	0.8	1.5	7.1
91-KS05	83	0.0	2.6	1.3	0.7	0.1	0.3	0.4	11.7
91-KS06	24	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0	0.0	0.0	0.0
91-KS07	74	0.0	8.9	5.9	1.6	0.3	0.3	0.7	8.4
91-KS08	87	0.0	4.8	2.6	0.8	0.3	0.1	0.4	3.9
91-KS09	87	0.0	3.6	2.5	1.0	0.2	0.2	0.3	5.2
92-KS02	83	0.0	4.9	2.6	2.0	0.3	0.4	0.6	6.3
92-KS03	79	0.0	5.7	4.3	0.9	0.8	1.1	1.0	7.1
92-KS04	85	0.0	4.2	3.5	1.2	0.1	0.4	0.9	4.7
92-KS05	63	0.0	13.0	8.6	2.5	0.2	0.7	1.1	10.9
92-KS06	60	0.0	17.6	9.1	2.8	0.2	0.7	0.8	8.7
92-KS07	78	0.0	8.8	3.9	1.4	0.1	0.3	0.6	6.9
92-KS08	85	0.0	4.0	1.8	2.9	0.2	0.3	0.5	5.3
92-KS09	81	0.0	5.0	3.6	1.0	1.1	0.6	0.7	7.0
92-KS10	59	0.0	12.4	4.0	1.0	3.2	1.9	2.7	15.8
GEOF-KG03	79	0.0	1.4	1.7	1.9	0.7	0.3	0.0	15.1
GEOF-KG05	81	0.0	2.5	1.4	8.6	2.1	0.7	1.4	2.4
GEOF-KG07	83	0.0	3.4	1.0	8.5	0.0	0.3	0.9	2.8
GEOF-KG09	81	0.0	4.8	1.2	9.5	0.4	0.4	1.2	1.7
GEOF-KG10	69	0.0	8.8	1.1	14.0	0.3	1.1	1.8	3.9
GEOF-KG13	83	0.0	4.7	1.3	1.5	0.0	0.3	0.9	8.4
GEOF-KG14	81	0.0	2.7	1.0	3.3	0.2	0.6	1.2	10.0
GEOF-KG15	86	0.0	2.8	0.8	1.7	0.2	0.0	0.8	7.6
GEOF-KG16	87	0.0	2.9	0.9	4.3	0.3	0.5	0.9	3.3
GEOF-KG17	78	0.0	5.7	1.7	4.0	0.0	0.5	1.7	8.4
GEOF-KG18	33	0.0	5.9	2.0	9.8	35.7	2.2	2.8	8.7
GEOF-KG19	85	0.0	2.2	0.7	8.8	0.0	1.3	0.5	1.5
GEOF-KG21	79	0.0	8.0	3.6	1.7	0.0	0.6	0.8	6.3
GEOF-KG22	76	0.0	6.0	1.7	2.6	0.3	0.4	0.7	12.4
GEOF-KG23	76	0.0	3.7	3.7	4.1	2.3	1.8	1.2	7.2
GEOF-KG24	68	0.0	9.5	5.0	1.0	0.2	0.8	6.0	9.4
GEOF-KB03	83	0.0	2.3	2.1	2.1	0.4	0.8	0.8	8.4
GEOF-KB04	90	0.0	1.6	1.5	1.5	0.2	0.5	0.6	4.1
GEOF-KB06	94	0.0	1.3	0.8	0.3	0.0	0.1	0.2	3.4
GEOF-KB07	84	0.0	3.2	2.7	1.9	0.6	1.3	1.5	4.8
GEOF-KB08	83	0.0	2.1	1.5	3.0	0.7	0.3	1.7	7.7
GEOF-KB09	88	0.0	2.6	2.4	2.1	0.2	0.3	1.0	3.7
GEOF-KB10	69	0.0	5.0	4.3	3.9	1.2	3.1	3.5	10.1
GEOF-KB13	76	0.0	5.4	4.8	4.8	1.0	0.4	1.2	6.4
GEOF-KB11	79	0.0	5.1	2.7	2.7	0.3	0.5	1.9	7.8
GEOF-KF20	79	0.0	2.8	2.9	2.8	0.5	1.3	2.7	7.9

Composition du sédiment LGM

Carotte	% CaCO3	% Quartz	% Feldspaths	% MLO	% MLT	% V. volc.	% Planc. silic.	% Spicules	% Matrice
90-1-KS01	40	16.9	13.1	2.3	5.6	0.4	2.3	1.3	18.2
90-1-KS02	72	0.0	10.8	1.0	1.6	0.3	1.9	0.8	11.7
90-2-KS02	79	0.0	3.3	1.8	2.7	1.2	1.0	0.9	10.0
91-KS02	72	0.0	7.1	2.9	6.5	2.2	0.4	0.6	8.3
91-KS03	69	0.0	5.5	1.6	1.6	0.3	1.5	1.4	19.1
91-KS04	68	0.0	3.9	3.6	2.8	1.8	3.5	3.4	13.0
91-KS05	85	0.0	3.0	1.1	2.7	0.2	0.3	0.3	7.5
91-KS06	63	0.0	5.9	1.8	2.1	6.6	2.7	1.9	15.9
91-KS07	69	0.0	10.6	7.2	9.4	0.0	0.0	0.5	3.3
91-KS08	78	0.0	3.0	0.5	0.7	0.1	1.2	1.0	15.5
91-KS09	73	13.5	0.0	2.8	3.7	0.2	1.2	1.0	4.6
92-KS02	65	0.0	9.6	4.3	6.0	2.1	1.6	2.8	8.7
92-KS03	65	0.0	13.3	3.7	7.4	1.4	1.8	2.1	5.2
92-KS04	74	0.0	7.7	2.4	2.9	0.5	0.2	0.5	11.7
92-KS05	69	0.0	5.0	2.1	2.9	0.6	2.5	1.6	16.3
92-KS08	81	0.0	5.3	2.4	2.9	0.1	0.3	0.4	7.5
92-KS09	80	0.0	5.2	2.0	3.7	0.6	0.3	0.4	7.8
92-KS10	73	0.0	3.7	2.1	3.0	2.9	2.6	2.6	10.1
GEOF-KF01	76	0.0	4.5	2.0	2.9	1.1	3.4	1.5	8.8
GEOF-KF08	69	0.0	5.0	1.5	2.7	0.7	2.1	3.9	15.1
GEOF-KF09	64	0.0	1.5	1.9	2.2	0.0	1.4	3.4	25.7
GEOF-KF10	63	0.0	7.7	2.8	5.8	1.3	2.4	6.5	10.5
GEOF-KF13	70	0.0	1.1	0.9	0.6	0.4	4.9	3.8	18.4
GEOF-KF14	73	0.0	4.2	1.0	1.4	1.2	1.9	1.1	16.3
GEOF-KF16	65	0.0	3.5	2.8	1.5	1.8	5.3	6.1	14.0
GEOF-KF18	65	0.0	2.1	2.1	0.9	0.0	4.8	4.2	20.9
GEOF-KF20	78	0.0	9.2	2.1	4.0	1.0	0.9	1.1	3.7
GEOF-KF21	81	0.0	4.8	2.0	4.0	1.8	0.8	2.4	3.2
GEOF-KS06	81	0.0	5.6	1.6	2.5	0.8	0.5	0.3	7.7
GEOF-KS15	80	0.0	3.9	1.6	2.5	0.8	0.3	0.6	10.4
GEOF-KS16	44	0.0	8.2	10.0	11.8	14.4	0.8	1.6	9.3

Flux sédimentaire récent (g.cm-2.ka-1)

Carotte	CaCO3	Quartz	Feldspaths	MLO	MLT	V. volc.	Planc. silic.	Spicules	Matrice
90-1-KS01	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
90-1-KS02	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
90-2-KS02	1.4	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
90-2-KS03	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
91-KS02	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
91-KS03	1.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
91-KS04	12.8	0.0	0.9	0.5	0.1	0.1	0.1	0.2	1.1
91-KS05	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
91-KS06	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
91-KS07	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
91-KS08	1.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
91-KS09	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
92-KS02	2.8	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
92-KS03	0.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
92-KS04	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
92-KS05	1.8	0.0	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3
92-KS08	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
92-KS09	1.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
92-KS10	1.3	0.0	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.4
GEOF-KG05	2.5	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1
GEOF-KG07	3.2	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1
GEOF-KG09	13.4	0.0	0.8	0.2	1.6	0.1	0.1	0.2	0.3
GEOF-KG13	4.8	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5
GEOF-KG14	14.5	0.0	0.5	0.2	0.6	0.0	0.1	0.2	1.8
GEOF-KG16	7.9	0.0	0.3	0.1	0.4	0.0	0.0	0.1	0.3
GEOF-KG17	5.0	0.0	0.4	0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	0.5
GEOF-KG21	0.6	0.0	0.1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GEOF-KG22	12.2	0.0	1.0	0.3	0.4	0.0	0.1	0.1	2.0
GEOF-KG24	4.1	0.0	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.4	0.6
GEOF-KB07	4.9	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3
GEOF-KB08	5.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.5
GEOF-KB11	1.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
GEOF-KB13	1.6		0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1

Flux sédimentaire LGM (g.cm-2.ka-1)

Carotte	CaCO3	Quartz	Feldspaths	MLO	MLT	V. volc.	Planc. silic.	Spicules	Matrice
90-1-KS01	0.8	0.35	0.27	0.05	0.12	0.01	0.05	0.03	0.37
90-1-KS02	2.1	0.00	0.31	0.03	0.05	0.01	0.06	0.02	0.33
90-2-KS02	0.9	0.00	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.12
91-KS02	0.4	0.00	0.04	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.05
91-KS03	0.7	0.00	0.06	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.21
91-KS04	4.3	0.00	0.24	0.23	0.18	0.11	0.22	0.21	0.82
91-KS05	0.8	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07
91-KS06	0.7	0.00	0.06	0.02	0.02	0.07	0.03	0.02	0.17
91-KS07	0.4	0.00	0.06	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02
91-KS08	0.5	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.11
91-KS09	0.1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
92-KS02	1.5	0.00	0.22	0.10	0.14	0.05	0.04	0.06	0.20
92-KS03	0.6	0.00	0.12	0.03	0.07	0.01	0.02	0.02	0.05
92-KS04	0.7	0.00	0.07	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.11
92-KS05	0.6	0.00	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.14
92-KS08	0.3	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
92-KS09	1.9	0.00	0.12	0.05	0.09	0.01	0.01	0.01	0.18
92-KS10	1.5	0.00	0.07	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.20
GEOF-KF01	2.2	0.00	0.13	0.06	0.08	0.03	0.10	0.04	0.25
GEOF-KF08	1.1	0.00	0.08	0.02	0.04	0.01	0.03	0.06	0.25
GEOF-KF09	3.5	0.00	0.08	0.10	0.12	0.00	0.07	0.18	1.41
GEOF-KF10	4.3	0.00	0.52	0.19	0.40	0.09	0.16	0.44	0.71
GEOF-KF13	2.2	0.00	0.03	0.03	0.02	0.01	0.15	0.12	0.57
GEOF-KF16	3.4	0.00	0.18	0.15	0.08	0.09	0.27	0.32	0.72
GEOF-KF18	8.0	0.00	0.26	0.26	0.11	0.00	0.59	0.52	2.58
GEOF-KF20	1.5	0.00	0.17	0.04	0.07	0.02	0.02	0.02	0.07
GEOF-KF21	2.6	0.00	0.15	0.06	0.13	0.06	0.03	0.08	0.10
GEOF-KS06	3.6	0.00	0.25	0.07	0.11	0.04	0.02	0.01	0.34
GEOF-KS16	0.7	0.00	0.13	0.16	0.19	0.23	0.01	0.03	0.15

Bibliographie

Auffret, G.A., 1983 - Dynamique sédimentaire de la Marge Continentale Celtique: Evolution Cénozoïque, spécificité du Pléistocène supérieur et de l'Holocène. *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Bordeaux I, 335 pp.

Auffret, G.A., 1994 - Rapid post-bloom resuspension in the northeastern Atlantic. *Deep-Sea Research*, **41**, (5/6), 925-939.

Auffret, G.A. & Pastouret, L., 1979 - Upper Cretaceous to Quaternary sedimentary processes in the Bay of Biscay from textural, mineralogical, and coarse fraction studies. *in* (eds)., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project., Washington, U.S. Government Printing Office. **XLXIII**, 791-830.

Auffret, G.A., Sichler, B. & Coléno, B., 1981 - Deep-sea sediments texture and magnetic fabric, indicator of bottom-current regime. *Oceanologica Acta*, **4**, 475-488.

Balsam, W.L., 1983 - Carbonate dissolution on the Muir Seamount (Western North Atlantic): Interglacial/Glacial changes. *Journal of sedimentary Petrology*, **53**, (3), 719-731.

Bard, E., Arnold, M., Fairbanks, R.G. & Hamelin, B., 1993 - ^{230}Th-^{234}U and ^{14}C Ages obtained by mass spectrometry on corals. *Radiocarbon*, **35**, 191-193.

Bard, E., Hamelin, B., Fairbanks, R.G. & Zindler, A., 1990 - Calibration of the ^{14}C timescale over the past 30,000 years using mass spectrometric U-Th ages from the Barbados corals. *Nature*, **345**, 405-410.

Bé, A.W.H., Damuth, J.E., Lott, L. & Free, R., 1976 - Late Quaternary climatic record in Western Equatorial Atlantic sediment. *in* R. M. Cline and J. D. Hays, (eds)., Investigation of late Quaternary paleoceanography and paleoclimatology., **145**, 165-200.

Berger, A., 1988a - Milankovitch theory and climate. *Reviews of Geophysics*, **26**, (4), 624-657.

Berger, W.H., 1988b - Global Maps of Ocean Productivity. *in* W. H. Berger, V. S. Smetacek and G. Wefer, (eds)., Productivity of the Ocean: Present and Past., John Wiley & Sons. Life Sciences Research Reports, **44**, 429-455.

Biscaye, P.E., Kolla, V. & Turekian, K.K., 1976 - Distribution of Calcium Carbonate in surface sediments of the Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, **81**, (15), 2595-2603.

Blaeser, C.R. & Ledbetter, M.T., 1982 - Deep-Sea bottom-currents differentiated from texture of underlying sediment. *Journal of Sedimentary Petrology*, **52**, (3), 755-768.

Boelaert, A., In prep. - Paléocirculation des eaux intermédiaires dans la zone Açores-Gibraltar au cours des derniers 150.000 ans. *Thèse de Doctorat*, Université de Bretagne Occidentale, Brest, pp.

Bond, G., Broecker, W., Johnsen, S., McManus, J., Labeyrie, L., Jouzel, J. *et al.*, 1993 - Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, **365**, 143-147.

Bréheret, J.G., 1977 - Les coccolithes du Pléistocène Supérieur et de l'Holocène de deux carottes profondes de l'Atlantique nord-est. *Thèse de doctorat*, Université de Nantes, pp.

Brezina, J., 1979 - Particle size and settling rate distributions of sand-sized material., *Partec-2nd Eur. Symp. on Particle Characterization*,

Broecker, W.S., Bond, G. & Klas, M., 1990 - A salt oscillator in the glacial Atlantic. 1. The concept. *Paleoceanography*, **5**, (4), 469-477.

Brown, J., Colling, A., Park, D., Philips, J., Rothery, D. & Wright, J., 1989 - Ocean circulation (prepared by an open university course team)., *PERGAMON PRESS*, pp.

CLIMAP, 1976 - The surface of the ice-age earth. *Science*, **191**, 1131-1137.

Coppedge, M.L. & Balsam, W.L., 1992 - Organic carbon distribution in the North Atlantic Ocean during the last glacial maximum. *Marine Geology*, **105**, 37-50.

Cortijo, E., 1995 - La variabilité climatique rapide dans l'Atlantique Nord depuis 128 000 ans: relations entre les calottes de glaces et l'océan de surface. *Thèse de doctorat*, Université de Paris XI, pp.

Cortijo, E. & Reynaud, J.Y., 1992 - Variabilité climatique haute résolution dans les sédiments de l'Atlantique Nord. *DEA*, Université d'Orsay, pp.

Cremer, M., Faugères, J.-C., Grousset, F. & Gonthier, E., 1993 - Late Quaternary sediment flux on sedimentary drifts in the Northeast Atlantic. *Sedimentary Geology*, (82), 89-101.

Cremer, M., Grousset, F., Faugères, J.-C., Duprat, J. & Gonthier, E., 1992 - Sediment flux patterns in the northeastern Atlantic: variability since the Last Interglacial. *Marine Geology*, **104**, 31-53.

Crowley, T.J., 1981 - Temperature and circulation changes in the Eastern North Atlantic during the last 150,000 years: Evidence from the planktonic foraminiferal record. *Marine Micropaleontology*, **6**, 97-129.

Crowley, T.J., 1983 - Calcium-Carbonate preservation patterns in the central north atlantic during the last 150,000 years. *Marine Geology*, **51**, 1-14.

Ellwood, B.B. & Ledbetter, M.T., 1977 - Antarctic bottom water fluctuations in the Vema Channel: Effects of velocity changes on particle alignement and size. *Earth and Planetary Science Letters*, **35**, 189-198.

Ellwood, B.B. & Ledbetter, M.T., 1979 - Paleocurrent indicators in deep-sea sediments. *Science*, **203**, 1335-1337.

Emelyanov, E.M., 1975 - Amorphous silica in sediments of the Atlantic Ocean. *Doklady Akad. Nauk SSSR*, **225**, 1183-1186.

Emery, K.O. & Uchupi, E., 1984 - The Geology of the Atlantic Ocean, *Springer-Verlag*, New York, 1050 pp.

Emiliani, C., 1955 - Pleistocene temperatures. *Journal of Geology*, **63**, 539-578.

Faugères, J.-C., Gayet, J., Gonthier, E., Poutiers, J. & Niang, I., 1982 - La dorsale médio-atlantique entre 43° et 56° N: faciès et dynamique sédimentaire dans plusieurs types d'environnements au Quaternaire récent. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, **31**, 195-215.

Faugères, J.-C. & Stow, D.A.V., 1993 - Bottom-current-controlled sedimentation: a synthesis of the contourites problem. *Sedimentary Geology*, **82**, (1-4), 287-297.

Feely, R.A., Gendron, J.F., Baker, E.T. & Lebon, G.T., 1994 - Hydrothermal plumes along the East Pacific Rise, 8°40' to 11°50'N: Particle distribution and composition. *Earth and Planetary Science Letters*, **128**, 19-36.

Fornari, D., Humphris, S. & Scientists, t.S., 1996 - Multidisciplinary Investigations of Hydrothermal Vents on Lucky Strike Seamount and the Tectonic and Volcanic Structure of the Mid-Atlantic Ridge Rift Valley Between 37°10'N and 37°25'N. *Woods Hole Oceanographic Institution*, **http://drifor.whoi.edu/LuckyStrike96**, Internet Link Cruise Report,

Fouquet, Y., Charlou, J.-L., Costa, I., Donval, J.-P., Radford-Knoery, J., Pellé, H. *et al.*, 1994 - A detailled study of the Lucky Strike hydrothermal site and discovery of a new hydrothermal site: Menez Gwen: Preliminary results of DIVA 1 Cruise (5-29 May 1994). *InterRidge News*, **3**, (2), 14-17.

Fouquet, Y., Eissen, J.-P., Ondréas, H., Batiza, R. & Danyushevsky, L., Submitted - Deep-Water (~1700m) Explosive Basalt Volcanism at the Mid-Atlantic Ridge. *Science*,

Fouquet, Y., Ondréas, H., Eissen, J.-P. & Batiza, R., 1995 - Dynamisme volcanique explosif à l'axe de la dorsale Atlantique (37°50N et 38°20N): contexte et nature., *Journées spécialisées de la Société Géologique de France*, Brest,

Fuglister, F., 1963 - Gulf Stream '60. *Program. Oceanogr.*, **1**, 265-291.

Goldberg, E.D. & Griffin, J., 1964 - Sedimentation rates and mineralogy in the South Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, **69**, 4293-4309.

Gonthier, E., Faugères, J. & Weber, O., 1981 - Signification des méthodes granulométriques pour la reconstitution des processus hydrodynamiques à partir de sédiments profonds terrigènes carbonatés. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, **30**, 31-49.

Grousset, F., 1985 - Sédimentogénèse d'un environnement de dorsale: la ride Açores-Islande au cours du dernier cycle climatique. Origine, vecteurs, flux des particules sédimentaires. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, **37**, 5-220.

Grousset, F., Duprat, J., Faugères, J.-C., Gonthier, E., Maillet, N., Poutiers, J. *et al.*, 1981 - Premiers résultats de la mission FAEGAS III; données sédimentologiques sur un domaine de dorsale océanique: la ride médio-atlantique entre 43° et 56° N. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, **29**, 43-83.

Grousset, F., Thomas, B. & Maillet, N., 1994 - Etude géochimique (REE) et minéralogique des sédiments de surface de la dorsale médio-Atlantique (entre 37°N et 39°N). Programme GEOFAR. *Rapport final, contrat 93-2-410506-DRO/GM*, Département de Géologie et Océanographie, URA 197, Université de Bordeaux I,

Grousset, F.E. & Chesselet, R., 1986 - The Holocene sedimentary regime in the northern Mid-Atlantic Ridge region. *Earth and Planetary Science Letters*, **78**, 271-287.

Grousset, F.E., Labeyrie, L., Sinko, J.A., Cremer, M., Bond, G., Duprat, J. *et al.*, 1993 - Patterns of ice-rafted detritus in the glacial North Atlantic (40-55°N). *Paleoceanography*, **8**, (2), 175-192.

Haskell, J.B. & Johnson, T.C., 1993 - Surface sediment response to deep water circulation on the Blake Outer Ridge, western North Atlantic: paleoceanographic implications. *Sedimentary Geology*, **82**, 133-144.

Heezen, B.C. & Hollister, C.D., 1971 - The Face of the Deep, *Oxford University Press*, 659 pp.

Hjulsröm, F., 1935 - Studies in the morphological activity of rivers as illustrated by River Fyris. *Geol. Inst. Univ. Upsala, Bull.*, **25**, 221-528.

Hjulsröm, F., 1939 - Transportation of detritus by moving water. *in* P. D. Trask, (eds)., Recent Marine Sediment, A Symposium., 4, 5-31.

Hoffert, M., 1973 - Les minéraux argileux dans quatres carottes de l'Atlantique nord. Essai d'interprétation sédimentologique. *Thèse de Doctorat de 3ème Cycle*, Université Louis Pasteur, pp.

Hollister, C.D., Flood, R. & McCave, I.N., 1978 - Plastering and decorating in the North Atlantic. *Oceanus*, **21**, (4), 5-13.

Hollister, C.D. & Heezen, B.C., 1972 - Geologic effects of ocean bottom currents: western North Atlantic. *in* A. L. Gordon, (eds)., Studies in Physical Oceanography., New York, Gordon and Breach. **2**, 37-36.

Honjo, S., 1986 - Oceanic particles and pelagic sedimentation in the western Norh Atlantic Ocean. *in* P. R. Vogt and B. E. Tucholke, (eds)., The Geology of North America: The western North Atlantic., Geological Society of America. M, 469-478.

Imbrie, J., Hays, J.D., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, A.C., Morley, J.J. *et al.*, 1984 - The orbital theory of pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}O$ record. *in* A. Berger, (eds)., Milankovitch and Climate., D. Reidel Publishing Company. Part I, 269-305.

Jones, G.A., Jonson, D.A. & Curry, W.B., 1984 - High-Resolution stratigraphy in Late Pleistocene/Holocene sediments of the Vema Channel. *Marine Geology*, **58**, 59-87.

Keffer, T., Martinson, D.G. & Corliss, B.H., 1988 - The Position of the Gulf Stream During Quaternary Glaciations. *Science*, **241**, 440-442.

Kenneth, P.J., 1982 - Marine Geology, *Prentice-Hall, Inc.*, Englewood Cliffs, N.J. 07632, 170 pp.

Kolla, V., Biscaye, P.E. & Hanley, A., 1979 - Distribution of Quartz in the Late Quaternary Atlantic Sediments in Relation to Climate. *Quaternary Research*, **11**, 261-277.

Ledbetter, M.T., 1979 - Fluctuations of Antarctic Bottom Water velocity in the Vema Channel during the last 160,000 years. *Marine Geology*, **33**, 71-89.

Ledbetter, M.T., 1984 - Bottom-current speed in the Vema Channel recorded by particle size of sediment fine-fraction. *Marine Geology*, **58**, 137-149.

Ledbetter, M.T. & Ellwood, B.B., 1980 - Spatial and temporal changes in bottom water velocity and direction from analysis of particle size and alignement in deep sea sediment. *Marine Geology*, **38**, 245-261.

Ledbetter, M.T. & Johnson, D.A., 1976 - Increased transport of Antarctic Bottom Water in the Vema Channel during the last ice age. *Science*, **194**, 837-839.

Leslie, R.J., 1963 - Sedimentology of Hudson Bay, District of Keewatin. *rept. BIO*, **63-4**, Bedford Intitute of Oceanography,

Lisitzin, A.P., 1969 - Atlas of Atlantic Ocean sediments.

Lisitzin, A.P., 1972 - Sedimentation in the World Ocean, 218 pp.

Lisitzin, A.P., Emelyanov, E.M. & Eltsina, G.N., 1977 - Geochemistry of the sediments of the Atlantic Ocean. Results on researches on the International Geophysical Project, Moscow, 256 pp.

Maillard, C. & Käse, R., 1989 - The Near-Surface Flow in the Subtropical Gyre, South of the Azores. *Journal of Geophysical Research*, **94**, (C11), 16.133-16.140.

Manighetti, B. & McCave, I.N., 1995a - Depositional fluxes, palaeoproductivity, and ice rafting in the NE Atlantic over the past 30 ka. *Paleoceanography*, **10**, (3), 579-592.

Manighetti, B. & McCave, I.N., 1995b - Late glacial and Holocene palaeocurrents around Rockall Bank, NE Atlantic Ocean. *Paleoceanography*, **10**, (3), 611-626.

Martini, E., 1971 - Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation., *Plankt. Conf.*, Roma 1970, 739-785.

Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C., Jr. & Shackleton, N.J., 1987 - Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, **27**, 1-29.

Massé, L., Faugères, J.-C., Bernat, M., Pujos, A. & Mézerais, M.-L., 1994 - A 600,000-year record of Antarctic Bottom Water activity inferred from sediment textures and structures in a sediment core from the Southern Brazil Basin. *Paleoceanography*, **9**, (6), 1017-1026.

McCave, I.N., 1984 - Erosion, transport and deposition of fine-grained marine sediments. *in* D. A. V. Stow and D. J. Piper, (eds)., Fine-Grained sediments: Deep-Water processes and Facies., Blackwell Scientific Publications. Geological Society Special Publication, **15**, 35-70.

McCave, I.N., Manighetti, B. & Robinson, S.G., 1995 - Sortable silt and fine sediment size/composition slicing: Parameters for palaeocurrent speed and palaeoceanography. *Paleoceanography*, **10**, (3), 593-610.

McCave, N. & Tucholke, B.E., 1986 - Deep current-controlled sedimentation in the western North Atlantic. *in* P. R. Vogt and B. E. Tucholke, (eds)., The Geology of North America: The western North Atlantic., Geological Society of America. M, 451-468.

McIntyre, A., Kipp, N.G., Bé, A.W.H., Crowley, T., Kellog, T., Gardner, J.V. *et al.*, 1976 - Glacial North Atlantic 18,000 years ago: A CLIMAP reconstruction. *in* R. M. Cline and J. D. Hays, (eds)., Geological Society of America Memoir., 145, 43-76.

Milankovitch, M., 1941 - Canon of insolation and ice-age problem (English translation). *Special Publication of the Royal Serbian Academy*, **132**, 33.

Miller, M.C., McCave, I.N. & Komar, P.D., 1977 - Threshold of sediment motion under unidirectional currents. *Sedimentology*, **24**, 507-527.

Mix, A.C. & Fairbanks, R.G., 1985 - North Atlantic surface-ocean control of Pleistocene deep-ocean circulation. *Earth and Planetary Science Letters*, **73**, 231-243.

Mortlock, R.A., Froelich, P.N., Feely, R.A., Massoth, G.J., Butterfield, D.A. & Lupton, J.E., 1993 - Silica and germanium in Pacific Ocean Hydrothermal vents and plumes. *Earth and Planetary Science Letters*, **119**, 365-378.

Müller, C., 1991 - Etude du nannoplancton des quatres carottes prélevées près des Açores. (90-1-KS01, 90-1-KS02, 90-2-KS02 et 90-2-KS03). *Rapport d'étude*, **?**, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine,

Müller, C., 1992 - Résultats biostratigraphiques de la misson Açores 1991. (Carottes 91-1-KS01 à 91-1KS09). *Rapport d'étude*, **?**, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine,

Müller, C., 1994 - Résultats biostratigraphiques obtenus par l'étude de 10 carottes prélevées abords des Açores 1992. *Rapport d'étude*, **?**, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine,

Müller, C., 1995 - Résultats biostratigraphiques des carottes de la mission GEOFAR 1993 obtenus par l'étude des nannofossiles calcaires. *IFREMER*, Rapport d'étude,

Nardin, T.R., Hein, F.J., Gorsline, D.S. & Edwards, B.D., 1979 - A review of mass movement processes, sediment and acoustic characteristics, and contrasts in slope and base-of-slope systems versus canyon-fan-basin floor systems. *in* L. J. Doyle and O. H. Pilkey, (eds)., Geology of continental slopes., **27**, 61-73.

Needham, H.D., Voisset, M., Renard, V., Bougault, H., Dauteuil, O., Detrick, R. *et al.*, 1992 - Structural and volcanic features of the Mid-Atlantic Rift Zone between 40°N and 33°N. *EOS, Trans. AGU*, **73**, (43), 552.

Oehmig, R., 1993 - Entrainment of planktonic foraminifera: effect of bulk density. *Sedimentology*, **40**, 869-877.

Ondréas, H., Fouquet, Y., Charlou, J.-L., Costa, I., Donval, J.-P., Knoery, J. *et al.*, 1995 - DIVA 1 cruise: in situ observation of the limit between effusive en explosive submarine volcanisme on the Menez Gwen and 38°20N segments of the Mid-Atlantic Ridge. *Terra Nova*, **7**, 209.

Ondréas, H., Fouquet, Y., Radford-Knoery, J. & Auffret, G.A., Submitted - A study at the submersible scale of volcanic and morphological characteristics of three contiguous segments of the Mid-Atlantic Ridge, South of the Azores, between 37°N and 38°30. *Marine Geophysical Researches*,

Paillard, D., Labeyrie, L. & Yiou, P., 1996 - Macintosh program performs time-series analysis. *EOS*, **77**, 379.

Pastouret, L., Auffret, G.A. & Chamley, H., 1978 - Microfacies of some sediments from the western north Atlantic: paleoceanographic implications (Leg 44 DSDP. *in* W. E. Benson and R. E. Sheridan, (eds)., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project., Washington, U.S. Government Printing Office. **XLIV**, 791-830.

Prager, E.J., Southard, J.B. & Vivoni-Gallart, E.R., 1996 - Experiments on the entrainment threshold of well sorted carbonate sands. *Sedimentology*, **43**, 33-40.

Pudsey, C.J., 1992 - Late Quaternary changes in Antarctic Bottom Water velocity inferred from sediment grain size in the northern Weddell Sea. *Marine Geology*, **107**, 9-33.

Radford-Knœry, J., Charlou, J.-L., Donval, J.-P., Aballéa, M., Fouquet, Y. & Ondréas, H., In press - Near seafloor distribution of hydrothermal tracers (sulfide, methane and manganese) near two vent sites on the mid-Atlantic ridge: Lucky Strike (37°17'N) and Menez Gwen (37°50'N). *Deep-Sea Research*,

Rea, D.K. & Hovan, S.A., 1995 - Grain size distribution and depositional processes of the mineral component of abyssal sediments: Lessons from the North Pacific. *Paleoceanography*, **10**, (2), 251-258.

Revel, M., Cremer, M., Grousset, F.E. & Labeyrie, L., 1996 - Grain-size and Sr-Nd isotopes as tracer of paleo-bottom current strength, Northeast Atlantic Ocean. *Marine Geology*, **131**, 233-249.

Richter, T., 1996 - Sedimentary fluxes at the Mid-Atlantic Ridge. Sediment sources, accumulation rates and geochemical characterization. *PhD Thesis*, Christian-Albrechts-Universität, 173 pp.

Robinson, S.G., Maslin, M.A. & McCave, I.A., 1995 - Magnetic susceptibility variations in Upper Pleistocene deep-sea sediments of the NE Atlantic: Implications for ice rafting and paleocirculation at the last glacial maximum. *Paleoceanography*, **10**, (2), 221-250.

Robinson, S.G. & McCave, N., 1994 - Orbital forcing of bottom-current enhanced sedimentation on Feni Drift, NE Atlantic, during the mid-Pleistocene. *Paleoceanography*, **9**, (6), 943-972.

Ruddiman, W.F., 1977 - Late Quaternary deposition of ice-rafted sand in the subpolar North Atlantic (lat 40° to 65°N). *Geological Society of America Bulletin*, **83**, 1813-1827.

Ruddiman, W.F. & McIntyre, A., 1979 - Warmth of the Subpolar North Atlantic Ocean during the Northern Hemisphere Ice-Sheet Growth. *Science*, **204**, 173-715.

Ruddiman, W.F. & McIntyre, A., 1981 - The North Atlantic Ocean during the last deglaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **35**, 145-214.

Ruddiman, W.F., McIntyre, A., Niebler-Hunt, V. & Durazzi, J.T., 1980 - Oceanic evidence for the mechanism of rapid Northern Hemisphere glaciation. *Quaternary Research*, **13**, 73-88.

Rudnicki, M.D. & Elderfield, H., 1992 - Helium, radon, manganese at the TAG and Snakepit hydrothermal vent fields, 26° and 23°N, Mid-Atlantic Ridge. *Earth and Planetary Science Letters*, **113**, 307-321.

Shackleton, N.J., 1977 - The oxygen isotope stratigraphic record of the Late Pleistocene. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, **B**, (280), 169-182.

Sternberg, R.W., 1968 - Friction factors in tidal channels with differing bed roughness. *Marine Geology*, **6**, 243-260.

Stow, D.A.V., Faugères, J.-C. & Gonthier, E., 1986 - Facies distribution and textural variation in Faro Drift contourites: Velocity fluctuation and drift growth. *Marine Geology*, **72**, 71-100.

Stow, D.A.V. & Holbrook, J.A., 1984 - North Atlantic contourites: an overview. *in* D. A. V. Stow and D. J. Piper, (eds)., Fine-Grained sediments: Deep-Water processes and Facies., Blackwell Scientific Publications. Geological Society Special Publication, **15**, 245-256.

Sundborg, A., 1956 - The River Klarälven; a study in fluvial process. *Geog. Ann. Stockholm*, **38**, 125-316.

Sy, A., 1988 - Investigation of large scale circulation patterns in the central North-Atlantic: the North Atlantic Current, the Azores Current, and the Medditerranean plume in the area of the Mid-Atlantic Ridge. *Deep-Sea Research*, **35**, (3), 383-413.

Thierstein, H.R., Geitzenauer, K.R., Molfino, B. & Shackleton, N.J., 1977 - Global synchroneity of late Quaternary coccolith datum levels: Validation by oxygen isotopes. *Geology*, **5**, 400-404.

Tisot, J.-P., 1986 - Propriétés géomécaniques des sédiments des grands fonds océaniques, *Fondation Scientifique de Géologie et ses Applications*, 328 pp.

Torres, J., 1995 - Analyse détaillée du transfert de sédiment du continent vers le bassin: La Quaternaire terminal au large du Delta du Rhône (Méditerranée nord-occidentale). *Thèse de Doctorat*, Université de Bretagne Occidentale, 353 pp.

Van Andel, T.H. & Komar, P.D., 1969 - Ponded sediments of the Mid-Atlantic Ridge between 22° and 23° North Latitude. *Geological Society of America Bulletin*, **80**, 1163-1190.

van Kreveld-Alfane, S., 1996 - Late Quaternary sediment records of mid-latitude Northeast Atlantic calcium carnonate production and dissolution. *PhD Thesis*, Vrije Universiteit Amsterdam, 212 pp.

Vidal, L., 1996 - La variabilité de la circulation thermohaline et des caractéristiques physico-chimiques des eaux profondes en liaison avec l'hydrologie des eaux de surface aux hautes latitude Nord au cours des derniers 150.000 ans. *Thèse de doctorat*, Paris VI, 187 pp.

Wang, H. & McCave, I.N., 1990 - Distinguishing climatic and current effects in mid-Pleistocene sediments of Hatton and Gardar Drifts, NE Atlantic. *Journal of the Geological Society*, **147**, 373-383.

Weaver, P.P.E., 1994 - Determination of turbidity current erosional characteristics from reworked coccolith assemblages, Canary Basin, north-east Atlantic. *Sedimentology*, **41**, 1025-1038.

Weaver, P.P.E., Masson, D.G., Gunn, D.E., Kidd, R.B., Rothwell, R.G. & Maddison, D.A., 1995 - Sediment mass wasting in the Canary Basin. *in* K. Pickering, N. H. Kenyon, R. Hiscott, R. Smith and F. Ricci Lucci, (eds)., An Atlas of Turbidite Systems., London, Chapman & Hall.

Williams, J.D.H. & Ledbetter, M.T., 1979 - Chronology of late Brunhes biostratigraphy and Late Cenozoic discomformities in the Vema Channel (South Atlantic). *Marine Micropaleontology*, (4), 125-136.

Liste des figures

Introduction

Fig. 1: Carte bathymétrique de l'océan Atlantique nord avec les principaux repères physiographiques. Les contours sont tous les 1000 mètres et proviennent de la base de données ETOPO5. Les repères physiographiques proviennent de la GEBCO.

Fig. 2: Localisation de la zone d'étude: le Plateau des Açores et les principales caractéristiques morpho-géologiques. Le continent le plus proche (la péninsule ibérique) est située à plus 1700 km, une grande partie du plateau est située à moins de 2000 mètres de profondeurs, on y trouve 9 îles volcaniques (Sao Miguel, Santa Maria, Graciosa, Terceira, Sao Jorge, Faial, Pico, Corvo et Flores) et la dorsale le traverse selon une direction environ SW-NE. Le fond bathymétrique à été établie par Serge Monti (IFREMER, DRO/GM).

Fig. 3: Position des carottes utilisées dans cette étude. Les noms en italique indiquent les carottes issues de la littérature.

Chapitre I

Fig. I-1: Exemple de la sphère virtuelle de diamètre D considérée par le Coulter LS130 pour une particule en forme de disque lors du calcul de la distribution granulométrique volumique. On constate le ce volume est nettement supérieur au volume réel de la particule.

Fig. I-2: Les 4 types de morphologie des nannofossiles, en simplifiant, et les formules permettant de calculer leur volume réel. Déterminé d'après Bréheret [1977].

Fig. I-3: Densité virtuelle des nannofossiles, calculée à partir de l'efficacité volumique, elle même calculée à partir des caractéristiques biométriques de nannofossiles. La droite en trait épais représente le meilleur ajustement.

Fig. I-4: Densité virtuelle des foraminifères [Oehmig, 1993], calculée sur *Neoglobigerina pachyderma*, à partir de la vitesse de chute, du diamètre des tests et de leur forme. La courbe en trait épais représente le meilleur ajustement.

Fig. I-5: Modèle des densités virtuelles des carbonates utilisé pour le calcul des courbes granulométriques de la phase carbonatée. Ce modèle est basé sur le principe de mesure et de calcul du microgranulomètre laser Coulter LS130, ainsi que sur les caractéristiques biométriques des particules carbonatées. Dans la région des Açores la phase carbonatée est exclusivement composée de nannoplancton calcaire et de foraminifères.

Fig. I-6: Effets de la correction "volumique" sur quelques courbes granulométriques des carbonates de la carotte GEOFAR KF21. Les classes des nannoplanctons prennent plus d'importance car ils ont une faible densité virtuelle par rapport aux foraminifères, leur importance est plus forte en volume qu'en masse. Les valeurs négatives qui peuvent exister entre 10 et 30 µm (niveau 100) deviennent positives.

Fig. I-7: Comparaison entre les valeurs de densité humide obtenues par la gamma-densité et celles obtenues par la mesure de teneur en eau. La droite en trait épais correspond au meilleur ajustement (d'équation $d_{humide\ "gamma"} = 0.14 + 0.93 * d_{humide\ "H2O"}$, coefficient de corrélation r=0.73). Les valeurs dont l'écart est supérieur à 0.20 sont considérées comme aberrantes et n'ont pas été prises en compte pour l'ajustement.

Fig. I-8: Ecarts entre la densité humide obtenue par la gamma-densité et celle obtenue par la mesure de teneur en eau. La mesure de gamma-densité tend à surévaluer la densité humide (majorité de valeurs positives). La porosité utilisée est celle obtenue par les mesures de teneur en eau.

Fig. I-9: Variation des écarts entre la densité humide "gamma" et la densité humide "H2O" d'après l'équation du meilleur ajustement de la figure I-7, en fonction de la porosité. La courbe en trait continu correspond aux valeurs de porosité rencontrées dans l'étude. Si la tendance continue dans les faibles et les fortes densités, la densité de l'eau (porosité de 100%) est surévaluée de 0.07 par la gamma-densité. L'équivalence des mesures est obtenue pour des porosités d'environ 35%. La forte densité électronique de l'eau (non-utilisée pour la calibration de la mesure de gamma-densité) est responsable de l'augmentation de l'écart entre les deux mesures en fonction de la porosité (cf. annexe "Méthodes de sédimentologie").

Fig. I-10: Relation entre la densité humide du sédiment, la porosité et la teneur en eau. La densité de grain dg est fixée à 2.71 et la densité du fluide est fixée à 1.024 (eau de mer). La forme incurvée pour la teneur en eau est

liée au fait que celle-ci est exprimée en pourcentages pondéraux, tandis que la porosité équivaut à une teneur en eau en pourcentages volumiques.

Fig. I-11: La stratigraphie des carottes a été réalisée par corrélation de la réflectance des sédiments, calibrée par des carottes pour lesquelles nous disposons d'une stratigraphie isotopique (ronds blancs). Pour chaque carotte, la stratigraphie isotopique de référence et les corrélations intermédiaires sont indiquées par les flèches. La carotte SU90-08 (référence) est située en dehors de la carte (43°N-30°W à une profondeur de 3080 m). Les carottes 90-1-KS01 (43°34N-31°21W, profondeur 3280 m), 90-1-KS02 (42°58N-27°48W, profondeur 3072 m et 92-KS08 (41°03N-31°19W, profondeur 2600 m) sont également en dehors de la carte.

Fig. I-12: Les 8 courbes d'isotopes de l'oxygène (‰ $\partial^{18}O$) utilisées pour calibrer les courbes de réflectance et établir la stratigraphie des carottes par corrélation des courbes de la réflectance. Les âges atteints s'expliquent surtout par des différences de taux de sédimentation. Origine des données: 91-KS04, GEOFAR KF09, KF16 et KF13 [Richter, 1996], 92-KS10 et GEOFAR-KF21 [Boelaert, In prep.] SU90-08 [Cortijo, 1995], SU92-18 [Boelaert, In prep.].

Fig. I-13: Courbe SPECMAP [Imbrie *et al.*, 1984]. L'âge des stades isotopiques a été calé sur les cycles orbitaux de Milankovitch. Les stades chauds sont nommés par un chiffre impair et les stades froids par un chiffre pair. Les chiffres après la virgule indiquent des paroxysmes (chauds ou froids) dans les stades. Les limites entre les stades sont sur la pente maximale, c'est à dire aux périodes de changement rapide de climat.

Fig. I-14: La théorie astronomique des climats, d'après Berger [1988a]: les paramètres orbitaux (e: l'excentricité de l'orbite terrestre autour du soleil = a/b), e: l'obliquité de l'axe de rotation de la terre par rapport à l'écliptique, et ω: la longitude du périhélie par rapport à l'équinoxe d'hivers) permettent de déterminer trois cycles de variation de l'insolation: la précession (e.sin(ω)) de 21 ka, l'obliquité (ε) de 41 ka et l'excentricité (e) de 101 ka. Ces cycles orbitaux sont encore appelés cycles de Milankovitch. a et b: grand axe et petit axe de l'ellipse de l'orbite terrestre autour du soleil, γ position de la terre à l'équinoxe d'hiver, P: périhélie, A: aphélie.

Fig. I-15: Les "outils stratigraphiques" employés (exemple de la carotte 92-KS10) . Les courbes de réflectance (niveaux de gris) ont servi à la corrélation stratigraphique des carottes car c'est la seule donnée, contenant le signal climatique, disponible pour toutes les carottes. Elle a l'avantage d'être facile à acquérir et d'être quasi-continue. Seule la partie supérieure oxydée de la carotte n'est pas exploitable car la réflectance correspond à un état d'oxydation et pas à la teneur en carbonates.

Fig. I-16: Echelle biostratigraphique employée par [Müller, 1991; 1992; 1994; 1995].

Chapitre II

Fig. II-1: Image de la réflectivité acoustique de la partie nord de la dorsale du plateau des Açores (A) et interprétation en terme de nature du fond (A'). Les fortes réflectivités apparaissent sombres et sont interprétées comme roche, les faibles réflectivités apparaissent en clair et sont interprétées comme sédiment. Le sédiment représente 57% de la surface éclairée.

Fig. II-2: Cartographie des pentes et de la bathymétrie de la partie nord de la dorsale du plateau des Açores. Les pentes les plus faibles (<5%, ≈2.25°) sont plus fréquentes hors axe et correspondent à des fonds sédimentaires.

Fig. II-3: Image de la réflectivité acoustique de la partie sud de la dorsale du plateau des Açores (B) et interprétation en terme de nature du fond (B'). Les fortes réflectivités apparaissent sombres et sont interprétées comme roche, les faibles réflectivités apparaissent en clair et sont interprétées comme sédiment. Le sédiment représente 44% de la surface éclairée.

Fig. II-4: Cartographie des pentes et de la bathymétrie de la partie sud de la dorsale du plateau des Açores. Les pentes les plus faibles (<5%, ≈2.25°) sont plus fréquentes Hors axe et correspondent à des fonds sédimentaires.

Fig. II-6: Histogramme des pentes sur la dorsale médio-atlantique entre 40°N et 35°N. Les pentes <10% (4.5°) représentent 58.2% de la totalité des pentes. Ce nombre est proche de l'estimation des surfaces sédimentées à partir de l'image acoustique de l'EM12.

Fig. II-7: Epaisseurs de la couverture sédimentaire en mètres, d'après la sismique SIGMA, fournie par H.D. Needham). e représente les épaisseurs inférieures à 75 mètres. Les épaisseurs sont calculées à partir des profondeurs en temps double mesurés sur les profils sismiques en utilisant une vitesse de 1500 $m.s^{-1}$ (vitesse du son dans l'eau), elles représentent des épaisseurs minimales.

Fig. II-8: Deux types de dépôts sédimentaires sur la dorsale: 1°) des plaquages, épais au maximum de 100 mètres plus ou moins affectés de glissements, 2°) comblements de bassins dont la surface est généralement plane et horizontale. (Sismique SIGMA, fournie par H.D. Needham).

Fig. II-9: Teneurs en carbonate du sédiment de surface sur le plateau des Açores. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en carbonate pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. II-10: Teneurs en carbonate du sédiment au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores. Ces valeurs sont représentatives du Stade isotopique 2 (12-24 ka). Les valeurs entre parenthèses correspondent au sommet de la carotte soit parce que le taux de sédimentation est très faible soit parce que le LGM manque.

Fig. II-11: Variation de la teneur en carbonates des sédiments de surface en fonction de la profondeur. La totalité des échantillons de surface (carottes de surface et sommets de carottes Küllenberg) ne montre pas de variation suivant la profondeur. Par contre la distance aux îles détermine fortement la teneur en carbonates. L'influence des îles décroît de façon exponentielle, et devient négligeable au-delà de 100 km. Si on représente séparément les échantillons situés à l'axe de la dorsale et ceux situés hors axe on constate qu'il y a une corrélation positive pour les sédiments hors axe, et une corrélation négative pour les sédiments à l'axe.

Fig. II-12: Variation de la teneur en carbonate durant le Dernier Maximum Glaciaire (LGM). La distance aux îles ne montrent aucune influence (contrairement aux sédiments de surface correspondants). Par contre la profondeur d'eau semble exercer un contrôle, visible par une faible corrélation négative. Les petits graphes représentent la tendance à l'actuel avec les même points de carottage. La différence entre le LGM et l'actuel montre une plus forte teneur au LGM pour les sédiments à faible profondeur d'eau et une plus faible teneur pour les sédiments profonds. Cette tendance est également visible par rapport à la distance aux îles car il y a une bonne corrélation entre la profondeur et l'éloignement des îles. La baisse de teneur LGM des sédiments éloignés des îles et la hausse des sédiments proches annule la hausse exponentielle observée à l'actuel. Les sédiments Interglaciaires (stade 5) sont en moyenne plus riches que les sédiments Glaciaires (stades 2, 3 et 4).

Fig. II-13: Variation de la teneur en carbonates des sédiments de surface dans la région des Açores [Biscaye *et al.*, 1976]. L'auteur ne précise pas la localisation exacte des points. La bonne corrélation entre la profondeur et la teneur en carbonates est interprétée comme de la dilution par du matériel non carbonaté dont la source est à faible profondeur d'eau, du matériel volcanique en provenance des îles. Cette tendance ne se retrouve pas pour nos échantillons mais peut être liée à la position des prélèvements.

Fig. II-14: Teneur en carbonates du sédiment pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.

Fig. II-15: Variations de la teneur en carbonates durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, longitude et profondeur. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Les faibles teneurs observées au nord de 42°N reflètent la limite d'extension maximale des icebergs durant les divers maxima glaciaires. Au sud de 42°N les teneurs sont remarquablement homogènes en fonction de la Latitude, les variations observées sont uniquement temporelles. Elles se retrouvent également en fonction de la longitude et de la profondeur. Les stades glaciaires tendent à être plus riches en carbonates et les stades interglaciaires à être moins riches. Cette tendance est faiblement marquée car l'amplitude des variations est au maximum de 15%. La longitude et la profondeur semblent également exercer un contrôle car la carottes à l'ouest de 32°W et celles situées à des profondeurs inférieures à 1500 mètres sont plus riches en carbonates. Néanmoins toutes les carottes à l'ouest de 32°W sont situées à des profondeurs inférieures à 1500 m tandis que les carottes situées des profondeurs inférieures à 1500 mètres ne sont pas toutes situées à l'ouest de 32°W, il semble donc que la profondeur d'eau soit le seul facteur "géographique" exerçant un contrôle sur la teneur en carbonate.

Fig. II-16: Teneurs en plancton siliceux du sédiment de surface sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. Le plancton siliceux est composé en quasi-totalité de tests de radiolaires. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. II-17: Teneurs en plancton siliceux du sédiment au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. Le plancton siliceux est composé de radiolaires (jusqu'à 100%) et de diatomées (jusqu'à 50%). Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. II-18: Variation de la teneur en plancton siliceux des sédiments de surface en fonction de la profondeur. Les points blancs représentent les échantillons issus des carottiers de surface. Il ne se dégage pas de tendance à

l'actuel, mais au LGM la teneur est corrélée à la profondeur. La tendance est largement à la hausse durant le LGM et l'augmentation est plus importante pour les sédiments profonds qui correspondent aux zones de fracture.

Fig. II-19: Variation de la teneur en plancton siliceux des sédiments en fonction de la profondeur. On n'observe aucune relation ni actuellement ni au LGM. La tendance à la hausse au LGM n'est pas contrôlée par la distance aux îles.

Fig. II-20: Variation de la teneur en spicules de spongiaires des sédiments de surface en fonction de la profondeur. Les points blancs représentent les échantillons issus des carottiers de surface. Il ne se dégage pas de tendance à l'actuel, mais au LGM la teneur est corrélée à la profondeur. La tendance est largement à la hausse durant le LGM et l'augmentation est plus importante pour les sédiments profonds qui correspondent aux zones de fracture.

Fig. II-21: Variation de la teneur en spicules de spongiaires des sédiments en fonction de la profondeur. On n'observe aucune relation ni actuellement ni au LGM. La tendance à la hausse au LGM n'est pas contrôlée par la distance aux îles.

Fig. II-22: Teneurs en spicule de spongiaire des sédiments de surface sur le plateau des Açores, déterminé d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en spicules pour l'Holocène (0-10 ka) et du Stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. II-23: Teneurs en spicule de spongiaire des sédiments au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores, déterminée d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. II-24: Teneurs en feldspath des sédiments de surface sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonates. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en feldspath pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. II-25: Teneurs en feldspath des sédiments au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonate. Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. II-26: Variation de la teneur en feldspaths en surface et au LGM en fonction de la profondeur. Les points blancs représentent les échantillons issus des carottiers de surface. Il ne se dégage pas de réelle tendance, même si au LGM les sédiments profonds des zones de fractures tendent à montrer de fortes teneurs. Les sédiments LGM ont des teneurs plus élevées. La différence avec l'actuel tend à être plus grande pour les sédiments profonds.

Fig. II-27: Variation de la teneur en feldspaths en surface et au LGM en fonction de la distance aux îles. Les sédiments proches des îles tendent à être plus riche en feldspaths, tant à l'actuel qu'au LGM. Par contre la distance aux îles ne conditionne pas les variations entre les deux époques.

Fig. II-28: Variation de la teneur en verre volcanique des sédiments actuels et LGM en fonction de la profondeur. Les points blancs représentent les échantillons issus des carottiers de surface. Il ne se dégage pas de tendance. Les variations entre les deux époques ne sont pas conditionnées par la profondeur. La carte montre les maxima près des îles et sur la dorsale, or ces deux contextes sont situés à des profondeurs différentes.

Fig. II-29: Variation de la teneur en verre volcanique des sédiments actuels et LGM en fonction de la distance aux îles. Comme pour la profondeur il ne se dégage pas de tendance, même observation pour les variations entre les deux époques. La carte montre les maxima près des îles et sur la dorsale, or ces deux contextes sont situés à des profondeurs différentes.

Fig. II-30: Teneurs en verre volcanique du sédiment de surface sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonate. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en verre volcanique pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. II-31: Teneurs en verre volcanique du sédiment au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores, déterminées d'après l'observation sur frottis de la fraction décarbonatée >6.3 µm. La teneur pour le

sédiment total est obtenue après correction selon la teneur en carbonate. Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. II-32: Teneur en smectites (trait épais, nombres droits) et en chlorites (trait fin, nombres en italiques) de la fraction décarbonatée <2 µm des sédiments de surface sur le plateau des Açores d'après Grousset *et al.* [1994]. Les fortes teneurs en smectiques à l'axe de la dorsale et particulièrement sur le volcan Lucky Strike soulignent la forte contribution de la ride pour la phase minérale argileuse. Les teneurs en chlorites sont anti-corrélées aux teneurs en smectites.

Fig. II-33: Teneurs en sable (fraction >64.2 µm) des sédiments de surface sur le plateau des Açores. En raison des faibles taux de sédimentation et de l'incertitude sur l'âge exact du sommet de certaines carottes, ces valeurs sont représentatives des teneurs en sable pour l'Holocène (0-10 ka) et le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. II-34: Teneurs en sable des sédiments au dernier maximum glaciaire (LGM) sur le plateau des Açores. Les valeurs sont représentatives du stade isotopique 2 (12-24 ka). Les valeurs entre parenthèses correspondent au sommet de la carotte soit parce que le taux de sédimentation est extrêmement faible soit parce que le LGM manque.

Fig. II-35: Variation des teneurs en sable du sédiment de surface en fonction de la profondeur et de la distance aux îles. La totalité des échantillons de surface (carottes de surface et sommets de carottes Küllenberg) montre que les points les moins profonds tendent à être plus riches en sable. La distance à l'île la plus proche ne détermine absolument pas la teneur en sable. Si on ne conserve que les échantillons provenant des carottes de surface, c'est à dire réellement à l'interface eau-sédiment, on constate tant à l'axe que hors axe la même relation entre la profondeur et la teneur en sable. Les zones profondes correspondent aux limites extérieures du plateau et aux bassins transformants de la dorsale. La relation semble plus nette a l'axe que hors axe.

Fig. II-36: Variation des teneurs en sable durant le Dernier Maximum Glaciaire (LGM). Elles tendent à être plus importantes à proximité des îles, mais la profondeur d'eau exerce un meilleur contrôle. Les petits graphes représentent la tendance à l'actuel avec les même points de carottage. La différence entre le LGM et l'actuel se traduit par une plus forte teneur au LGM d'environ 12% en moyenne. La différence est nettement plus importante pour les carottes à faible profondeur d'eau (jusqu'à 30%) et moindre pour les carottes profondes (<5%). Cette tendance est également visible par rapport à la distance aux îles car il y a une bonne corrélation entre la profondeur et l'éloignement des îles. Les sédiments Interglaciaires (stade 5) sont en moyenne plus pauvres que les sédiments Glaciaires (stade 2, 3 et 4).

Fig. II-37: Teneurs en sable du sédiment pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.

Fig. II-38: Variations de la teneur en sable durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Le stade 5 (Interglaciaire) tend à montrer des teneurs plus faibles que le dernier Glaciaire (stades 2, 3 et 4). Seule la profondeur semble exercer un réel contrôle sur la teneur en sable Les carottes les moins profondes sont beaucoup plus riches que les carottes profondes. Les carottes situées à l'ouest de la région sont également très riches en sables, mais elles sont en fait des carottes de faible profondeur, seule la profondeur exerce en fait un contrôle sur les teneurs en sable.

Fig. II-39: Densité humide des sédiments de surface. Les densités sont nettement plus faibles sur la dorsale et dans les zones de fractures. Par contre elles sont plus élevées hors axe. Les fortes densités correspondent soit à un sédiment sableux, soit à un sédiment riche en verre volcanique (91-KS06, et également sableuse).

Fig. II-40: Densité humide des sédiments pour le dernier maximum glaciaire (LGM). Les faibles densités se situent sur la dorsale et dans les zones de fractures. Les densités sont plus faibles que celles des sédiments de surface.

Fig. II-41: Variation de la densité humide en surface et au LGM, en fonction de la profondeur. Les grandes profondeurs, correspondant aux zones de fractures, se caractérisent par les densités les plus basses. Au contraire les sédiments les moins profonds montrent les plus fortes densités. Cette tendance est marquée aux deux époques mais les densités du LGM sont plus dispersées. Les densités LGM sont plus basses en moyenne de 0.16. La baisse LGM tend à être plus importante pour les sédiments profonds.

Fig. II-42: Variation de la densité humide en surface et au LGM en fonction de la distance aux îles. En surface les faibles densités tendent à être loin des îles. La distance aux îles ne contrôle en rien les variations entre la surface et le LGM.

Fig. II-43: Comparaison des densités humides entre l'Interglaciaire actuel (stade 1), le dernier Glaciaire (stades 2, 3 et 4) et le dernier Interglaciaire (les droites indiquent la position des variations nulles entre les 2 époques). Le sédiment tend nettement à être moins dense durant le Glaciaire. Néanmoins les sédiments les moins denses

tendent à devenir encore moins dense, et les plus denses tendent à être stables voir à devenir légèrement plus denses (surtout entre le dernier Glaciaire/Interglaciaire).

Fig. II-44: Densité humide du sédiment pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.

Fig. II-45: Variations de la densité humide des sédiments durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. On ne distingue pas de variations significatives dans l'espace car les faibles densités se situent dans les zones de fracture qui ne se cantonnent pas à des latitudes ou des longitudes spécifiques. Par contre les sédiments les moins profonds tendent à être plus denses. Cette observation n'est pleinement valable que pour le sédiment entre 0 et 100 ka car les faibles densités correspondent aux forts taux de sédimentation et ne sont pas représentés aux âges >100 ka.

Fig. II-46: Taux de sédimentation moyens (cm/ka) durant le stade isotopique 1 sur le Plateau des Açores. Le taux moyen hors axe se situe entre 1.5 et 2 cm/ka, mais les taux à l'axe, et spécialement dans les zones de fracture sont élevés (10 à 26 cm/ka). Des taux faibles (inférieurs à 1 cm/ka) sont enregistrés sur des points hauts, à des profondeurs inférieures à 1500 mètres.

Fig. II-47: Taux de sédimentation moyens (cm/ka) durant le stade isotopique 2 sur le plateau des Açores. Le taux moyen hors axe se situe entre 1.5 et 2 cm/ka. Les taux à l'axe, et spécialement dans les zones de fracture sont élevés (5 à 41 cm/ka). Des taux faibles (inférieurs à 1 cm/ka) sont enregistrés sur des points hauts, à des profondeurs inférieures à 1500 mètres.

Fig. II-48: Variation des taux de sédimentation durant le stade 1 et le stade 2 en fonction de la profondeur. La tendance aux forts taux pour les grandes profondeurs correspond aux failles transformantes. Les taux sont plus forts au stade 2 pour les grandes profondeurs, par contre ils sont plus faibles pour les faibles profondeurs.

Fig. II-49: Variation des taux de sédimentation durant le stade 1 et le stade 2 en fonction de la distance aux îles. Ce facteur ne contrôle ni les taux, ni les variations de taux entre les stades.

Fig. II-50: Comparaison des taux de sédimentation du stade 1 et du stade 2. Les plus forts taux tendent à augmenter durant le stade 2, tandis que les taux intermédiaires diminuent. Les taux les plus faibles restent stables, mais cela peut provenir d'un manque de résolution. Plus un taux est élevé plus les variations sont élevées, les variations en pourcentage permettent de ne considérer que les variations relatives.

Fig. II-51: Comparaison des taux de sédimentation entre l'époque Glaciaire et l'époque Interglaciaire du dernier cycle climatique. Les taux tendent à être plus important durant l'Interglaciaire. On ne distingue pas de différence de tendance suivant que les taux sont forts ou faibles, comme on l'observe entre le stade 2 et le stade 1. Plus les taux sont forts plus les variations sont fortes. Plus un taux est élevé plus les variations sont élevées, les variations en pourcentage permettent de ne considérer que les variations relatives.

Fig. II-52: Taux de sédimentation pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique. Les taux faibles observés à partir du stade 4 sont liés au fait que les carottes à taux de sédimentation élevé et faible densité n'atteignent pas ces âges.

Fig. II-53: Variation des taux de sédimentations durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Les variations montrent peu de lien entre ces 3 paramètres car les forts taux enregistrés dans les failles transformantes masquent les faibles valeurs hors axe. De même les variations temporelles sont biaisées par le fait que les carottes à forts taux de sédimentation concernent des âges plus jeunes que les autres carottes. La baisse des taux observée pour les âges supérieurs à 100 ka est une conséquence de ce biais.

Fig. II-54: Taux de sédimentation pour les carottes des failles transformantes. La stratigraphie repose sur les isotopes de l'oxygène. Les cercles blancs indiquent les points pour lesquels il existe une datation ^{14}C. Les âges sont exprimés en ka calendaires. Origine des données: 91-KS04, GEOFAR KF09-KF13-KF16 Richter [1996] et MD 2037 Boelaert [In prep.]. Les chiffres entre parenthèses indiquent les taux de sédimentation sans les dépôts gravitaires.

Fig. II-55: La modélisation la plus simple correspond à un ajustement du second degré.

Fig. II-56: La modélisation permet d'obtenir la courbe des taux de sédimentation à l'aide de la dérivée des ajustements. Les taux de sédimentation augmentent de façon régulière, la pente donne le taux d'augmentation en cm.ka-2 (chiffre entre italique).

Fig. II-57: La variation relative des taux de sédimentation à l'échelle de 1 ka pour les 5 carottes. Cette façon d'exprimer les variations permet de s'affranchir des effets de la morphologie locale sur les taux de sédimentation.

On constate ainsi que les carottes KF09, KF16 et MD-2037, bien qu'ayant des taux de sédimentation différents suivent la même tendance.

Fig. II-58: Faciès lithologiques sur le plateau des Açores. La morphologie, la présence des îles et de la dorsale sont les facteurs qui déterminent la lithologie du sédiment. L'influence des îles sur la teneur en carbonates (<70% en surface) se fait sentir sur environ 100 km au SW.

Fig. II-59: Variations de la teneur en sable, de la densité humide et de la teneur en carbonate en fonction de la profondeur d'eau et des taux de sédimentation. Cinq domaines sédimentaires se détachent. Le facteur discriminant le plus important est le taux de sédimentation suivi de la densité humide et de la teneur en sables. Les deux grandes provinces à distinguer sont les failles transformantes, plateau hors axe "grande profondeur" et "faible profondeur", Lucky Strike et la ride sédimentaire de Faial.

Fig. II-60: Composition moyenne du sédiment sur le plateau des Açores et la gamme de classes granulométriques couvertes par chaque composant.

Fig. II-61: Fréquence des modes dans la phase résiduelle du sédiment pélagique des carottes GEOFAR-KF21 et KS15. Le mode est généralement compris entre 21.52 µm et 25.82 µm. La phase résiduelle contient la composante terrigène (argiles), volcanique (argiles, feldspaths, verre et minéraux lourds) et la composante biogène siliceuse (spicules et diatomées).

Fig. II-62: Statistiques sur les modes des courbes granulométriques du sédiment du plateau des Açores. Les modes correspondent aux classes majoritaires, la fréquence des modes montre une distribution centrée sur quelques classes. Ces classes correspondent aux composants élémentaires du sédiment: foraminifères, nannofossiles (plusieurs espèces) et apports terrigènes.

Fig. II-63: Comparaison entre les modes les plus fréquents <15 µm des sédiments pélagiques, et l'abondance relative des espèces de nannofossiles en fonction de la taille moyenne de l'espèce, d'après Müller [1991; 1992; 1994; 1995]. Seuls les sédiments pélagiques non perturbés par des processus gravitaires ou de vannage ont été pris en compte. On remarque une bonne correspondance qui permet d'identifier les espèces de nannofossiles responsables des modes principaux visibles sur les courbes granulométriques.

Fig. II-64: Combinaison de deux gaussiennes, l'une centrée à 3.48 µm et l'autre à 5.02 µm. La figure du haut montre une distribution normale centrée, celle du bas une distribution log-normale centrée. La résultante montre un mode à 4.18 µm en haut et à 4.58 µm en bas. Cette disposition modélise les pics d'abondance des nannofossiles et les modes observés. Les courbes granulométriques montrent fréquemment un mode à 4.18 µm alors qu'aucune espèce de nannofossile centrée sur cette taille n'est déterminée et qu'un grand nombre est positionné aux classes 3.48 µm et 5.02 µm (environ 2x plus vers 5.02 µm).

Fig. II-65: Courbes granulométriques synthétiques (trait épais) réalisées à partir de l'abondance des modes du sédiment pélagique en utilisant une distribution normale centrée (en haut) ou log-normale centrée (en bas) pour chaque mode. La similitude avec la stack des courbes granulométrique du sédiment pélagique (trait fin) est bonne.

Chapitre III

Fig. III-1: Flux total en surface ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la densité du sédiment de surface et du taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. III-2: Flux total au LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la densité du sédiment LGM et du taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. III-3: Variation de flux total ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent à se trouver aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est moins marquée au LGM. Les flux LGM sont en moyenne plus faible qu'à l'actuel, la diminution semble plus importante pour les faibles profondeurs.

Fig. III-4: Variation de flux total ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Il ne se dégage aucune tendance vis à vis de ce paramètre.

Fig. III-5: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux total LGM vis à vis du flux Actuel, et en fonction du flux LGM. La baisse est toujours à 100%. Les variations semblent indépendantes de la valeur des flux.

Fig. III-6: Valeurs du flux total en fonction des époques. Les flux Interglaciaires tendent à être supérieurs aux flux Glaciaires.

Fig. III-7: Flux total de sédiment pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.

Fig. III-8: Variation du flux total durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Les variations montrent peu lien avec ces 3 paramètres car les très forts flux enregistrés dans les failles transformantes masquent les plus faibles teneurs hors axe. De même les variations temporelles sont biaisées par le fait que les carottes à forts flux s'arrêtent à des âges plus jeunes que les autres carottes, la baisse des flux observée pour les âges supérieurs à 100 ka n'a pas de réalité.

Fig. III-9: Flux des carbonates en surface ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en carbonates, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. III-10: Flux des carbonates au LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en carbonates, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. III-11: Variation de flux de carbonates ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent à se trouver aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est moins marquée au LGM. Les flux LGM sont en moyenne plus faibles qu'à l'actuel, la diminution semble plus importante pour les faibles profondeurs.

Fig. III-12: Variation de flux de carbonates ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Il ne se dégage aucune tendance vis à vis de ce paramètre.

Fig. III-13: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux de carbonates actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les variations semblent indépendantes de la valeur des flux.

Fig. III-14: Valeurs du flux de carbonates en fonction des époques. Les flux Interglaciaires tendent à être supérieurs aux flux Glaciaires.

Fig. III-15: Flux de carbonate pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.

Fig. III-16: Variation du flux de carbonates durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Les variations ne montrent que peu lien avec ces 3 paramètres car les très forts flux enregistrés dans les failles transformantes masquent les plus faibles teneurs hors axe. De même les variations temporelles sont biaisées par le fait que les carottes à forts flux s'arrêtent à des âges plus jeunes que les autres carottes, la baisse des flux observée pour les âges supérieurs à 100 ka n'a pas de réalité.

Fig. III-17: Flux résiduel (=non carbonaté) en surface ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en carbonates, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. III-18: Flux résiduel (=non carbonaté) au LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en carbonates, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. III-19: Variation de flux résiduel ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent légèrement à se situer aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est plus marquée au LGM. Les flux LGM tendent à être plus importants que les flux actuels pour les grandes profondeurs et plus faibles pour les faibles profondeurs.

Fig. III-20: Variation de flux résiduel ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Au LGM les flux tendent à être plus forts loin des îles et plus faibles près des îles.

Fig. III-21: Variations absolues ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et relatives (%) du flux résiduel actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les forts LGM (>1 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$) tendent à être supérieurs aux flux Actuels tandis que les flux plus faibles LGM tendent à être inférieurs aux flux actuels. La forte hausse représente une carotte située à 43°30N, nord de l'extension maximale du front polaire.

Fig. III-22: Valeurs du flux résiduel en fonction des époques. Les flux Actuels et LGM tendent à être équivalents. Les forts flux tendent à être plus importants aux Interglaciaires (stade 1 et stade 5) qu'au Glaciaire (stade 2+3+4).

Fig. III-23: Flux résiduel pour les stades isotopiques 1 à 6. Les valeurs sont une moyenne par stade isotopique.

Fig. III-24: Variation du flux résiduel durant les derniers 400 ka en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur d'eau. Cette figure inclut 3 carottes situées au nord de 41°N. Les variations montrent peu lien avec ces 3 paramètres car les très forts flux enregistrés dans les failles transformantes masquent les plus faibles teneurs hors axe. De même les variations temporelles sont biaisées par le fait que les carottes à forts flux s'arrêtent à des âges plus jeunes que les autres carottes, la baisse des flux observée pour les âges supérieurs à 100 ka n'a pas de réalité.

Fig. III-25: Flux de plancton siliceux en surface ($mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en plancton siliceux, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka). Le plancton siliceux est en totalité composé de radiolaires.

Fig. III-26: Flux de plancton siliceux LGM ($mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en plancton siliceux, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka). Le plancton siliceux est composé essentiellement de radiolaires et localement de 50% de diatomées.

Fig. III-27: Variation du flux de plancton siliceux ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent à se situer aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est plus marquée au LGM. Les flux LGM tendent à être plus importants que les flux actuels, cette tendance est plus forte aux grandes profondeurs.

Fig. III-28: Variation du flux de plancton siliceux ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Ce paramètre n'exerce pas de contrôle sur les flux.

Fig. III-29: Variations absolues ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et relatives (%) du flux de plancton siliceux actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. L'augmentation LGM des flux est sensiblement plus importante pour les forts flux LGM. Les faibles flux LGM montrent même une légère baisse. D'une manière générale les flux de plancton siliceux LGM sont supérieurs aux flux actuels.

Fig. III-30: Flux de spicules en surface ($mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en spicules, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. III-31: Flux de spicules LGM ($mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en spicules, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. III-32: Variation du flux de spicules ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. A l'actuel les forts flux tendent légèrement à se situer aux grandes profondeurs et correspondent aux bassins des failles transformantes, cette tendance est plus marquée au LGM. Les flux LGM tendent en moyenne à être similaires aux flux actuels, mais ils augmentent sensiblement aux grandes profondeurs.

Fig. III-33: Variation du flux de spicules ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Ce paramètre n'exerce pas de contrôle sur les flux.

Fig. III-34: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux de spicules actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les flux LGM sont sensiblement plus importants qu'à l'actuel pour les forts flux. D'une manière générale les flux de spicules LGM sont similaires aux flux actuels.

Fig. II-35: Flux des feldspaths en surface ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en feldspath, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. III-36: Flux des feldspaths LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en feldspath, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. III-37: Variation du flux de feldspath ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. Il n'y a pas de corrélation franche avec la profondeur, néanmoins au LGM les teneurs semblent plus importantes aux grandes profondeurs. Aux grandes profondeurs les flux LGM sont supérieurs aux flux actuels, par contre ils tendent à être plus faibles aux faibles profondeurs.

Fig. III-38: Variation du flux de feldspath ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Actuellement les plus fortes teneurs se situent à proximité des îles, cette tendance n'est pas visible au LGM. Les flux LGM tendent à être plus faibles qu'à l'actuel près des îles et plus forts loin des îles, néanmoins ces tendances sont peu marquées.

Fig. III-39: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux de feldspath actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les flux LGM élevés montrent une forte hausse vis à vis des flux actuels, inversement les faibles flux actuels enregistrent une baisse importante au LGM.

Fig. III-40: Flux de verre volcanique en surface ($mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en verre volcanique, de la densité du sédiment de surface , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 1 (0-12 ka).

Fig. III-41: Flux de verre volcanique LGM ($mg.cm^{-2}.ka^{-1}$) calculé à partir de la teneur en verre volcanique, de la densité du sédiment LGM , et avec le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique 2 (12-24 ka).

Fig. III-42: Variation du flux de verre volcanique ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la profondeur. Il n'y a pas de corrélation avec la profondeur, ni actuellement ni au LGM. Les hausses LGM, vis à vis de l'actuel concernent surtout les grandes profondeurs, les baisses les faibles profondeurs.

Fig. III-43: Variation du flux de verre volcanique ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) à l'actuel et au LGM en fonction de la distance aux îles. Il n'y a pas de corrélation avec la distance aux îles, ni actuellement ni au LGM. Les variations ne sont pas non plus corrélées à la distance aux îles.

Fig. III-44: Variation en absolu ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) et en relatif (%) du flux de verre volcanique actuel vis à vis du flux LGM, et en fonction du flux LGM. Les hausses concernent surtout les zones à fort flux LGM.

Fig. III-45: Les taux d'accumulation holocènes dans l'Atlantique Nord, In: Emery & Uchupi [1984]. A: sédiment total, d'après Goldberg & Griffin [1964] ; Lisitzin [1972] ; Bé *et al* [1976] ; McIntyre *et al.* [1976]. B: Carbonates de calcium, d'après A et Biscaye *et al.* [1976] ; Emery & Uchupi [1984] ; Lisitzin [1969] ; Leslie [1963]. C: Silice amorphe (opale), d'après A et Lisitzin *et al.* [1977] ; Emelyanov [1975].

Fig. III-46 "Dahlem" map [Berger, 1988b]: carte de la productivité actuelle pour l'océan Atlantique, calculée d'après la combinaison des mesures par radiocarbone, de calculs d'après la teneur de l'eau en phosphates et des données satellitaires sur la teneur de l'eau en phytoplancton. Les valeurs sont en $gCm^{-2}.a^{-1}$. Le plateau des Açores est indiqué par un cadre.

Fig. III-47: Corrélation entre le flux de carbonates et le flux résiduel pour l'actuel et le LGM. Pour les deux époques la corrélation est bien représentée par un polynôme du second degré.

Fig. III-48: Flux actuel ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) du sédiment total dans les bassins transformants de la dorsale sur le plateau des Açores. Le pourcentage indiqué représente la proportion des apports latéraux en prenant un flux pélagique vertical de 1.44 $g.cm^{-2}.ka^{-1}$, estimé en faisant la moyenne des flux actuels pour les carottes hors axe à des profondeurs supérieures à 2000 mètres. L'importance des apports latéraux, et donc du flux total semble proportionnel à la surface du bassin (en grisé, délimité par les tirets), cela signifie que plus la surface de "piégeage" est grande plus le flux de sédiment concentré dans le bassin sera grand. A l'intérieur d'un bassin les flux tendent à être plus forts au centre et plus faibles à la périphérie, cette caractéristique reflète bien le fonctionnement du piège qui tend à concentrer les particules vers le centre du bassin.

Fig. III-49: Comparaison du pourcentage des apports latéraux actuels pour les carbonates et les résiduels. Les deux phases subissent le même processus de piégeage.

Fig. III-50: Comparaison des taux de sédimentation et des taux d'accumulation dans les bassins transformants sur le plateau des Açores. Les forts taux d'accumulation s'accompagne d'un forte baisse de la densité humide qui se traduit par des contrastes beaucoup plus faibles dans les taux d'accumulation. A un fort taux de sédimentation Glaciaire peut même occasionnellement correspondre un taux d'accumulation inférieur à celui observé pour un taux de sédimentation Interglaciaire plus faible.

Fig. III-51: Variation des flux de carbonates et résiduels entre le LGM et l'actuel en fonction de la variation de la teneur en sables pour les mêmes époques.

Chapitre IV

Fig. IV-1: Les turbidites pélagiques sur le plateau des Açores. Sur la carte les pointillés indiquent les lignes de crête et délimitent les bassins. Les flèches indiquent les trajectoires possibles des turbidites.

Fig. IV-2: Position des trois monts sous-marins sur lesquels ont été observés des dépôts d'explosions volcaniques sous-marines.

Fig. IV-3: Le segment de dorsale du mont sous-marin de 38°20N. Les flèches indiquent la trajectoire possible pour le matériel volcanique. Le mont sous marin se compose essentiellement de matériel volcanique et la périphérie consiste en une alternance de matériel volcanique et de sédiment pélagique.

Fig. IV-4: Image de la réflectivité acoustique du fond sur le segment du mont sous-marin de 38°20N. Les zones claires peuvent être interprétées comme sédiment. Les zones noires comme roche. Le cône d'éjections volcaniques du mont se caractérise par un faciès gris accompagné de linéations radiaires centrées sur le mont.

Fig. IV-5: Vue 3D de la réflectivité du fond au niveau du segment de mont sous-marin 38°20N. Les cylindres indiquent la position des carottes. Les étoiles indiquent les sources potentielles pour ce matériel. Les dépôts résultent soit directement d'éruptions du mont, soit de remobilisations postérieures par des processus gravitaires.

Fig. IV-6: Zoom sur le mont sous-marin de 38°20N et position des carottes les plus proches. La carte de la réflectivité acoustique du fond montre clairement le cône d'éjections volcaniques en gris avec des linéations radiaires centrées sur le sommet du mont. Les limites de ce faciès sont reportées en gris sur la carte bathymétrique.

Fig. IV-7: Zoom sur le mont sous-marin Menez Gwen. Les éjections volcaniques apparaissent sur les flancs est et ouest du volcan sur la carte de réflectivité acoustique. Le faciès est gris et montre certaines linéations radiaires centrées sur le volcan. Le faciès correspondant est reporté en gris sur la carte bathymétrique.

Fig. IV-8: Zoom sur le mont sous-marin Lucky Strike. Les éjections volcaniques se cantonnent sur le sommet mais n'apparaissent pas sur la réflectivité acoustique.

Fig. IV-9 : Position des carottes présentant des indices de courants de fond. O Carottes avec indices de courant, ⊗ Carottes servant de référence texturale pélagique, Sédiment sableux, Faibles taux de sédimentation, Granoclassement inverse.

Fig. IV-10: Caractéristiques des carottes contenant des indices de courants de fond par rapport aux autres carottes du plateau des Açores. La teneur en sables (%) est celle de la surface ce qui explique la relative faible teneur en sable de GEOFAR KF21, néanmoins la surface reflète généralement la texture générale des carottes. Le taux de sédimentation (cm/ka) est le taux moyen du Stade isotopique 1 qui, compte tenu de la résolution moyenne, peut être considéré comme l'Holocène. Remarquez que les 4 carottes au-dessus de 1500 mètres ont toutes subi l'action d'un courant.

Fig. IV-11: Position de la ride sédimentaire de Faial. Elle se situe dans un corridor de 10 km de large et d'environ 750 mètres de profondeur qui incise un plateau culminant à -250 mètres. La géométrie de la ride n'est pas visible à cette échelle. Le profil sondeur de sédiment fait un angle de 45° avec l'axe du corridor. La bathymétrie a été établie par Serge Monti (IFREMER DRO/GM).

Fig. IV-12: Profil 3.5 kHz (EPSHOM) du drift des Açores. La coupe est à environ 45° de l'axe du drift (d'après la géométrie du corridor). La forme est caractéristique d'un dépôt par un courant. La partie haute correspond à un taux de sédimentation élevé et la partie basse à un taux de sédimentation bas. Les taux de sédimentation sont contrôlés par la l'énergie des courants (la taille des cercles est proportionnelle à l'énergie des courants supposés).

Fig. IV-13: Variations temporelles des courants McCave *et al.* [1995]. A: Vitesse constante au-dessus du niveau critique de vannage, le niveau d'énergie moyen (KM) est élevé, le niveau de variabilité (KE) est nul, le sédiment est affecté par le vannage. B: Vitesse constante au-dessous de niveau critique de vannage, le KM est moyen et le KE est nul, le sédiment ne montre pas de trace de l'action d'un courant. C: la vitesse du courant varie et dépasse occasionnellement le niveau critique de vannage, le KM est bas, le KE est moyen le sédiment sera affecté par le vannage. D: le courant a une vitesse très variable avec des directions variables (vitesses positives et négatives), le KM est égal à zéro et le KE est élevé, la résiduelle est nulle, pas de vannage. Auffret *et al.* [1981] montrent néanmoins que l'action d'un courant peut "réorganiser" le sédiment et créer un granoclassement inverse malgré une résultante nulle. La texture du sédiment enregistre les paroxysmes d'énergie et ne permet pas d'appréhender KE ni même réellement KM.

Fig. IV-14: Moyenne texturale du sédiment total pour les carottes ne présentant pas de signe de l'action d'un courant, utilisée pour établir la fonction d'apports pélagiques avec une résolution de 6 ka. La courbe en gris représente la courbe de la médiane lissée avec une moyenne mobile sur 3 points. Les chiffres en italique sont les taux de sédimentation moyens par stade isotopique (cm/ka).

Fig. IV-15: Moyenne texturale du sédiment total des carottes à texture grossière. Elles présentent des granoclassements inverses et des faibles taux de sédimentation (chiffres en italique). La courbe en gris représente la moyenne (µm) lissée avec une moyenne mobile sur 3 points.

Fig. IV-16: Fonctions d'apport pélagique basse résolution et haute résolution. La courbe haute résolution est également sur le même graphe que la courbe basse résolution.

Fig. IV-17: Moyenne du sédiment total pour les carottes 91-KS04 et 92-KS10. La texture de 92-KS10 tend à être plus grossière que 91-KS04.

Fig. IV-18: Moyenne de la fraction supérieure à 10 µm (sédiment total) pour les carottes 91-KS04 et 92-KS10. Notez la remarquable similitude des courbes entre 40 ka et 80 ka. La texture plus grossière de 0 à 40 ka pour 92-KS10 peut s'expliquer par un l'action d'un agent hydrodynamique ou par des apports de matériel volcanique plus grossier en provenance des îles.

Fig. IV-19: Les taux de sédimentation des fractions argileuses, silteuses et sableuses des carottes 91-KS04, 92-KS10 et 91-KS06 du stade isotopique 1 au stade isotopique 5.

Fig. IV-20: Signal Hydrodynamique pour le sédiment vanné (courbe noire). Les hachures signalent les écarts inférieurs à 40 µm qui sont considérés comme non significatifs. La courbe en gris est la moyenne du sédiment total. Les chiffres en italique indiquent le taux de sédimentation moyen pour le stade isotopique.

Fig. IV-21: Stack (trait noir épais) des SH pour les carottes à texture grossière. Les tendances générales ressortent: faible signal pour les stades 10, 9 et 6, fort signal pour les stades 8, 7, 5, 4 et 3. Le SH est supérieur à 40 µm pour tous les stades sauf le stade 10 et le début du stade 9.

Fig. IV-22: Moyenne du sédiment total pour les carottes KF21 et KF15. La première provient du sommet de la ride sédimentaire, la deuxième du flanc doux.

Fig. IV-23: Signal Hydrodynamique pour KF21 (la courbe en gris est la moyenne texturale). La courbe du $\partial^{18}O$ montre que les stades isotopiques froids sont corrélés aux épisodes de forte énergie.

Fig. IV-24: Corrélation entre la moyenne des carbonates et la moyenne de la phase résiduelle pour les carottes GEOFAR KF21 et KS15. La bonne corrélation observée est un indice de l'action d'un courant.

Fig. IV-25: Relation entre le SH et la teneur en sable du sédiment. Le SH inférieur à 40 µm doit être interprété avec précaution. L'ajustement réalisé pour le signal >40 µm montre que les teneurs en sable >35% sont liées à l'action d'un courant. La relation entre le SH et la teneur en sable est linéaire.

Fig. IV-26: Caractéristiques texturales des sédiments: le rapport entre la teneur en argiles et la teneur en silts tend à diminuer avec la teneur en sables. Il est proportionnel au SH mais est également fonction du site. La teneur de 35% de sables marque la limite au-delà de laquelle la signature texturale du SH est supérieure à celle de la source.

Fig. IV-27: Stratigraphie et taux de sédimentation de GEOFAR-KF21. Les ronds noirs indiquent les âges obtenus par la corrélation de la courbe $\partial^{18}O$ (G. bulloides) avec la courbe SPECMAP. Les ronds blancs indiquent les âges obtenus par datation ^{14}C sur la fraction carbonatée, corrigés en âges calendaires selon Bard *et al.* [1993]. Les incertitudes sur les âges ^{14}C sont données dans le chapitre I, Tab. I-6.

Fig. IV-28: Texture de la carotte GEOFAR-KF21 illustrée par la moyenne du sédiment total et de la moyenne des silts résiduels qui sont supposés être la phase et la fraction la plus sensible à l'action de courants McCave *et al.* [1995].

Fig. IV-29: Vitesses critiques (1 mètre au-dessus du fond) pour mettre en mouvement des particules sphériques. La courbe en noir Miller *et al.* [1977] est valable pour des particules de densité 2.65 (type quartz). La courbe grise [Oehmig, 1993] est valable pour des tests de foraminifères sphériques (*Neogloboquadrina pachyderma*). Les faibles vitesses obtenues pour les foraminifères sont liées à leur faible densité (sphères creuses), la tendance inverse à la courbe de Miller *et al.* [1977] viens du fait que la proportion de "vide" augmente avec la taille des tests.

Fig. IV-30: Courbes granulométriques représentatives de la texture des sédiments vannés, la texture grossière du sédiment se matérialise par une forte diminution de la fraction argileuse. Le nombre en italique sous l'âge donne la moyenne (µm) du sédiment total, les 3 autres nombres donnent respectivement la moyenne des argiles, des silts et des sables (µm).

Fig. IV-31: Variations temporelles de la teneur en sables en fonction de la Latitude, de la longitude et de la profondeur. Les teneurs en sable >35% peuvent être considérées comme liées à l'action d'un agent hydrodynamique. Les teneurs <35% sont liées aux variations de productivité. Seule la profondeur semble exercer un réel contrôle sur la teneur en sable: la teneur est supérieure à 35% au-dessus de 1800 mètres. Les carottes situées à l'est de la région sont également très riches en sables, mais elles correspondent en fait à des carottes à faible profondeur (environ 1000 mètres).

Fig. IV-32: Courants moyens de surface actuels moyennés sur une surface de 2° X 2° à partir de bouées dérivantes, pour la région Açores-Canaries [Maillard & Käse, 1989]. Le cadre indique le Plateau des Açores au sud de 38°N.

Fig. IV-33: Comparaison entre la courbe SPECMAP et la teneur en sable des sédiments de la région des Açores en fonction du temps et de la profondeur. Les variations de teneurs en sables >35% correspondent au sédiment vanné et montrent trois "pics" interprétés par un renforcement de l'hydrodynamisme au LGM (s.l.) à 150 ka (fin du stade 6) et à 250 ka (fin du stade 8). Ces 3 époques correspondent à de fortes avancées du front polaire et du Gulfstream vers le sud [Crowley, 1981]. L'épaisseur des flèches est proportionnelle au gradient de la teneur en sables en fonction la profondeur d'eau.

Fig. IV-34: Circulation de surface actuelle (en gris) et durant le dernier maximum glaciaire (LGM, en noir). Le front polaire est indiqué en traits pointillés épais, le Gulfstream en traits épais plein. La circulation actuelle du Gulfstream est d'après Sy [1988] et Maillard & Käse [1989]. La position actuelle du front polaire est d'après Ruddiman & McIntyre [1981], la position actuelle du Gyre Subpolaire est d'après Brown *et al.* [1989]. La position Glaciaire du Gulfstream est d'après Crowley [1981] pour la partie à l'est de 45°W et d'après Robinson *et al.* [1995] pour la partie à l'ouest de 45°W. La circulation Glaciaire du Gyre Subglaciaire est d'après Robinson *et al.* [1995]. La position Glaciaire du front polaire est d'après McIntyre [1976] et CLIMAP [1976]. Les traits en gris (B) représentent la zone à fort gradient thermique des eaux de surface durant le Dernier Maximum Glaciaire d'après Crowley [1981] et McIntyre [1976]. Le cadre indique la région étudiée

Fig. IV-35: Modèle conceptuel du Gulfstream sur une période de temps de 10 ka, permettant d'expliquer les teneurs et les gradients de teneurs en sables de la Figure H29 pour les 3 derniers maxima glaciaires (260 ka, 150 ka et 18 ka). Le Gulfstream est schématisé par des lignes "d'iso-énergie" concentriques qui implique un gradient constant en surface (horizontal) et à l'aplomb du centre du flux maximum (vertical). Le rapport entre le gradient horizontal et le gradient vertical est de 300 (le rapport est de 6 sur la figure car il y a une exagération verticale x50). Les positions du Gulfstream pour le LGM et 150 ka sont d'après Crowley [1981]. Plus le Gulfstream se situe au sud, plus le flux central est fort, plus le gradient d'énergie entre la périphérie et le centre du Gyre est important, sauf pour 150 ka où malgré une position très sud du Gulfstream le flux et le gradient sont considérés comme faibles car le front polaire est anormalement situé au nord (faibles gradients de température, vents faibles Crowley [1981]). Les valeurs d'énergie sont calées sur les teneurs en sables au-dessus de 1800 mètres. Les caractéristiques du Gulfstream et sa position par rapport au plateau rendent compte des différences de teneurs et de gradient de teneur en sable entre les 3 derniers maximums glaciaires.

Fig. IV-36a: (Haut) Carte des profondeurs au-dessus de laquelle s'exerce le vannage (teneur en sable 35%). (Bas) profondeurs au-dessus desquelles la teneur en sable devrait être supérieure à 55%. Situation durant le maximum glaciaire du Stade 2 (18 ka). Les lignes transversales indiquent la profondeur de la ligne d'isoénergie correspondante, d'après le modèle conceptuel de la Figure IV-35. La veine centrale se situe à 36°N.

Fig. IV-36b: (Haut) Carte des profondeurs au-dessus de laquelle s'exerce le vannage (teneur en sable 35%). (Bas) profondeurs au-dessus desquelles la teneur en sable devrait être supérieure à 55%. Situation durant le maximum glaciaire du Stade 6 (150 ka). Les lignes transversales indiquent la profondeur de la ligne d'isoénergie correspondante, d'après le modèle conceptuel de la Figure IV-35. La veine centrale se situe à 34°N.

Fig. IV-36c: (Haut) Carte des profondeurs au-dessus de laquelle s'exerce le vannage (teneur en sable 35%). (Bas) profondeurs au-dessus desquelles la teneur en sable devrait être supérieure à 55%. Situation durant le maximum glaciaire du Stade 8 (250 ka). Les lignes transversales indiquent la profondeur de la ligne d'isoénergie correspondante, d'après le modèle conceptuel de la Figure IV-35. La veine centrale se situe à 38°N.

Fig. IV-37: Comparaison du SH de la carotte KF21 avec les gradients de température [Boelaert, In prep.] des eaux de surface à la longitude du plateau des Açores. La température de surface est quasiment stable à 34°N mais varie beaucoup à 41°N et 43°N, les plus forts gradients sont observés entre 41°N et 43°N. La courbe des températures de surface à 34°N est de Crowley [1981] carotte 280. La courbe à 41°N est de Mix & Fairbanks [1985] carotte V30-97, la stratigraphie est de Boelaert [In prep.]. La courbe de 43°N est de Cortijo [1995] carotte SU90-08.

Fig. IV-38: Les conditions des eaux de surface (températures d'été et circulation) durant le dernier Glaciaire [Crowley, 1981]. CW = Central Waters. La position du front polaire (PF) correspond à l'isotherme 10°C estival. La circulation de surface est déterminée d'après la position du facteur correspondant à l'association de foraminifères type "transitionnel".

Liste des tableaux

Introduction

Tab. 1: Coordonnées géographiques, profondeurs et longueurs des carottes utilisées.

Chapitre I

Tab. I-1: Récapitulatif des diamètres moyens, efficacités volumiques $\frac{V_c}{V_v}$ et densités virtuelles d_v des principales espèces de nannofossiles.

Tab. I-2: Caractères biométriques des nannofossiles, d'après Bréheret [1977]

Tab. I-3: Densités virtuelles des foraminifère en fonction de leur taille, calculées par Oehmig [1993]

Tab. I-4: Densités virtuelles (d_v) des carbonates calculées par les équations (10) et (12) et contrastes de densités ($\frac{d_v}{d_g}$) entre les carbonates et les résiduels, calculés par les équations (13) et (14), le tout pour les classes du Coulter LS130.

Tab. I-5: Densité des principaux minéraux rencontrés dans les sédiments.

Tab. I-6: Ages obtenus par la datation ^{14}C pour la carotte GEOFAR KF21, non corrigés de l'effet de réservoir. Les âges calendaires sont obtenus d'après la correction de [Bard *et al.*, 1993].

Tab. I-7: Récapitulatif des outils stratigraphiques utilisés pour chaque carotte. * Graduiertenkolleg, Kiel [Richter, 1996] ** CFR, Gif-Sur-Yvette [Boelaert, In prep.]

Chapitre II

Tab. II-1: Taux de sédimentation ($cm.ka^{-1}$) à 3 époques, d'après les données de Richter [1996] et Boelaert [In prep.]

Tab. II-2: Taille et abondance relative des espèces de nannofossiles dans le sédiment pélagique du plateau des Açores. Les tailles sont d'après Bréheret [1977], et les abondances d'après Müller [1991; 1992; 1994; 1995]. Les espèces correspondant aux modes les plus fréquents sur les courbes granulométriques sont indiquées en gras.

Chapitre III

Tab. III-1: Flux vertical récent et LGM ($g.cm^{-2}.ka^{-1}$) pour les principaux composants et pourcentage du flux latéral actuel et LGM dans les bassins transformants de la dorsale.

Tab. III-2: Taux de sédimentation, flux sédimentaire total et densité du sédiment pour les derniers 30 ka dans les bassins transformants de dorsale sur le plateau des Açores

Chapitre IV

Tab. IV-1. Niveaux carbonatés d'origine gravitaire sur le plateau des Açores

Tab IV-2. Dépôts gravitaires à proximité de Corvo-Flores

Tab. IV-3: Caractéristiques des niveaux volcaniques observés dans la carotte 91-KS04.

Tab. IV-4: Caractéristiques des niveaux volcaniques observés dans la carotte 92-KS04.

Tab. IV-5: Comparaison des flux et des caractéristiques des sédiments Interglaciaires/Glaciaires entre les Açores et l'Atlantique nord est [van Kreveld-Alfane, 1996].

Tab. IV-6: Teneurs moyennes en argiles silts et sables du sédiment vanné.

Tab. IV-7: Valeurs des teneurs en sables à différentes profondeurs pour les 3 derniers maxima glaciaires. La teneur en sables est proportionnelle à l'énergie. Les 3 époques diffèrent essentiellement par le gradient d'énergie. Ces différences de gradient s'expliquent par la position et l'énergie du Gulfstream (Fig. IV-35).

Abstract

The Azores plateau is a volcanic area located at 38°N-30°W in the north Atlantic ocean. It is in average comprised between 1000 and 2000 metres of water depth and contains 8 volcanic islands, a tens of ridge segments and shows hydrothermal activity. The plateau is at the boundary between the American, European and the African plates. The remoteness of continents and the localisation in the subtropical gyre lead to low terrigeneous and biogeneous supplies. The plateau is also located south of the maximum extension (42°N) of the polar front during the Glacials and is therefore not exposed to the strong climate variability, characteristic of the north Atlantic ocean.

Sediments show a heterogeneous distribution on ridge, they cover about 57% of the bottom. They consist of nannofossils/foraminifera oozes and contain in average 75% of carbonates (nannofossils and foraminifera), 3% of biogeneous silica (radiolarians, spicules and diatoms), 15% of volcanics (feldspar, glass, rock fragments and clay). and 7% of terrigeneous. The islands contribution is visible in the lithology up to 100 km to the NW. Volcanic inputs are local and come mainly from seamounts on the ridge. On the seamount at 38°20N they built a cone of ejections, interbedded with pelagic sediments at the periphery. Biogenic silica is abundant on the ridge and in transform basins. Sediments tend to concentrate in basins where they have a fine texture and sedimentation rates reaching 50 $cm.ka^{-1}$, for only 1.6 $cm.ka^{-1}$ elsewhere. Above 1500 metres depth sediments are coarser with low sedimentation rates, lower than 1 $cm.ka^{-1}$.

The variability of sedimentary fluxes is mainly controlled by the morphology of the plateau. In transform basins the sedimentary processes are dominated by lateral supplies, representing between 75% and 92% of supplies. This advection seems to be chronic, not selective and do not modify the lithology of sediments. Turbidites represent only 2% of the volume of sediments sampled in such context. Above 1500 metres depth fluxes are determined by the winnowing of fine particles. The variability of silica fluxes is probably related to local variations of productivity and preservation. The abundance of sponge spicules on the ridge may reflect favourable conditions of life such as a rocky base and bottom currents. The abundance of siliceous plankton on the ridge may reflect silica and/or nutrient supplies from the volcanic and hydrothermal activity.

Lithology and fluxes remained fairly constant during the last 400 ka. At the last Glacial carbonate contents were lower by 5% and the slightly lower carbonate fluxer are due to a decrease of carbonates productivity. The Glacial coarser texture of sediments reflects a decrease in the productivity for nannofossils more important than for foraminifera. Volcanic and terrigeneous fluxes are constant, the constancy of the Azores terrigeneous flux is an important difference with the northern Atlantic characterised by a strong Glacial increase of this flux. It is a consequence of the remoteness of continents, but, much more of the location south of the polar front and the drifting ice. The occurrence of diatoms tests in LGM sediments witness a higher productivity of surface waters, linked to changes of surface circulation.

The second most important process, after lateral supplies, is the winnowing of fine particles above 1500 metres during the glacial periods. We accessed the relative vigour of current with the texture of sediments by the determination of the temporal textural signal due to the pelagic productivity and subtracting it. Pelagic textural variations are negligible but it is necessary to subtract it in order to identify the Hydrodynamic Signal (HS) contained in the texture. The variations of the SH can be seen as proportional to the variations of the vigour of bottom currents. The HS probably witnesses the paroxysm of energy on these currents at the resolution of 6 ka. The HS is the highest at the last 3 glacial maximum (18 ka, 150 ka and 250 ka). They are interpreted as a consequence of the shift toward the south of the northern boundary of the subtropical gyre, the Gulfstream/North Atlantic Current (NAC), during the advances of the polar front. Variations of the HS with depth and latitude are in good agreement with known position of the Gulfstream the last and the penultimate glacial maximum. They allow us to estimate its position at 38°N, 250 ka B.P. The presence of a sedimentary drift (the Faial Drift), built by accumulation under currents, makes possible de determination of the HS during Holocene and the last Glacial with a resolution of 2 ka. We do not notice any current during the Holocene but an important one during the Glacial. This led us to postulate a maximum amplitude of 10° (between 34°N and 44°N) in the latitudinal oscillation of the Gulfstream for that period. Paroxysms of energy lead to hiatus in sedimentation at 19 ka and between 37 ka and 47 ka that can be linked to Heinrich events, respectively HL1 and HL4/HL5. The absence of strong HS at the stage 4 can be explained by a very south (34°N) position of the Gulfstream.

In conclusion, the morphology of the bottom and the climate are the key of the sedimentary dynamic on the Azores plateau. The climate acts via the impact of the circulation on sedimentation.

Key words: Azores, Mid-Atlantic Ridge (MAR), volcanism, sediment, lithology, grain-size, fluxes, process, current, Gulfstream, paleoceanography.

Résumé

Le plateau des Açores est une région volcanique située à 38°N-30°W dans l'océan Atlantique nord. Il se trouve à une profondeur d'eau moyenne comprise entre 1000 et 2000 mètres et se caractérise par la présence de 8 îles volcaniques, d'une dizaine de petits segments de dorsale et par une activité hydrothermale. Il constitue une triple limite de plaque entre l'Amérique, l'Europe et l'Afrique. L'éloignement des continents et sa localisation dans le gyre subtropical en font, vis à vis de l'Atlantique nord, une région à faibles apports terrigènes et biogènes. Il se situe également au sud de limite d'extension du front polaire (42°N) lors des époques glaciaires, et n'est pas soumis à la forte variabilité climatique de l'Atlantique nord.

La distribution de couverture sédimentaire est hétérogène au niveau de la dorsale, elle représente environ 57% des fonds. Les sédiments consistent en boues à nannofossiles et/ou foraminifères, ils se composent en moyenne de 75% de carbonates (nannofossiles et foraminifères), 3% de silice biogènes (radiolaires, spicules et diatomées), 15% de volcanogène (feldspath, verre, roche et argiles) et 7% de terrigène. Les apports des îles affectent la lithologie des sédiments jusqu'à 100 km vers le SW. Les apports volcaniques sont locaux et proviennent essentiellement des monts sous-marins sur la dorsale. Autour du mont de 38°20N ils forment un cône d'éjection, à la périphérie ils sont interstratifiés dans les sédiments pélagiques. La silice biogène est plus abondante sur la dorsale et dans les bassins transformants. Les sédiments tendent à avoir une texture fine dans les bassins et à s'y concentrer, les taux de sédimentation peuvent y atteindre 50 cm.ka^{-1}, contre seulement 1.6 cm.ka^{-1} en moyenne sur le reste du plateau. Au-dessus de 1500 mètres de profondeur le sédiment est grossier et montre des taux de sédimentations faibles, inférieurs à 1 cm.ka^{-1}.

La variabilité des flux sédimentaires est ainsi essentiellement contrôlée par la morphologie du plateau. La dynamique sédimentaire des bassins transformants est dominée par les apports latéraux qui représentent entre 75% et 92% des apports. Ce processus d'advection semble être chronique, il est peu sélectif et ne modifie pas la lithologie des sédiments, les turbidites ne représentent que 2% du volume du sédiment prélevé dans ce contexte. Au-dessus de 1500 mètres les flux sont conditionnés par le vannage des particules fines. La variabilité des flux siliceux est probablement liée aux variations locales de la productivité et de la préservation. L'abondance des spicules de spongiaires au niveau de la dorsale peut refléter des conditions favorables (supports rocheux et courants de fonds). L'abondance du plancton siliceux près de la dorsale pourrait refléter l'apport de silice et/ou de nutriments par l'activité volcanique et hydrothermale.

La lithologie et les flux ont peu variés durant les derniers 400 ka. Durant le Glaciaire les teneurs en carbonates plus faibles d'environ 5% et le flux de carbonate légèrement plus faible reflètent une légère baisse de productivité des carbonates. La texture glaciaire plus grossière traduit la baisse de productivité plus importante pour le nannoplancton calcaire que pour les foraminifères. Les flux volcanogènes et terrigènes demeurent constant. La constance du flux terrigène marque une différence vis à vis du reste de l'Atlantique nord caractérisé par des apports plus élevés durant les époques glaciaires. La constance Açorienne reflète l'éloignement des continents, mais surtout sa position au sud du front polaire et des apports par les glaces dérivantes. La présence de tests de diatomées dans les sédiments LGM reflète une hausse la productivité des eaux de surface, liée aux modifications de la circulation de surface.

Le deuxième processus majeur, après l'advection latérale, est le vannage des particules fines sous l'action de courant lors des périodes glaciaires. La texture du sédiment nous a permis d'estimer la vigueur des courants en estimant les variations de texture liées aux variations à la source du sédiment puis en soustrayant une fonction temporelle de la texture des apports pélagiques pour le plateau des Açores. Les variations de la texture sont négligeables vis à vis des variations liées au vannage mais il est nécessaire de soustraire la fonction pélagique afin de mettre en évidence le Signal Hydrodynamique (SH) contenu dans la texture. Les variations du SH peuvent être considérées comme proportionnelles aux variations de l'énergie des courants de fond. Le SH ne reflète probablement les maximums d'énergie de ces courants à une résolution de 6 ka. Les valeurs du SH sont maximales pour les 3 derniers maxima glaciaires (18 ka, 150 ka et 250 ka). Ils sont interprétés comme la conséquence de la migration vers le sud de la branche nord du gyre subtropical, le courant Gulfstream-Dérive Nord Atlantique (DNA), lors de l'avancée du front polaire. Les variations du SH en fonction de la profondeur et de la latitude sont en accord avec les positions du Gulfstream, données pour le dernier et le pénultième maximum Glaciaire. Elles permettent de situer la position du courant à environ 38°N il y a 250 ka. La présence d'une ride sédimentaire (la Ride de Faial), au sud de l'archipel intermédiaire, construite par accumulation sous l'action de courant permet de déterminer le SH pour l'Holocène et le dernier Glaciaire avec une résolution de 2 ka. On note ainsi l'absence de courant durant l'Holocène et un courant important durant la Glaciaire. Cette observation permet de déduire une amplitude maximale d'environ 10° de latitude pour la migration du Gulfstream (entre 34°N et 44°N). Les paroxysmes d'énergie se traduisent par des hiatus de sédimentation à 19 ka et entre 37 ka et 47 ka qui peuvent être associés aux événements de Heinrich, respectivement HL1 et HL4/HL 5. L'absence de fort SH au stade 4 peut s'expliquer par une position très sud (34°N) du Gulfstream.

En conclusion la morphologie du fond et le climat sont les moteurs de la dynamique sédimentaire sur le plateau des Açores. La contribution des îles est minoritaire vis à vis des apports pélagiques, les apports des monts sous-marins sont locaux. Le climat intervient par l'impact de la circulation sur la sédimentation.

Mots clef: Açores, dorsale médio-Atlantique, volcanisme, sediment, lithologie, granulométrie, flux, processus, courants, Gulfstream, paléocéanographie.