



HAL
open science

Ecologie des foraminifères planctoniques du golfe de Gascogne : variations spatio-temporelles des assemblages et géochimie de leurs tests

Sophie Retailleau

► **To cite this version:**

Sophie Retailleau. Ecologie des foraminifères planctoniques du golfe de Gascogne : variations spatio-temporelles des assemblages et géochimie de leurs tests. Planète et Univers [physics]. Université d'Angers, 2009. Français. NNT : . tel-00480660

HAL Id: tel-00480660

<https://theses.hal.science/tel-00480660>

Submitted on 4 May 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**ÉCOLOGIE DES FORAMINIFÈRES PLANCTONIQUES
DU GOLFE DE GASCOGNE :
VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES ASSEMBLAGES
ET GEOCHIMIE DE LEURS TESTS**

THÈSE DE DOCTORAT

Spécialité : Sciences de la Terre et de l'Univers

ÉCOLE DOCTORALE VENAM

Présentée et soutenue publiquement

Le 8 Décembre 2009

à ANGERS

par

Sophie RETAILLEAU

Devant le jury ci-dessous :

Gerald GANSEN, Pr., Université d'Amsterdam	Rapporteur
Luc BEAUFORT, D.R., C.E.R.E.G.E, Aix en Provence	Rapporteur
Laurent LABEYRIE, Pr., LSCE Gif sur Yvette	Examineur
Ralf SCHIEBEL, Pr., Université d'Angers	Examineur
Elisabeth MICHEL, C.R., LSCE Gif sur Yvette	Examineur
Frédérique EYNAUD, MdC., Université de Bordeaux 1	Examineur

Encadrement

Hélène HOWA, MdC, Université d'Angers	Directeur de thèse
Frans JORISSEN, Pr., Université d'Angers	Co-encadrant de thèse

Un jour, alors que j'étais toute



, j'ai décidé de devenir



Alors, j'ai acheté un



et j'ai

quimpé des



Puis, je me suis demandée ce qu'étaient

ces



, alors on a quimpé sur

un



où on a tous



domé le meilleur de nous-même

puis on a tous eu la PECH Altitude!

et ramené plein



. Ce

qui a domé naissance à de gros



et beaucoup de plaisir!

REMERCIEMENTS

Et c'est avec beaucoup de plaisir que j'écris cette partie, qui sera sûrement la plus lue de toute la thèse !

Mes premiers remerciements vont à ma géniale directrice de thèse, **Hélène Howa**. J'ai énormément appris à son contact, aussi bien scientifiquement que humainement. Elle m'a fait découvrir le monde passionnant de l'océanographie et de la recherche. J'ai partagé son stress lors des différentes missions océanographiques et je la remercie énormément de m'avoir permis de partir en mission sur le « Sarmiento de Gamboa » en Avril 2009, sur lequel je serais bien restée encore un peu... On est si bien en mer...

Tous mes remerciements vont aussi à **Frans Jorissen**, directeur du laboratoire des Bio Indicateurs Actuels et Fossiles, pour m'avoir permis de faire ma recherche dans son laboratoire et de faire de nombreux congrès, mais aussi pour la convivialité et le dynamisme qu'il insuffle à toute l'équipe.

Je remercie aussi **Laurent Labeyrie**, sans qui le projet ANR FORCLIM n'aurait pas vu le jour.

J'aimerais également remercier les membres du jury de cette thèse et tout particulièrement les deux rapporteurs, **Gerald Ganssen** et **Luc Beaufort** qui ont révisé le manuscrit.

Comment pourrais-je oublier la chance que j'ai eu d'avoir disposé du temps précieux d'**Elisabeth Michel** lors des vacances 2009 (pour ceux qui étaient en vacances...) pour travailler et discuter sur les isotopes. Je la remercie également pour ses délicieux gâteaux d'anniversaire sur le « Sarmiento de Gamboa ».

Je remercie **Ralf Schiebel**, pour m'avoir accueillie au sein du NOCS à Southampton pour les analyses de tailles, de m'avoir fait visiter Londres et pour les nombreuses et intéressantes discussions.

Je ne pourrais vous présenter cette thèse sans l'aide apportée par **Lionel Fichen**, ainsi que de **Lionel Scouarnec** et leurs collègues de la division technique de l'INSU de Plouzané, lors des différentes missions, sans qui, il n'y aurait pas de données. Certaines missions, comme celle de Novembre 2007, ont été sauvées par ces techniciens, qui ont réparé tous les problèmes

techniques inimaginables qui nous tombaient dessus (problèmes avec le câble électroporteur, le déclencheur du filet, le bucket, les bouteilles Niskins et les débuts du multinet...). Alors vraiment, un grand merci !

Ma première année fut une année de formation sur la reconnaissance des différentes espèces de foraminifères planctoniques. Je remercie **Claude Pujol**, mais aussi **Frédérique Eynaud** du Laboratoire EPOC de m'avoir accueillie et formée à mes débuts. Je regrette **Neven Lončarić** et son expérience scientifique importante et le remercie pour son aide... "Have sweet dreams!"

Je remercie toutes les équipes scientifiques des différentes missions océanographiques, composées d'**Aurélia Mouret**, **Sabine Schmidt**, **Sophie Terrien**, **Tanja Kuhnt**, **Frédérique Eynaud** et **Elisabeth Michel** (oui, pour l'instant, il n'y a que des filles...), **Fabien Lombard**, **Yannick Mary** et les autres étudiants qui ont appris ce qu'était que de filtrer des centaines de litres d'eau dans des récipients de 250 ml (Hein Aurélia !). Merci aussi à toute l'équipe du « Sarmiento de Gamboa » !

Je tiens aussi à remercier les deux équipages du navire océanographique « Côtes de la Manche ».

Je remercie **Fabien Dewilde** et **Gulay Isguder** d'avoir effectué les mesures isotopiques des foraminifères au laboratoire du LSCE à Gif sur Yvette.

Je remercie **Virginie Abdallah** pour son consciencieux travail sur les données du canyon.

Je tiens à remercier **Olivier Pays**, d'avoir travaillé sur mes données entre deux voyages en Afrique pour compter des girafes et des éléphants...

Je remercie **John Murray** de m'avoir soutenue dans les couloirs vides du NOCS, ainsi que la bonne humeur de **Boris Kelly-Gerreyn**.

J'en viens maintenant à toute l'équipe du laboratoire du BIAF, avec qui j'ai apprécié de partager ces trois années :

Oh combien nécessaire de remercier chaleureusement **Sophie Terrien** ! Equipière de choc dans la planktonic team ! **Erica Bicchi**, pour sa gentillesse et d'avoir partagé avec moi ces trois semaines en mer ! Très bonne colocataire (bordélique, comme moi !) et cuisinière ! Che palle !!

Pour leurs soutiens, encouragements, fiestas et discussions, je tiens à remercier : **Aurélie**, avec qui j'avais de plaisantes discussions matinales et appris beaucoup de choses sur l'aromathérapie ; ces discussions me manqueront ! ; **Paula**, qui m'a épaulée tout cet été difficile en me racontant tout le périple qu'a été sa propre rédaction de thèse et... j'ai de la chance ! ; **Christine**, pour son aide, son soutien, sa franchise et le plaisir que j'ai eu de mieux la connaître cette année.

Je tiens à remercier la fille qui est en face de moi depuis 1 an, elle s'appelle **Pauline**, on ne l'entend pas beaucoup et ne rigole pas souvent ! ;-) Merci pour ton enthousiasme et ta bonne humeur !

Mais aussi, je tiens à remercier **Mariéva, Mark, Tanja, Christophe, Edouard, Mélissa, Fabrice, Emmanuelle** et **Jean Pierre André** pour leurs aides, leur gentillesse.

Je remercie mes amies de longues dates **Sandra** et **Laurie**, pour leurs encouragements sur MSN et leurs aides.

Je tiens énormément à remercier **mes parents**, sans qui je n'aurais jamais pu faire ces études, et pour leur compréhension de mon absence estivale en Sologne !

Merci à ma sœur, **Laurence** et **Michel** pour leur soutien et ma **nièce**, qui pointerait bientôt le bout de son petit nez !

Je remercie **François** et **Françoise** qui m'ont soutenue ces trois années, ainsi que **toute l'équipe sportive de l'île de Ré** !

Et ces trois années, n'auraient pas été les mêmes sans la présence de **Laurent** à mes côtés !
Merci énormément de m'avoir supportée, accompagnée, chouchoutée et d'être parti en vacances quand je devais travailler ardemment !

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	13
1. Contexte actuel.....	13
2. Etudes isotopiques.....	14
3. Marge continentale.....	14
4. ANR FORCLIM (2006-2009).....	15
5. Objectifs.....	15
CHAPITRE I : Contexte de l'étude	19
1. Généralités sur les foraminifères planctoniques.....	21
1.1. Evolution.....	21
1.2. Biogéographie et écologie.....	22
2. Zone d'étude – Le Golfe de Gascogne.....	28
2.1. Généralités et héritage géologique du Golfe de Gascogne.....	28
2.2. Contexte hydrographique du Golfe de Gascogne.....	29
2.3. Variations saisonnières.....	31
2.4. Cycle du plancton dans le Golfe de Gascogne.....	33
2.5. Zone d'étude – Le Plateau des Landes et le canyon de Cap Breton.....	35
3. Matériel et méthodes.....	36
3.1. Missions océanographiques.....	36
3.2. Au laboratoire.....	40
CHAPITRE II : Production de foraminifères planctoniques le long d'un transect bathymétrique dans le Sud du Golfe de Gascogne (publié dans <i>Continental Shelf Research</i>)	43
1. Introduction.....	46
2. Oceanographic setting.....	47
3. Ecological setting and plankton succession.....	49
4. Materials and Methods.....	49
5. Environmental conditions during sampling.....	51
6. Distribution of planktic foraminiferal standing stocks and empty tests.....	53
6.1. Distribution of cytoplasm bearing tests.....	53
6.2. Distribution of cytoplasm bearing tests in relationship to environmental parameters..	55
6.3. Distribution of empty tests.....	56
7. Discussion.....	58
7.1. Regional differences in the distribution of living planktic foraminifera.....	58
7.2. Seasonal changes in plankton production and abundance of living planktic foraminifera	59
7.3. Surface water salinity and standing stocks of planktic foraminifera.....	60
7.4. Distribution of empty tests and implication on fossil assemblages.....	61
8. Conclusion.....	62

CHAPITRE III : Ecologie des foraminifères planctoniques du Golfe de Gascogne 65

Partie A : <i>Distribution saisonnière des espèces des foraminifères planctoniques dans le Golfe de Gascogne</i>	67
1. Méthode d'analyse des données	67
2. Conditions hydrologiques	69
3. Description des données	69
3.1. Distribution des espèces majeures	71
3.2. Distribution des espèces mineures	84
3.3. Succession saisonnière des assemblages	88
4. Distribution saisonnière des espèces de foraminifères planctoniques et relation avec les facteurs environnementaux	92
4.1. Situation de fin d'hiver - début de bloom phytoplanctonique	93
4.2. Situation de bloom printanier	94
4.3. Situation de fin de bloom printanier	95
4.4. Situation estivale	96
4.5. Condition automnale - hiver	96
4.6. Variabilité interannuelle	97
5. Variations saisonnières des profondeurs de vie des foraminifères planctoniques	97
5.1. Cas particuliers	98
5.2. Bilan des profondeurs de vie	100
6. Impact des influences continentales sur les assemblages	101
7. Comparaison avec les distributions d'espèces en milieu d'océan ouvert	103
7.1. Distribution spatio-temporelle des espèces majeures	103
7.2. Distribution verticale des foraminifères planctoniques	105
7.3. Occurrence de <i>Globigerinoides trilobus</i> en Novembre	106
8. Conclusion	107
Partie B : <i>Etude des tailles des foraminifères planctoniques</i>	111
1. Introduction	111
2. Méthode d'analyses morphométriques	112
3. Résultats d'analyses morphométriques	114
3.1. Etude des distributions de taille de l'assemblage total	114
3.2. Etude des distributions de taille par espèce	115
4. Relations avec les paramètres environnementaux	124
4.1. Influence de la température	124
4.2. Influence de la disponibilité en nourriture	124
4.3. Etude statistique des relations taille / paramètres hydrologiques	126
4.4. Influence des apports fluviaux	128
5. Conclusion	129

CHAPITRE IV : Composition et distribution des espèces de foraminifères planctoniques morts des filets à plancton	131
1. Introduction.....	133
2. Analyse des résultats.....	134
2.1. Distribution globale des tests de foraminifères morts	134
2.2. Répartition spécifique des tests de foraminifères morts.....	136
2.3. Taille des individus – Comparaison avec les spécimens vivants	138
3. Discussion.....	140
3.1. Distribution globale	140
3.3. Distribution des tailles	142
4. Conclusion.....	142
CHAPITRE V : Comparaison des distributions des foraminifères planctoniques vivants entre des stations situées dans le canyon de Cap Breton et les stations du Plateau des Landes	145
1. Introduction.....	147
2. Analyses des données hydrologiques	149
2.1. Hydrologie du canyon	149
3. Abondance de la faune totale de foraminifères planctoniques vivants.....	152
3.1. Distribution de la faune totale	153
3.2. Distribution verticale des faunes	154
4. Distribution des espèces	156
4.1. dans le canyon	157
4.2. Comparaison avec les distributions du Plateau des Landes	159
5. Relations entre les distributions spatiales des foraminifères planctoniques vivants avec les paramètres environnementaux	161
6. Conclusion	166
CHAPITRE VI : Impact d'une tempête sur la faune des foraminifères planctoniques.....	167
1. Introduction.....	169
2. Conditions météorologiques de début Mars 2008	170
3. Données hydrologiques à la Station B.....	172
4. Analyse des résultats de la faune de foraminifères planctoniques	173
4.1. Faune totale de foraminifères planctoniques vivants	173
4.2. Assemblages des foraminifères planctoniques	174
4.3. Distribution verticale des espèces.....	176
5. Analyses des tailles de individus	178
6. Discussion.....	180
7. Conclusion	182

CHAPITRE VII : Compositions isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$) de tests de foraminifères planctoniques dans la colonne d'eau	183
1. Introduction.....	185
2. Matériels et Méthodes – préparation des échantillons et analyses	186
3. Différence entre les spécimens « grillés » et « non grillés »	188
4. Calcul du $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer ($\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$)	190
5. Effet de la taille sur la composition isotopique	191
6. Compositions isotopiques des foraminifères et de la calcite à l'équilibre.....	193
6.1. Choix de l'équation de calibration du $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$	193
6.2. Compositions isotopiques des tests de foraminifères planctoniques vivants	195
7. Profondeur de calcification et effets vitaux	205
7.1. Les différents postulats	205
7.2. Effet vital	205
7.3. Profondeurs de calcification	208
7.4. Déplacement des individus – Mouvement vertical.....	209
8. Croissance et durée de vie des foraminifères planctoniques	212
9. Conclusion	213
CONCLUSION GENERALE	215
PERSPECTIVES	219
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE	223
LISTE DES FIGURES	235
LISTE DES TABLEAUX	241
ANNEXES	243

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte actuel

Les Océans recouvrent 71% de la planète. Par leur capacité calorifique mille fois supérieure à celle de l'atmosphère, les océans ont une influence fondamentale dans l'évolution lente du climat de notre planète. De plus, les océans jouent un rôle important dans le cycle du carbone, notamment par la production d'organiques carbonatés qui en mourant piègent du carbone dans les sédiments marins.

Depuis plusieurs années, les scientifiques ont remarqué une forte augmentation de gaz à effet de serre (le CO₂ notamment) dans l'atmosphère s'amorçant au début de l'ère industrielle. Cette augmentation exponentielle du taux de CO₂ dans l'atmosphère entraîne une élévation des températures moyennes et des élévations du niveau marin, provoquant une redistribution des climats sur terre. Depuis la prise de conscience de l'opinion publique et des politiques face aux alertes répétées des scientifiques, l'évolution climatique est devenue une affaire d'enjeux politiques, sociaux et économiques importants (e.g. IPCC, 2000 ; 2007 ; Grenelle de l'environnement 2008). Il est devenu de première importance de savoir quelles sont et quelles seront les conséquences sur les biotes terrestres et marins de ces changements climatiques.

A l'échelle géologique, d'innombrables changements climatiques se sont déjà produits, avec des variations de concentrations en CO₂ dans l'atmosphère équivalentes, voire supérieures, aux variations actuelles. Néanmoins, les changements climatiques observés actuellement semblent beaucoup plus rapides que ceux connus par le passé.

Afin de mieux comprendre comment le changement climatique actuel affectera les biotopes du système terrestre, mais aussi océanique, les observations de périodes géologiques similaires, connaissant des changements climatiques, permettent de mieux appréhender les changements climatiques futurs et de mieux comprendre le cycle du carbone.

Organismes unicellulaires marins, vivant dans les couches de surface des océans et formant des tests en carbonates de calcium, les foraminifères planctoniques sont l'un des outils les plus utilisés pour les reconstitutions paléocéanographiques et paléoclimatiques. Ces organismes montrent une radiation importante depuis le Crétacé et sont toujours présents dans les océans actuels. Leurs densités résultent des interactions avec les facteurs biologiques (compétition inter et intra-spécifique, prédation) et les facteurs physico-chimiques de leurs eaux de vie (e.g. quantité et qualité de la nourriture, température, salinité) (e.g. Bé, 1977 ;

Hemleben et al., 1989 ; Bijma et al., 1990a). La variabilité spatiale et temporelle de ces paramètres entraîne des distributions diverses des assemblages de foraminifères planctoniques qui sont par conséquent de bons indicateurs environnementaux (e.g. CLIMAP, 1981).

Néanmoins, leur écologie est encore mal connue. De plus amples études sont nécessaires afin d'améliorer notre compréhension des facteurs hydrologiques et biologiques déterminant leurs distributions actuelles, afin de mieux reconstituer les conditions paléoenvironnementales à partir des enregistrements sédimentaires. De plus, leurs tests en carbonate de calcium en font des contributeurs importants dans le cycle du carbone et une meilleure compréhension des flux exportés vers les sédiments permettrait une meilleure compréhension du cycle du carbone.

2. Etudes isotopiques

Depuis le développement des techniques modernes de la spectrométrie isotopique, la composition en isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) et du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) des tests calcitiques des foraminifères est devenue un outil de reconstitution paléocéanographique puissant.

D'après Urey (1947), les fractionnements isotopiques de l'oxygène ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) sont thermodynamiquement dépendants de la température. Calcifiant leurs tests dans la colonne d'eau, les tests de foraminifères planctoniques reflèteraient le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer. Ce dernier est contrôlé par les processus d'évaporation – précipitation et le transport de la vapeur d'eau, ainsi que par le volume de glace stocké sur les continents (Emiliani, 1954). Par conséquent, indirectement, les rapports isotopiques de l'oxygène des tests de foraminifères informeraient sur le climat global. Par ailleurs, leurs valeurs isotopiques reflètent la température à la profondeur de calcification des individus. Les rapports isotopiques de l'oxygène sont depuis très largement utilisés comme proxy de température de surface des eaux.

3. Marge continentale

A la frontière entre les continents et les océans, les marges océaniques reçoivent d'importants flux de matière (éléments naturels mais aussi anthropiques), liés à l'érosion des continents, aux transports par les courants océaniques et à une production biologique intensifiée en surface due à la richesse de ces eaux en sels nutritifs. Les enregistrements sédimentaires sur les marges océaniques ont donc de grandes résolutions. Face aux pollutions anthropiques importantes observées cette dernière décennie, les marges continentales constituent un milieu

de prospection préférentielle pour la recherche de l'impact anthropique sur les systèmes océaniques.

4. ANR FORCLIM : Foraminifères, Bio-Indicateurs des changements climatiques (2006-2009)

Coordonné par le Pr. L. Labeyrie (LSCE, Gif sur Yvette), le projet ANR FORCLIM regroupe des chercheurs de 3 laboratoires français (Université d'Angers, UPRES EA 2644-BIAF, Université de Bordeaux 1, UMR 5805-EPOC et CEA – CNRS de Gif-sur-Yvette-LSCE), et affiche des collaborations avec 2 laboratoires européens (NOCS, Southampton Angleterre et l'Université de Bremerhaven, Allemagne). Ce programme, vise à améliorer la connaissance sur la circulation thermo-haline dans l'Atlantique Nord au cours du dernier millénaire en améliorant les proxies paléocéanographiques basés sur les mesures géochimiques des foraminifères planctoniques. Six missions océanographiques ont été effectuées entre Juin 2006 et Avril 2009, afin d'obtenir des observations saisonnières des faunes de foraminifères planctoniques dans le Golfe de Gascogne et des paramètres hydrologiques, tels que la température et la salinité. Des filets à planctons, des carottiers multitubes et des pièges à sédiments ont été déployés sur la marge continentale du Golfe de Gascogne, au niveau du Plateau des Landes. Les distributions temporelles des assemblages, ainsi que les valeurs isotopiques des tests des foraminifères planctoniques des filets à plancton, des pièges à sédiments et des sédiments seront comparées afin de mieux comprendre les variations saisonnières des assemblages, leurs liens avec les paramètres hydrologiques, leurs flux vers le fond océanique et les fractionnements isotopiques. L'objectif est d'arriver à une amélioration significative des marqueurs du paléoclimat, par une étude approfondie de l'écologie de ces organismes actuels du Golfe de Gascogne, en combinaison avec une modélisation.

5. Objectifs

Cette thèse s'intègre à la base du projet ANR FORCLIM, consistant en une étude poussée de l'écologie des foraminifères planctoniques dans les écosystèmes actuels du Golfe de Gascogne, à partir des filets à plancton.

Le **chapitre I** retrace l'état des connaissances sur l'écologie des foraminifères planctoniques, présente la zone d'étude et les matériels et méthodes utilisés au cours des cinq missions océanographiques investies entre Juin 2006 et Juillet 2008.

Ces cinq missions océanographiques reflétant des conditions hydrologiques différentes, nous permettent d'observer les variations verticales et spatiales des densités saisonnières des spécimens vivants et morts des foraminifères planctoniques, et leurs liens avec les paramètres hydrologiques (**Chapitre II**). Les variations des assemblages le long d'un transect bathymétrique allant de 2000 m à 145 m de profondeur dans le Golfe de Gascogne sont étudiées ainsi que les gammes de température, salinité, et oxygène dissout préférentielles et les profondeurs moyennes de vie pour chacune des espèces (**Chapitre III-partie A**). Une analyse des tailles des spécimens a été effectuée, afin d'observer d'éventuelles organisations des tailles dans la colonne d'eau et leurs liens avec les paramètres hydrologiques (**Chapitre III-partie B**).

Le but du **chapitre IV** consiste en un travail préliminaire sur les variations des flux de foraminifères planctoniques, par l'observation des assemblages des spécimens morts dans les filets à plancton. Cette étude sera complétée par les données de deux pièges à sédiments déployés de Juin 2006 à Juillet 2008 en Station WH, ce qui permettra une plus large connaissance du flux exporté de foraminifères planctoniques. Ces pièges sont en cours d'investigation (Kuhnt et al., 2009).

Les canyons jouent un rôle important dans l'écosystème à l'échelle régionale. Ce sont des régions de grandes diversités spécifiques et de productivité biologique importante (Hickey, 1997) attirant les activités de pêche.

Au cours de 3 des 5 missions océanographiques, des stations situées dans le canyon de Cap Breton ont été échantillonnées. Les densités et les assemblages de ces stations sont comparés dans le **Chapitre V**, avec les autres stations. Et nous permettra de mieux comprendre les influences côtières sur les faunes de foraminifères planctoniques et de confirmer nos observations antérieures.

Au cours d'une des missions océanographiques, une station a pu être prélevée deux fois, à quatre jours d'intervalle, durant lesquels une tempête s'est abattue dans la zone d'étude, nous permettant d'analyser l'impact d'une tempête sur la faune de foraminifères planctoniques (**chapitre VI**).

Des études isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ ont été effectuées sur les tests de trois espèces : *G. bulloides*, *G. inflata* et *N. pachyderma* dextre, afin d'observer les variations saisonnières de

leurs compositions isotopiques, de considérer s'il s'agit des mêmes populations ou de générations différentes entre les différentes périodes et d'estimer leurs profondeurs de calcification dans la colonne d'eau (**Chapitre VII**).

Cette thèse a été financée par la Région des Pays de la Loire, sous un contrat à durée déterminée de 3 ans, débutant au 7 Octobre 2006.

CHAPITRE I

CONTEXTE DE L'ETUDE

1. Généralités sur les foraminifères planctoniques

Exclusivement marins, appartenant au microzooplancton, les foraminifères planctoniques sont des organismes unicellulaires appartenant au règne des protistes. Ils construisent un test carbonaté, enroulé et constitué de plusieurs chambres, en prélevant les éléments nécessaires dans l'eau de leur environnement de vie.

La bonne préservation de leurs tests dans le sédiment, ainsi que leur forte corrélation avec les distributions latitudinales des températures de surface (Bé et Tolderlund, 1971) en font de très bons indices de paléotempératures. De plus, la calcification de leur test dans la colonne d'eau font de leurs tests d'excellents traceurs géochimiques de la colonne d'eau et des circulations océaniques (Hemleben et al. 1989; Schiebel et Hemleben, 2005).

1.1. Evolution

« La question sur l'origine de ces formes planctoniques est fondamentale pour comprendre correctement l'histoire géologique de ces organismes » (Hemleben et al., 1989). Les foraminifères apparaissent à l'Ordovicien, peut-être même dès le Cambrien, sous la forme d'agglutinés benthiques.

Les premières étapes du cycle de vie de certaines espèces foraminifères benthiques actuels peuvent s'effectuer sous l'état planctonique, redevenant rapidement benthiques après ce stade (Darling et al., 1997). Ces observations étaieraient l'idée qu'au cours du Jurassique inférieur (Toarcien), une partie de ces foraminifères benthiques ait pu prolonger le stade de vie planctonique, pour ne jamais plus revenir au stade benthique (BouDagher-Fadel et al., 1997 ; Hart et al., 2003). Les foraminifères planctoniques vont alors se répandre au Crétacé supérieur dans des eaux de plus en plus profondes (BouDagher-Fadel et al., 1997). Ils deviennent alors exclusivement marins, à la différence des foraminifères benthiques pouvant supporter des environnements sténohalins.

Grâce aux progrès des loupes binoculaires, d'Orbigny décrit pour la première fois les foraminifères en 1826, mais en tant que céphalopodes. Il fallut attendre la fin du XIX^{ème} siècle avec Brady (1884) et Murray (1897) pour déterminer leur caractère protiste et les différencier des céphalopodes, conclusion qui sera appuyée par les critères biologiques observés par Rhumbler en 1911.

Les successeurs de d'Orbigny comme Ehrenberg (1861, 1873), Carpentier et al. (1862) et Parker et Jones (1965) étudièrent les sédiments profonds en Atlantique Nord, mais

considèrent encore les foraminifères comme appartenant tous au monde benthique. Seul Owen (1867) remarqua la présence de certains spécimens dans des filets à plancton, mais ses travaux furent ignorés jusqu'à l'expédition *Challenger* (1872-1876) qui confirma ses observations. Cependant, Brady (1884) continua à défendre l'idée d'un cycle de vie exclusivement benthique des foraminifères. Ce n'est qu'au début du XX^{ème} siècle que les foraminifères furent reconnus par tous comme ayant deux modes de vie distincts, l'un benthique, l'autre planctonique.

1.2. Biogéographie et écologie

La majorité des études géologiques du XIX^{ème} siècle et du début du XX^{ème} utilisait essentiellement ces organismes en tant qu'outil biostratigraphique. Depuis maintenant près d'un siècle, ils sont aussi étudiés pour « leurs liens aux conditions climatiques en géologie » (e.g. Phillipi, 1910). Mais leur écologie ne fut abordée de façon quantitative qu'en 1935 par Schott. L'environnement contenant les foraminifères planctoniques est très complexe et sa description inclut de nombreux paramètres comme la température, la salinité, la profondeur de mélange de la colonne d'eau, la turbidité, la composition nutritive, le type et l'abondance de proie (Hemleben et al., 1989; Kemle-von Mücke et Hemleben, 1999), marquant le fort lien entre les foraminifères planctoniques et les paramètres hydrologiques.

1.2.1. Nutrition et mode de vie symbiotique des foraminifères planctoniques

Le plancton est le premier maillon de la chaîne alimentaire marine. Il est principalement constitué du phytoplancton (dinoflagellés, diatomées, coccolithes), du microzooplancton et mésozooplancton (foraminifères, ostracodes, radiolaires) et du macrozooplancton (copépodes, annélidés, tinitidés, cnidaires), ainsi que du necton (Bougis, 1974 ; Jacques, 2006). De façon très simplifiée, la chaîne alimentaire suivrait les critères de taille des espèces : le macrozooplancton se nourrit du microzooplancton et ces derniers du phytoplancton. Le règne supérieur du plancton, c'est à dire le necton, se nourrissant du plancton. Cette théorie s'avère inexacte pour les foraminifères. En effet, en laboratoire, des cultures de foraminifères planctoniques ont permis de connaître leur comportement alimentaire selon les espèces (Anderson et al., 1979 ; Caron et Bé, 1984 ; Hemleben et al., 1989) (Tableau I-1). On peut s'étonner de voir un organisme unicellulaire capable de digérer des algues eucaryotes (diatomées, dinoflagellés, chrysophytes), des tissus musculaires, des tintinnidés ou même des copépodes (Anderson et al., 1979; Spindler et al., 1984 ; Hemleben et al., 1989). Spindler et al. (1984) notèrent que les espèces à épines telles que *G. sacculifer*, *G. ruber* ou *O. universa*

auraient tendance à être carnivores. Les espèces sans épines seraient en revanche, plutôt omnivores, leur nourriture étant principalement constituée de diatomées. Elles seraient néanmoins capables de digérer des copépodes. Malheureusement, les expériences de culture en laboratoire induisent un stress qui ne peut être quantifié, et cette capacité à se nourrir de copépodes peut être liée à leur adaptabilité pour leur survie. De plus, les espèces communément étudiées en laboratoire sont restreintes aux espèces les plus faciles à conserver, c'est-à-dire *G. sacculifer*, *G. ruber*, *O. universa*, *G. siphonifera* et *H. pelagica* (e.g. Bé et al., 1982 ; Spindler et al., 1984 ; Bijma et al., 1990b ; Spero, 1992 ; Mashiotta et al., 1997).

	<i>G. sac-</i> <i>culifer*</i>	<i>G. siphoni-</i> <i>fera</i>	<i>O. universa</i>	<i>G. ruber</i>	<i>H. pelagica</i>	
No. of obser- vations	1124	812	198	456	207	625
% of speci- mens with prey	17.0	29.6	26.8	36.0	24.6	43.2
Copepods	44.0	45.4	47.2	41.5	39.2	**
Ciliates (ex.tintinids)	3.1	10.8	7.5	10.4	3.9	
Tintinids	23.6	16.7	22.6	23.2	15.7	
Tunicates	6.3	2.1	-	1.8	2.0	
Pteropods	1.0	2.5	1.9	-	2.0	
Chaetognaths	0.5	1.3	1.9	-	-	
Radiolarians	6.8	2.5	5.7	1.2	3.9	
Crustacean & Polychaete larvae	2.1	4.2	5.7	4.9	7.8	
Ostracods	0.5	0.8	-	-	2.0	
Siphonophores	1.0	-	-	-	-	
various eggs	-	-	2.1	5.5	9.8	
undeterminable	11.0	11.7	7.5	11.6	13.7	

* First column: *G. sacculifer*, data from Caron and Bé, 1984.

** Only copepods and their identifiable remains were counted which comprised more than 90% of food items identified in *H. pelagica*. Larval stages of different taxonomic origin, tintinnids and tunicates were encountered rarely.

Tableau I-1: Part alimentaire des organismes (%) dans le régime de plusieurs foraminifères élevés en laboratoire (d'après Hemleben et al., 1989 ; Caron et Bé, 1984).

1.2.2. Mode de vie en symbiose

Les premières observations de présence d'algues dans les cellules de foraminifères planctoniques furent reportées par Rhumbler (1911), mais leur présence en temps que symbionte ne fut reconnue que récemment (e.g. Lee et al., 1965 ; Anderson et Bé, 1976 ; Bé et al., 1977 ; Spindler et Hemleben, 1980). La présence d'algues dans le cytoplasme ou nageant autour des rhizopodes ne permet pas de conclure de façon certaine à un mode de vie symbiotique avec ces algues, celles-ci pouvant aussi être liées au régime alimentaire du foraminifère.

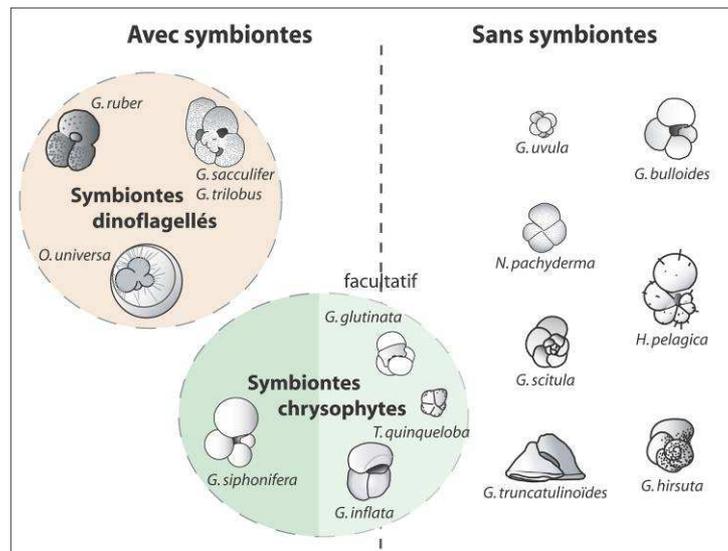


Figure I-1: Schéma de la relation espèces/symbiontes, pour les espèces observées dans le Golfe de Gascogne (données compilées de Hemleben et al., 1989 et Ortiz et al., 1995).

Depuis quelques décennies, certaines espèces de foraminifères sont reconnues comme vivant de façon permanente en symbiose avec des dinoflagellés ou chrysophytes (Figure I-1 et Figure I-2). En revanche, d'autres espèces ne présentent jamais de symbionte (Spero, 1987 ; Faber et al., 1988 ; Hemleben et al., 1989 ; Schiebel et Hemleben, 2005). Certaines espèces ont été décrites avec et sans symbiontes, telles que *T. quinqueloba* et *G. inflata* (Ortiz et al., 1995 ; Hemleben et al., 1989 ; Annexe D).

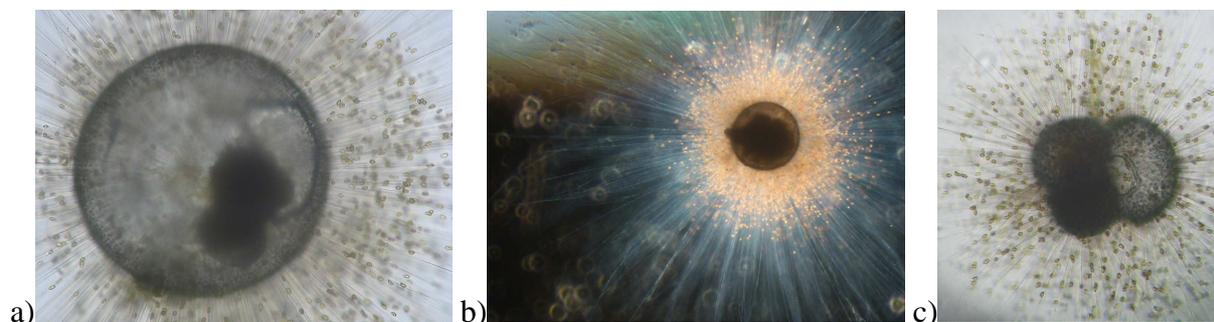


Figure I-2: Photographie, sous binoculaires par diffusion de lumière, de foraminifères planctoniques portant des symbiontes a) et b) *O. universa* et c) *G. ruber* (photos de Fabien Lombard).

1.2.3. Répartition spatiale

D'un point de vue historique, ce ne fut qu'une fois le mode de vie planctonique établi d'une partie des espèces de foraminifères que leur large répartition spatiale fut mieux comprise. En 1897, Murray suggère un provincialisme de la plupart des espèces lié aux climats, et donc aux variations latitudinales de températures. Ce n'est que 80 ans plus tard que 5 assemblages d'espèces de foraminifères planctoniques, correspondant à 5 provinces sont proposés (Bé et Tolderlund, 1971; Bé, 1977 ; Boltovskoy et Wright, 1976) : tropicale, subtropicale,

transitionnelle, subpolaire et polaire (Figure I-3). La définition de ces provinces correspond à une zonation climatique, par conséquent elles sont directement corrélées aux températures de surface, la salinité, l'intensité lumineuse et aux courants océaniques.

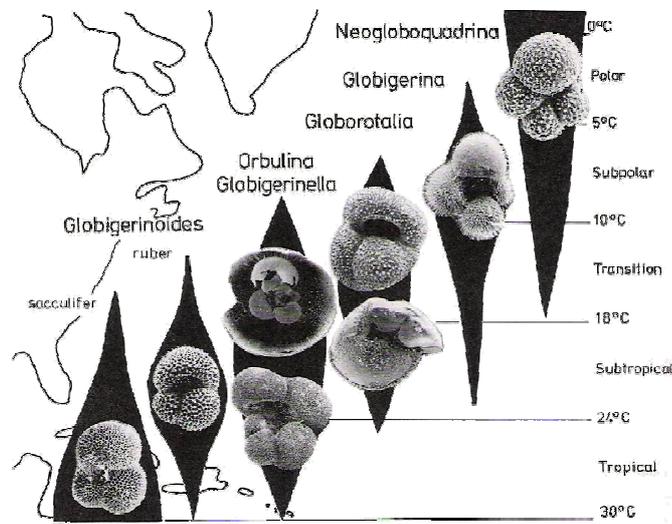


Figure I-3 Distribution schématique des foraminifères planctoniques actuels en Atlantique Nord (Hemleben et al., 1989).

Ultérieurement, les régions d'upwelling ont été étudiées, informant sur l'importance des nutriments et donc de la productivité dans la répartition des espèces (e.g. Boltovskoy, 1968 ; Cifelli et Smith, 1970 ; Thiede, 1971 ; Fairbanks et Wiebe, 1980 ; Sautter et Sancetta, 1992 ; Ortiz et al., 1995 ; Conan et Brummer, 2000 ; Schiebel et al., 2001 ; Schiebel et al., 2004 ; Schiebel et Hemleben, 2005 ; Salgueiro et al., 2008). En effet, dans ces zones de forte productivité primaire, certaines espèces, telles que *G. bulloides* et *G. ruber* semblent réagir très positivement à ces conditions particulières (e.g. Schiebel et al., 2004).

La répartition globale des foraminifères est bien connue en océan ouvert. En revanche, elle l'est moins le long des côtes, entre le plateau continental et la plaine abyssale. Seules quelques études côtières existent : Phleger (1954, Golfe du Mexique), Saidova (1957, Mer d'Okhotsk), Lipps et Warme (1966, Mer d'Okhotsk), Bandy et al. (1965, Embouchure du fleuve Hyperion, Californie), Lidz (1966, Newport Beach, Californie), Boltovskoy (1970), Parker (1973, Golfe de Californie), Ortiz et al. (1995 et 1996, courant de Californie), Schmucker et Schiebel (2002, Mer Caraïbe), Brunner et Biscaye (2003, Middle Atlantic Bight). Ces études observent de faibles densités dans les zones côtières, et remarquent la présence préférentielle d'espèces telles que *G. bulloides*, *T. quinqueloba*, *N. pachyderma*, *O. universa* et *G. uvula* dans ces zones (Boltovskoy, 1970).

L'acquisition de telles données en milieu naturel étant complexe, des expériences en culture ont été mises en place afin d'observer leur comportement et de tester l'influence des

paramètres hydrologiques sur leur développement (e.g. Bé, 1977 ; Anderson et al., 1979; Spindler et al., 1984 ; Bijma et al., 1990a).

1.2.4. Répartition verticale

La répartition des foraminifères planctoniques dans la colonne d'eau est très large. La profondeur moyenne de vie varie selon l'espèce et se disperse entre les premiers mètres jusqu'à 400 m, la majorité des espèces vivant dans la zone photique (e.g. Murray, 1897 ; Lohmann, 1920 ; Schott, 1935 ; Boltovskoy, 1964 ; Bé, 1960 ; Berger, 1970 ; Bé et Tolderlund, 1971), notamment entre 10 et 50 mètres de profondeur (Bradshaw, 1959 ; Berger, 1971). Seules quelques espèces plongeraient jusqu'à plusieurs milliers de mètres, leur abondance décroissant exponentiellement (Berger, 1971 ; Bé, 1977), comme *Globorotalia truncatulinoides* qui a été fréquemment observée vivante sous 2000 m de profondeur (Schiebel et Hemleben, 2005 ; Figure I-4). Cette concentration près de la surface démontre une dépendance à la production primaire et à la présence de symbiotes de certaines espèces (e.g. Bé, 1977 ; Hemleben et al., 1989 ; Ortiz et al., 1995). Les espèces portant des symbiotes, dépendantes de la lumière, vivent dans la zone euphotique. Les espèces ne portant pas de symbiotes peuvent vivre sous la zone photique (Schiebel et Hemleben, 2005). Bé (1977) a distingué 3 groupes d'espèces en fonction de leur profondeur de vie : de surface (0-50 m), d'eaux intermédiaires (50-100 m) et d'eaux profondes (>100 m). Cette distribution est aujourd'hui communément utilisée comme référence pour les études des foraminifères fossiles récents.

1.2.5. Variations saisonnières

Bé (1960) fut le premier à relater une variation saisonnière des assemblages de foraminifères planctoniques. En effet, les espèces se succèdent en fonction des variations de température, de l'intensité lumineuse, des nutriments et de la salinité au cours des saisons dans les hautes à moyennes latitudes, avec une apparition d'espèces chaudes en été et froides en hiver. De ce fait des suivis saisonniers ont été effectués avec des pièges à particules (e.g. Cifelli, 1965 ; Bé et Hamlin, 1967 ; Schiebel et al., 2001 ; Conan et al., 2002 ; Kuroyanagia et al., 2002 ; Eguchi et al., 2003 ; Yamasaki et al., 2008) et des filets à plancton (e.g. Oberhänsli et al., 1992 ; Schiebel et Hemleben, 2000 ; Schiebel et al., 2001 ; Yamasaki et Oda, 2003 ; Kuroyanagia et al., 2004 ; Schiebel et al., 2004), afin d'évaluer les préférences hydrologiques et nutritives de chaque espèce. Ils y observent des variations saisonnières importantes des densités des foraminifères planctoniques et des assemblages spécifiques pour chacune des saisons. La

description de ces variations saisonnières dans les archives sédimentaires permet de reconstituer la paléocéanographie et paléoclimatologie (e.g. Shackleton, 1974 ; Fisher et Wefer, 1999 ; Henderson, 2002 ; Peeters et al., 2002 ; Rohling et al., 2004 ; Barker et al., 2009).

1.2.6. Cycles de vie

Au cours de leur cycle de vie, les foraminifères planctoniques peuvent changer leur profondeur d'habitat en faisant varier leur flottaison (Hemleben et al., 1989). Les foraminifères juvéniles vivaient préférentiellement dans les eaux profondes (Hemleben et al., 1989). Au cours de leur développement, ces foraminifères migrent vers des eaux moins profondes pour se reproduire. Au cours de la phase reproductive, la gamétogenèse (mode de reproduction unique chez les foraminifères planctoniques, à la différence des benthiques), les individus reproducteurs meurent et chutent vers le fond de l'océan : une nouvelle génération vient de naître. La longueur du cycle semble varier en fonction des espèces (Figure I-4). Par exemple, l'espèce *G. truncatulinoides* aurait un cycle d'un an environ, alors que *G. bulloides* aurait un cycle d'environ un mois (Hemleben et al., 1989; Schiebel et al., 1997 ; Schiebel et Hemleben, 2005).

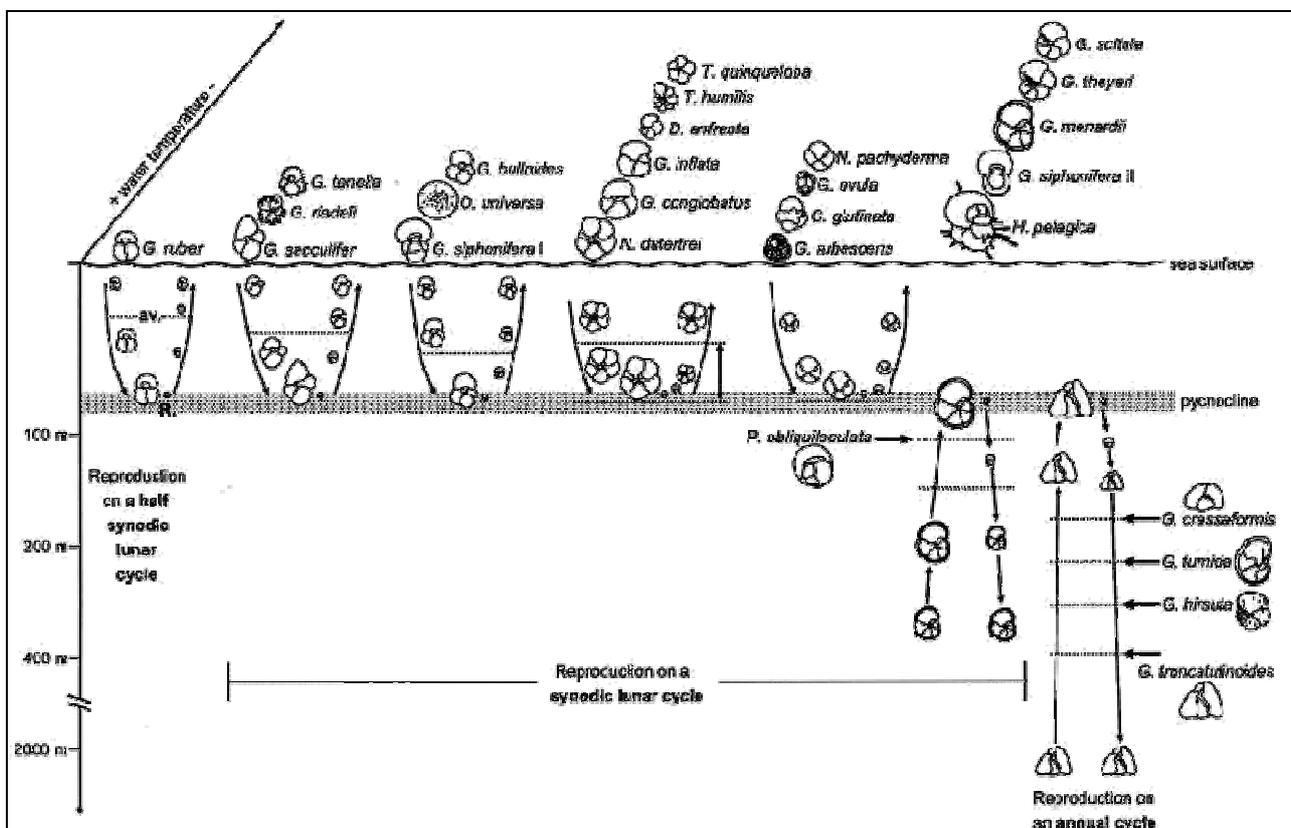


Figure I-4 : Cycles de vie supposés de certaines espèces de foraminifères planctoniques en fonction de leurs latitudes de vie, dans l'océan ouvert, d'après Schiebel et Hemleben, 2005.

Plusieurs scientifiques s'accordent à dire que certaines espèces de foraminifères planctoniques seraient influencés par la lune et associeraient leur cycle de reproduction aux différentes phases de lunaison, telles que *H. pelagica* et *G. bulloides* (Spindler et al., 1979; Bijma, 1990b; Erez et al., 1991; Schiebel et al., 1997; Lončarić et al., 2005). La longévité des foraminifères serait alors de plusieurs phases de lunaisons. Aucune donnée directe ne nous informe sur la longévité des foraminifères planctoniques. En effet, aucune reproduction en laboratoire n'a pu encore être obtenue, à la différence des foraminifères benthiques (e.g. Barras et al., 2009).

Les données de culture ne donnent, pour le moment, qu'une information sur leur durée de « résistance » ou « survie » allant de quelques jours à plusieurs mois, ainsi que les données *in situ* (e.g. Adshear, 1967 ; Berger et Soutar, 1967 ; Bé et al., 1977 ; Spindler et al., 1984 ; Hemleben et al., 1989 ; Schiebel et al., 1997; Bemis et al., 2000).

2. Zone d'étude – Le Golfe de Gascogne

2.1. Généralités et héritage géologique du Golfe de Gascogne

Le Golfe de Gascogne se situe entre 49°N et 43,5°N de latitude, entre les 1^{er} et 9^{ème} méridiens Ouest (Figure I-5). Au large de la France, le plateau continental est plus large que celui de l'Espagne, il s'étend jusqu'à plus de 200 km de la côte au niveau de l'île de Ré (latitude N46°12'). Cette morphologie est héritée de la subduction de la croûte océanique Aquitaine sous la croûte continentale Ibérique lors de la collision pyrénéenne au cours de l'Eocène, raccourcissant ainsi le plateau continental espagnol (Boillot, 1979; Thinon et al., 2001).

La faille Nord Pyrénéenne, zone de heurt entre les Plaques Ibérique et Aquitaine, marque profondément le fond du Golfe de Gascogne le long duquel se forme un canyon : le Canyon de Cap Breton. Cette faille, couplée avec la faille située plus au Nord du Canyon de Cap Ferret, étirèrent le plateau continental pour façonner le Plateau des Landes.

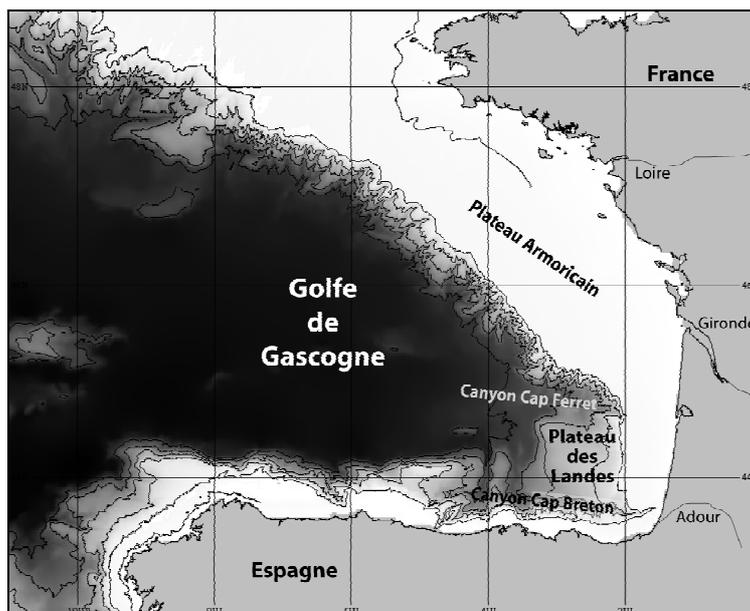


Figure I-5 : Carte bathymétrique du Golfe de Gascogne.

2.2. Contexte hydrographique du Golfe de Gascogne

2.2.1. Circulation de surface

La circulation générale du Golfe de Gascogne (Figure I-6) se définit par une circulation cyclonique de surface appartenant à la gyre Nord-Atlantique. La branche Sud de la dérive Nord-Atlantique circule vers le Sud-Est au large de la Bretagne et transite dans le Golfe de Gascogne le long du talus du plateau continental. Ce courant rejoint ensuite le courant du Portugal après avoir longé les côtes espagnoles (Koutsikopoulos et Le Cann, 1996; Bode et al., 2002). Cette boucle provoque l'apparition de gyres anticycloniques et cycloniques dans la partie centrale du Golfe appelées SWODDIES (Slope Water Oceanic Eddies; Pingree et Le Cann, 1990 et 1992; Serpette et al., 2006). Ces gyres se déplacent lentement (2 km/jour) vers l'Ouest (Pingree et Le Cann, 1992). La circulation résiduelle sur le plateau, près des côtes, est le résultat de plusieurs facteurs dont l'entraînement par le vent et les courants de marées. On constate alors un courant côtier Sud-Nord permanent, parallèle à la côte. Le long du talus continental, les courants sont généralement orientés vers le Nord (Pingree et Le Cann, 1990). Entre ces deux courants, une circulation saisonnière, dépendant des mouvements atmosphériques, se met en place : 1) en automne et en hiver, les courants poussent les eaux vers le Sud ; 2) au printemps et en été, les eaux de surface se dirigent plutôt vers le Nord (Barthe et Castaing, 1989 ; Pingree et Le Cann, 1990).

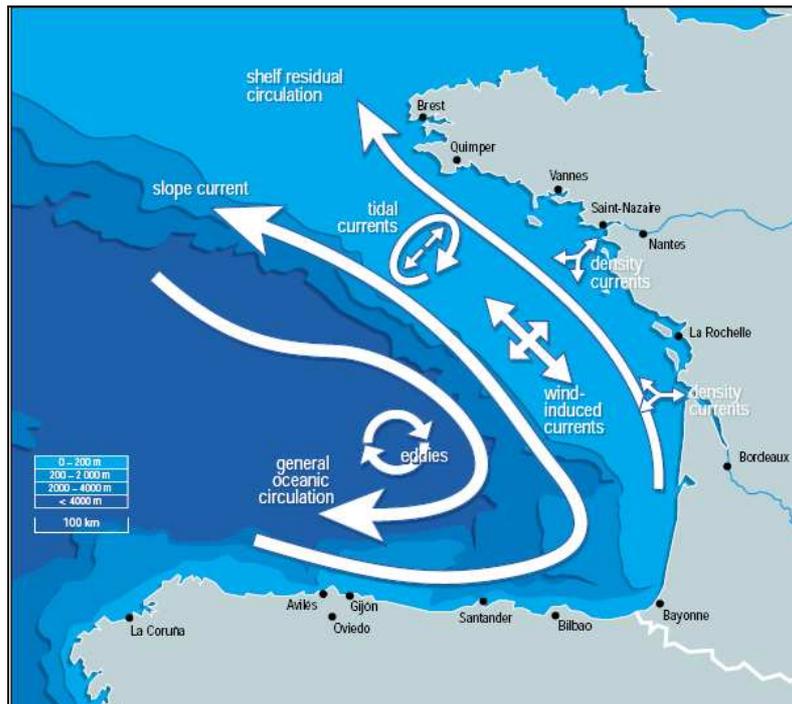


Figure I-6 : Schéma de la circulation de surface dans le Golfe de Gascogne (Koutsikopoulos et Le Cann, 1996).

Aux alentours de Noël, un courant de surface provenant du large de la pointe Ibérique pénètre parfois dans le Golfe de Gascogne (Figure I-7). Ces eaux chaudes et salées par rapport aux eaux résidantes, s'écoulent le long du talus continental et rencontrent des accidents topographiques, (canyons et caps) qui les déstabilisent (Pingree et Le Cann, 1992 ; Le Cann et Serpette, 2009). Ce courant chaud nommé « Navidad » est le prolongement de l'Iberian Poleward Current dans le Golfe de Gascogne (Pingree et Le Cann, 1992 ; Garcia-Soto et al., 2002 ; Le Cann et Serpette, 2009). Ces intrusions salines ont une grande variabilité temporelle (Pingree et Le Cann, 1990; Varela, 1996 ; Garcia-Soto et al., 2002) et sont de grande importance dans le transport de particules (Valdés et al., 2007).

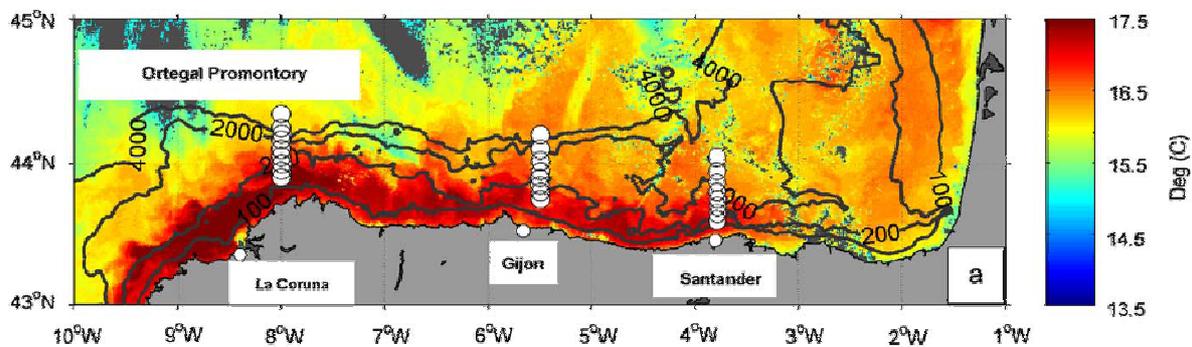


Figure I-7 : Evidence satellitaire d'un courant chaud de surface le long de la côte espagnole à la fin de l'année 2006 ; Image NOAA15 AVHRR Channel 4 (Température), du 29 Novembre 2006 (Le Cann et Serpette, 2009).

2.2.2. Masses d'eaux

Sous la couche de mélange (0-100 m), la branche Est du courant Nord Atlantique (ENACW, Eastern North Atlantic Central Water) forme les 600 premiers mètres de la colonne d'eau. Entre 600 et 1300 m environ, une eau d'origine Méditerranéenne, appelée MOW (Mediterranean Outflow Water) est caractérisée par une eau de forte salinité (>36) et une faible teneur en oxygène dissout (Koutsikopoulos et Le Cann, 1996; van Aken, 2000). Sous 1300 m se trouve la NEADW (Northeast Atlantic Deep Water) jusqu'à 3000 m (Durrieu et al., 1999; van Aken, 2000).

2.2.3. Influence des fleuves

Le plateau continental français est caractérisé par des apports importants d'eaux douces, notamment de la Loire et de la Gironde. Leurs débits moyens respectifs sont de $900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et $1100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, avec des crues hivernales allant de $5000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en Février et environ $3250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au printemps en Gironde et jusqu'à $6000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour l'estuaire de la Loire (Loyer, 2001 ; Schäfer et al., 2002). L'étiage s'enregistre en été avec un débit proche de $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Schäfer et al., 2002).

A moindre échelle, d'autres cours d'eau peuvent entraîner un apport d'eau douce important. Par exemple, dans notre zone d'étude, le Plateau des Landes peut être sous l'influence du fleuve Adour débouchant à Bayonne. Son débit moyen est de $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Brunet et Astin, 1999). Le débit de ce fleuve ainsi que ses affluents présentent une forte variation saisonnière (Coynel et al., 2005). La crue hivernale de l'Adour peut excéder $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, maintenue sur quelques jours en hiver et printemps (Gil et Sanchez, 2000). En général, les panaches d'eaux douces sont balayés par le courant résiduel remontant les côtes vers le Nord, tels que ceux de l'Adour, la Gironde ou la Loire (Lazure et Jégou, 1998 ; Jégou et al., 2001 ; Lunven et al., 2005). Cependant, de forts vents peuvent forcer une dispersion vers le Sud (Froidefond et al., 1996, 2002 ; Puillat et al., 2004).

Ces fortes décharges d'eaux douces peuvent porter une concentration significative en nutriments d'origine continentale, déclenchant une augmentation de production primaire dans les eaux environnantes (Puillat et al., 2004 ; Kelly-Gerreyn et al., 2006a et 2006b).

2.3. Variations saisonnières

Comme à toutes les moyennes latitudes, le Golfe de Gascogne est soumis au rythme climatique saisonnier. En hiver, les apports fluviaux sont faibles, les eaux sont bien mélangées et relativement riches en nutriments (Varela, 1996). Sur le plateau continental français, les

vents forts homogénéisent la salinité et la température sur toute la colonne d'eau. Une stratification haline se met en place lorsque les débits sont forts et par vents de secteur NW à E. Les eaux fluviales se répandent sur le plateau et sont détournées vers le Nord par géostrophie (Lampert, 2001 ; Figure I-8).

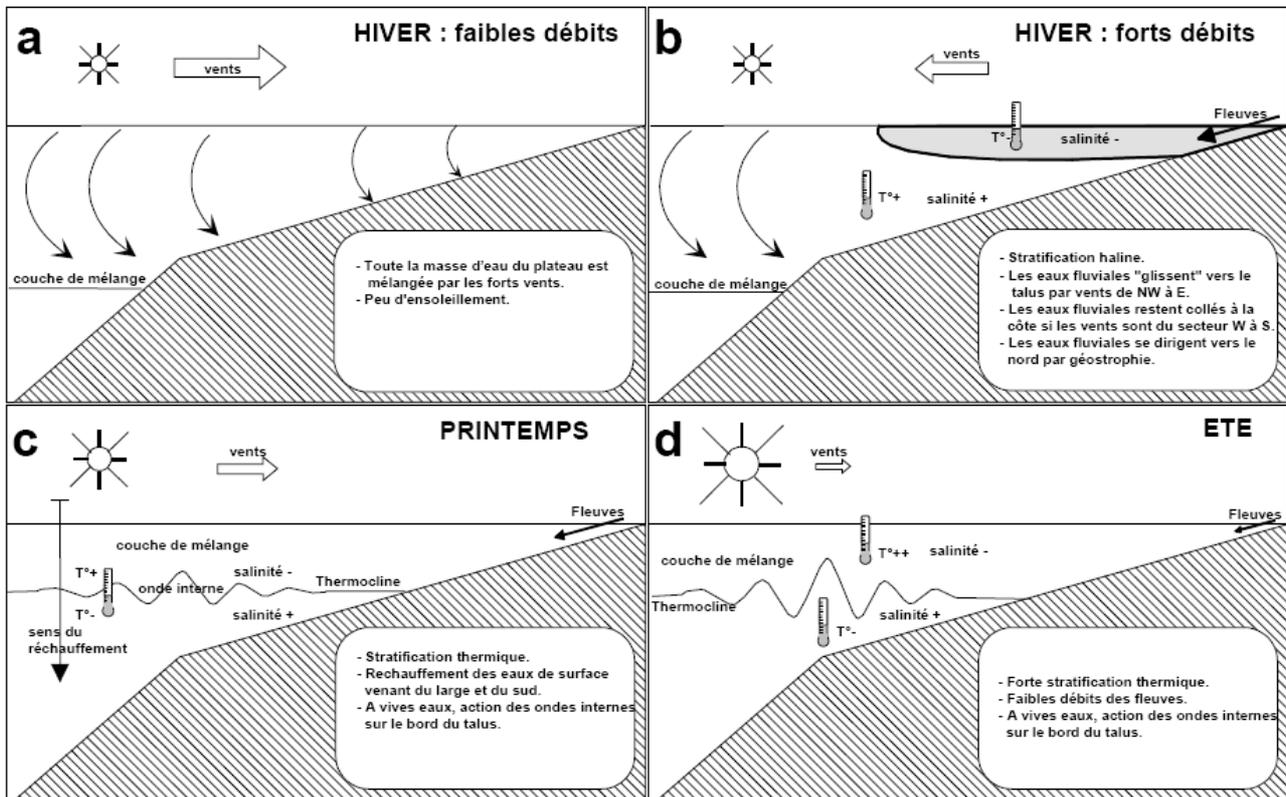


Figure I-8: Schéma de fonctionnement du Plateau Continental Atlantique Français avec les forçages physiques et météorologiques (Lampert, 2001).

Au printemps, la température de surface augmente engendrant une faible stratification thermique. La hausse de l'intensité et de la durée de l'éclairement solaire déclenchent la floraison phytoplanctonique printanière. Sur le plateau continental, les crues printanières des fleuves créent une stratification haline agissant comme une barrière entre les eaux de surface et le fond (Lampert, 2001 ; Puillat et al., 2004).

De Mai à mi-Septembre, une forte stratification thermique se met en place formant une thermocline jusqu'à environ 50 m de profondeur. Le maximum de chlorophylle-*a* est enregistré à la base de la zone euphotique, proche de la pycnocline (Laborde et al., 1999). Au niveau du talus, lorsque la thermocline est installée, des ondes internes générées par fort coefficient de marée, peuvent provoquer des ondulations de la thermocline remettant en suspension des particules et permettant des injections d'eaux profondes riches en nutriments

vers les couches de surface (Durrieu et al., 1999). Ce processus peut stimuler la production primaire sur le talus et la zone du plateau externe.

De Septembre à mi décembre, une érosion progressive de la thermocline se fait par action du vent et diminution de la température de surface. La colonne d'eau se mélange totalement à partir de Novembre (Lampert, 2001 ; Puillat et al., 2004).

2.4. Cycle du plancton dans le Golfe de Gascogne

2.4.1. Cycle du phytoplancton dans le Golfe de Gascogne

Le Golfe de Gascogne est soumis au rythme saisonnier affectant le plancton. Le phytoplancton y est essentiellement composé de coccolithophoridés (Beaufort et Heussner, 1999 ; Wollast et Chou, 2001). Les coccolithophoridés, retrouvés en grande quantité toute l'année, montrent une variation saisonnière de leur composition spécifique (Beaufort et Heussner, 2001 ; Lampert, 2001). Les autres groupes importants dans le Golfe de Gascogne sont les diatomées et les silicoflagellés (dinoflagellés). Ces deux groupes, contrairement aux coccolithophoridés, ont une variation saisonnière très importante (Beaufort et Heussner, 2001). Quatre saisons écologiques peuvent être différenciées (Figure I-9) :

1) En hiver, les eaux sont mélangées et riches en nutriments, mais la faible intensité lumineuse entraînent une faible productivité du plancton (Obata et al., 1996 ; Longhurst, 1998). Cette période connaît les premiers pics d'abondance de diatomées et de silicoflagellés courant Janvier-Février (Beaufort et Heussner, 1999).

2) Au printemps, les eaux sont riches en nutriments et connaissent une augmentation de la durée de l'intensité lumineuse et d'une plus forte intensité, facilitant la production primaire et l'avènement de bloom (Tréguer et al., 1979). La communauté phytoplanctonique change, partant d'un assemblage hivernal constitué essentiellement de coccolithophoridés et de diatomées à un assemblage printanier plus diversifié composé toujours de coccolithophoridés, et de diatomées (jusqu'à 30% de la biomasse (Lampert, 2001)), mais aussi de silicoflagellés (Herbland et al., 1998 ; Beaufort et Heussner, 1999 et 2001 ; Lampert, 2001). La stratification haline engendrée par les crues aux abords des estuaires, associée à l'augmentation de la luminosité peut induire un bloom de phytoplancton côtier (Labry et al., 2001 ; Loyer et al., 2006).

3) L'épuisement rapide par le bloom printanier du stock initial de nutriments dans la couche de surface, associé à la mise en place d'une stratification thermique, engendre en été un essoufflement de la production primaire. Malgré ces conditions générales néfastes, des phénomènes d'upwelling côtiers peuvent s'initier sur le plateau continental (Froidefond et al.,

1996), apportant de nouveaux nutriments, engendrant des blooms de coccolithes et plus rarement de diatomées (Holligan et al., 1983 ; Fernandez et al., 1991 ; Beaufort et Heussner, 1999).

4) La destruction progressive de la stratification thermique permet une recrudescence de nutriments dans les eaux de surface et provoque une augmentation de la production planctonique de silicoflagellés (Tréguer et al., 1979 ; Longhurst, 1998 ; Lampert, 2001 ; Marquis et al., 2007) pouvant être essentiellement côtière (Puillat et al., 2004 ; Lunven et al., 2005 ; Guillaud et al., 2008).

2.4.2. Cycle du zooplancton dans le Golfe de Gascogne

La majorité du zooplancton est constitué de copépodes (Poulet et al., 1996 ; Valdès et al., 2007 ; Albaina et al., 2007). Leur quantité peut atteindre plus de 90% du zooplancton au printemps, constitué principalement de *Oithona similis*. Au début de l'été, la quantité et la diversité du zooplancton augmente avec environ 49% de copépodes, 20,8% d'appendiculaires, 16,4% de larves de lamellibranches et 10% de *Cyclopoida* (Figure I-9) (Poulet et al., 1996). En automne, les copépodes redeviennent largement dominants, constituant plus de 67% de l'assemblage (Poulet et al., 1996) constitué essentiellement de *Acartia clausi* et le groupe le plus abondant *Oncaea* spp. (Albaina et al., 2007). Le zooplancton est aussi composé de *Cyclopoida* (14%) et de larves de lamellibranches (9%) (Poulet et al., 1996).

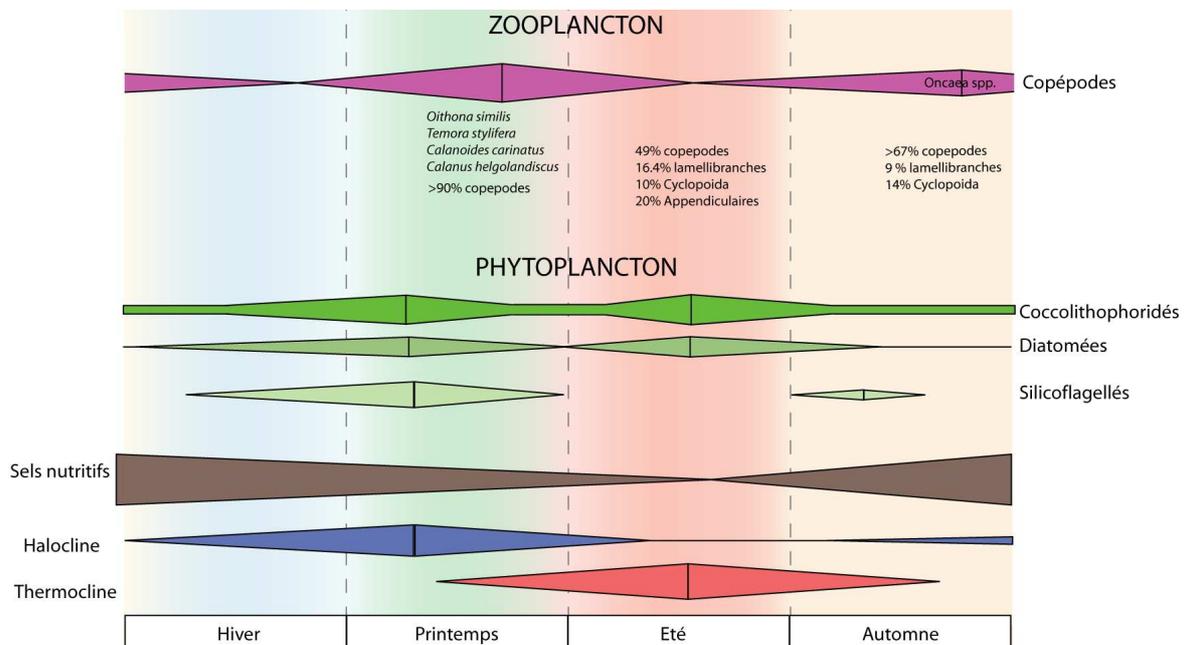


Figure I-9: Synthèse de l'évolution saisonnière des abondances du phytoplancton et du zooplancton, ainsi que de la structure et teneur en nutriments de la colonne d'eau dans le Golfe de Gascogne (compilation des observations de Poulet et al., 1996 ; Beaufort et Heussner, 1999 ; Lampert, 2001 ; Lavender et al., 2004 et Albaina et al., 2007).

2.5. Zone d'étude – Le Plateau des Landes et le canyon de Cap Breton

Le Plateau des Landes, situé au Sud Est du Golfe de Gascogne, s'étale entre 800 et 3000 m de profondeur. Il est délimité par deux canyons sous-marins ; le canyon de Cap Ferret au Nord et de Cap Breton au Sud (Figure I-10). Ce dernier, l'un des plus grands canyons sous-marins d'Europe s'étendant sur 300 km de long et jusqu'à 32 km de large, est un canyon actif (Mulder et al., 2001 ; Hess et Jorissen, 2009). Le Plateau des Landes est sous l'influence des trois masses d'eaux décrites précédemment. La figure I-11 schématise le transect étudié dans cette thèse et la position relative des masses d'eaux ENACW, MOW et NEADW.

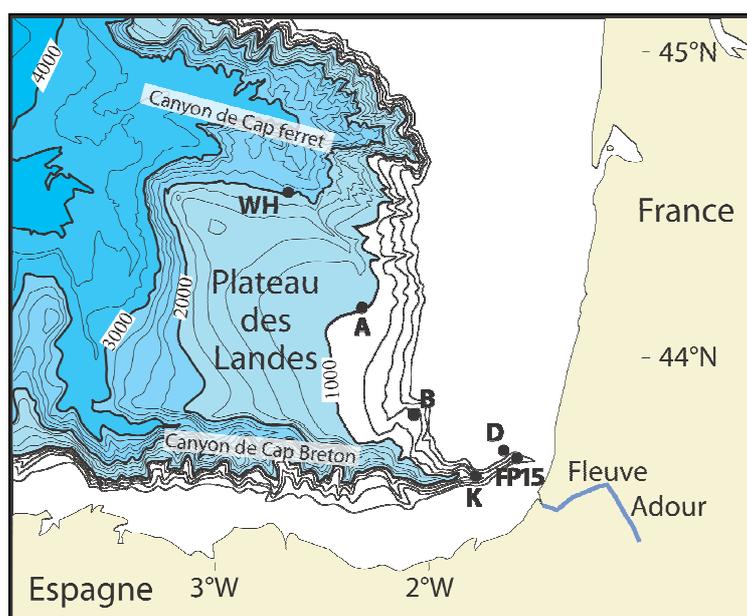


Figure I-10: Carte bathymétrique du Plateau des Landes et localisation des six stations étudiées.

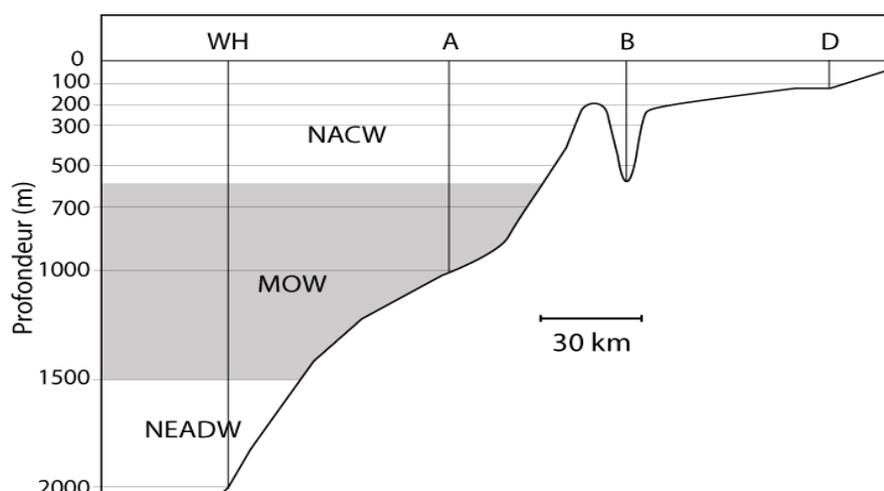


Figure I-11: Profondeurs des différentes masses d'eaux (ENACW, MOW et NEADW) dans notre zone d'étude, le long d'un profil bathymétrique entre les Stations WH, A, B et D.

En surface, une gyre cyclonique peut se développer au dessus du Plateau de Landes (Serpette et al., 2006). De plus, l'extension maximale du courant de la Navidad dans le Golfe de Gascogne peut atteindre le Plateau des Landes (Pingree et Le Cann, 1992; Garcia-Soto et al., 2002; Le Cann et Serpette, 2009). Les zones les plus côtières peuvent être influencées par l'eau douce des fleuves, tels que la Gironde et l'Adour (Figure I-12).

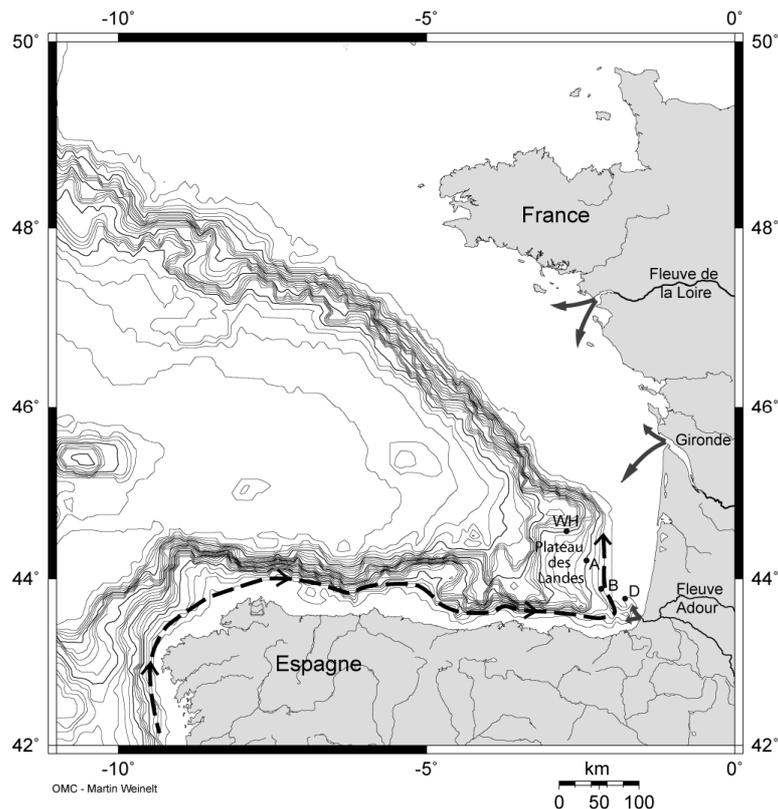


Figure I-12: Localisation des Stations WH, A, B et D sur le Plateau des Landes et les influences des principaux fleuves sur le plateau continental français et en ligne pointillée, le courant hivernal de la Navidad d'après Le Cann et Serpette (2009). Source cartographique <http://www.aquarius.ifm-geomar.de>.

3. Matériel et méthodes

3.1. Missions océanographiques

Une stratégie d'échantillonnage a été organisée pour effectuer un suivi saisonnier recouvrant plusieurs situations hydrographiques différentes. Cinq missions océanographiques ont été effectuées à bord du bateau océanographique du CNRS/INSU « Côte de la Manche »: fin d'hiver (PECH 5 ; 1-9 Mars 2008), printemps (PECH 3 ; 14-17 Avril 2007), début d'été (PECH 1 ; 21-27 Juin 2006), été (PECH 6 ; 7-13 Juillet 2008) et automne (PECH 4 ; 23-30 Novembre 2007).

Six stations ont été prélevées au cours de ces cinq missions (Tableau I-2) ; deux stations (WH et A) situées sur le Plateau des Landes, la Station B située sur la pente, entre la plateforme

continentale et le Plateau des Landes, la Station D, positionnée sur la plateforme continentale. Deux stations, K et FP15, sont localisées dans le canyon de Cap Breton (Figure I-10).

Station	WH	A	B	D	K	FP15
Latitude	44° 33' N	44° 10' N	43° 50' N	43° 42' N	43°38'N	43°40,4'N
Longitude	2° 45' W	2° 20' W	2° 03' W	1° 34' W	1°43W	1°32,8W
Profondeur (m)	2000	1000	550	145	650	250
Distance à la côte (km)	115	79	52	12	11,5	8
PECH 1	22/06/2006	23/06/2006	24/06/2006	25/06/2006		
PECH 3	15/04/2007	16/04/2007	16/04/2007	17/04/2007		
PECH 4	25-28/11/2007	28/11/2007	29/11/2007	29/11/2007	29/11/2007	29/11/2007
PECH 5	2/03/2008	2/03/2008	3/03/2008	3/03/2008	6/03/2008	6/03/2008
PECH 6	8/07/2008	9/07/2008	10/07/2008	11/07/2008	12/07/2008	12/07/2008

Tableau I-2: Coordonnées géographiques, profondeurs et distance à la côte des stations échantillonnées et dates de prélèvement des échantillons.

Une stratégie d'échantillonnage par filet à plancton ouvrant-fermant, en pêche verticale a été mise en œuvre pour ces cinq missions océanographiques.

Au cours des missions PECH 1, 3 et 6, ainsi que pour les Stations WH et A à la mission PECH 4, nous avons utilisé un filet à plancton WP2 ouvrant-fermant de 100 µm de maille (ouverture 0,255 m²). Lors des missions PECH 4 et 5, le multinet Hydrobios[®] midi, équipé de cinq filets à plancton de 100 µm de maille (ouverture 0,25 m²), a été utilisé en prélèvement vertical. Les profondeurs de prélèvement furent identiques durant les cinq missions : sur 200 m d'intervalle à partir de 700 m, puis tous les 100 m jusqu'à 300 m et enfin tous les 20 m dans les premiers 100 m (Figure I-12), le nombre d'intervalle s'adaptant à la profondeur de la station.



Figure I-13: a) Schéma montrant les différents intervalles de prélèvement des filets à plancton ouvrant-fermant en pêche verticale ; b) Filet à plancton WP2 (Neven Lončarić) ; c) Multinet Hydrobios® (Hélène Howa).

Lors de la remontée du filet à plancton WP2 ou du multinet Hydrobios® sur le pont au niveau du portique arrière (sur le « Côtes de la Manche »), les parties supérieures des filets furent rincées à l'eau de mer afin de récupérer tout le matériel dans les collecteurs. Une fois à bord, les godets ou collecteurs furent soigneusement rincés et leur contenu transféré dans un pot de 250 ml à l'aide de pissette d'eau de mer filtrée à 3 µm. Puis, une fois vidés, les godets furent nettoyés afin de minimiser les contaminations avec les prochains prélèvements.

Transféré dans un pot de 250 ml, l'échantillon fut mélangé à une solution d'alcool (95%) et de Rose Bengal (1g/l) afin de conserver et colorer les cytoplasmes des spécimens vivants lors de l'échantillonnage par le Rose Bengal (Walton, 1952). Les pots furent refermés avec un opercule et un bouchon, puis secoués afin de bien mélanger la solution à l'échantillon. Les pots furent alors stockés en attente de traitement au laboratoire.

De nombreux problèmes techniques ont eu lieu lors de la mission PECH 4 (Novembre), à la Station WH, avec le filet WP2 ; tels que des problèmes du déclencheur, déchirement du filet et le godet abîmé, expliquant pourquoi le prélèvement de la Station WH s'est effectuée en deux fois, le 25 et le 28 Novembre.



Figure I-14: Fluxmètre KC Denmark utilisé sur le filet à plancton WP2.

Le nombre de mètres cubes filtrés fut mesuré par un fluxmètre avec le filet simple WP2 avec le nombre de spitch (convolution) du fluxmètre positionné au centre de l'ouverture du filet, est relevé à chaque remontée du filet à bord (Figure I-14). Pour le multinet Hydrobios[®], le nombre de mètres cubes filtrés pour chacun des filets et à chaque intervalle de pêche était mesuré par un même type de fluxmètre et les données enregistrées par l'ordinateur auquel il était raccordé par un câble électroporteur. Toutes ces données furent retranscrites sur les rapports de chacune des missions.

Les paramètres hydrologiques de température, salinité, oxygène dissout et fluorescence ont été enregistrés à chacune des stations de façon continue avec une sonde CTD Seabird, type SBE 9 (911plus/917 plus CTD), placée à la base d'une rosette de 12 bouteilles Niskins.

De l'eau a été prélevée à différente profondeur à chacune des stations afin de faire des analyses de l'isotope ²³⁴Th et de teneur en nutriments (nitrate, phosphate, nitrite, ammonium, silice etc.) au Laboratoire EPOC de l'Université de Bordeaux I par Sabine Schmidt, Aurélie Mouret (thèse à soutenir en Octobre 2009) et Pierre Anschutz. Des prélèvements d'eau ont été effectués pour des analyses du $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ de l'eau au Laboratoire CEA-CNRS du LSCE à Gif sur Yvette par Elisabeth Michel. Ces analyses sont en cours de traitement.

Une filtration d'eau prélevée à différentes profondeurs a été effectuée afin de calibrer la fluorescence mesurée par la CTD à de réelles teneurs en chlorophylle-*a*. Ces calibrations sont en cours de traitement. Néanmoins, les échantillons de PECH 1 ont été traités et révèle une bonne fiabilité du capteur de fluorescence de la CTD (com. pers. Fabien Lombard).

3.2. Au laboratoire

Les pots de 250 ml, contenant l'échantillon coloré au Rose Bengal et conservé dans l'alcool furent passés sur une colonne de tamis de 315 μm , 150 μm et 100 μm sous un filet d'eau. Le dernier tamis de la colonne (100 μm) fut utilisé en raison de la taille des mailles des filets à plancton également de 100 μm , nous permettant de récupérer l'intégralité des spécimens échantillonnés. Les refus des tamis nous permettent de différencier trois gammes de tailles 100-150 μm , 150-315 μm et >315 μm . Le tamis de 315 μm n'a pas été utilisé pour le traitement des échantillons de la mission PECH 1, seuls les tamis 100 μm et 150 μm ont été utilisés. Une fois les refus de tamis récupérés, les différentes fractions furent stockées dans de l'alcool à 95% avant d'effectuer le piquage.

Les échantillons, subdivisés en trois fractions provenant des refus de chacun des tamis, furent transvasées dans un bécher de 6 cm de diamètre et 3,5 cm de haut, avec un bec. Puis, par rotation légère du bécher, les tests de foraminifères, gastéropodes et lamellibranches se réunissent par différence de densité vers le centre du bécher, contrairement aux copépodes allant plus vers les bords. Chacune des fractions fut piquée humide sous alcool, avec port de masque, à l'aide d'un pinceau sous une loupe binoculaire Leica[®] (Figure I-15).



Figure I-15: Port du masque lors du piquage des échantillons sous alcool.

Les spécimens vivants et morts furent distingués à ce stade et positionnés dans des cellules Chapman à fond noir.

Le Rose Bengal est le colorant le plus communément utilisé pour distinguer les spécimens de foraminifères vivants (Walton, 1952 ; Bernhard, 2000). Une dégradation lente de la matière organique des foraminifères planctoniques peut entraîner une coloration au Rose Bengal de foraminifères récemment morts (Bernhard, 1988 ; Hannah et Rogerson, 1997 ; Bernhard, 2000). Il est donc possible que la quantité de foraminifères morts soit sous-estimée et inversement pour les spécimens vivants. Prenant compte de ce problème, seul les spécimens manifestement bien colorés et aux cytoplasmes intérieurs bien développés furent considérés comme vivants (Figure I-15).

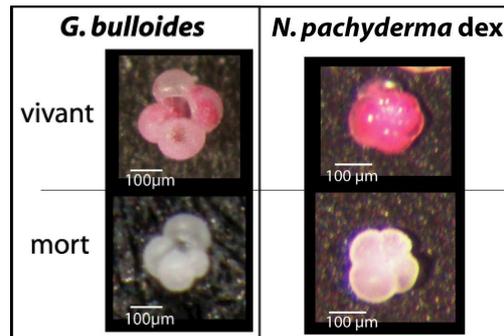


Figure I-16: Exemples de coloration par le Rose Bengal des spécimens de foraminifères planctoniques vivants et l'absence de coloration des spécimens morts.

Les espèces furent déterminées grâce aux planches de Hemleben et al. (1989), de Brummer et Kroon (1988), ainsi que par la base de données EMIDAS (<http://www.emidas.org>), mettant à disposition une liste de critères pour la détermination des espèces et des photos au microscope électronique à balayage. Le webmaster du site internet EMIDAS est Jörg Bollman (Assistant professeur, Université de Toronto, Canada).

Orbulina universa fut reconnu à son stade sphérique (SS) ainsi qu'à son stade pré-sphérique (Pre-Spherical Stage : PSS), décrits par Bé *et al.* (1973). Les spécimens ressemblant à *Neogloboquadrina pachyderma* dextre avec plus de quatre chambres par tour (5-6), de morphologie compacte et ne présentant aucune dent sur la dernière loge, furent désignés comme "PD intergrade" (selon Kipp, 1976).

Afin d'obtenir le volume d'eau échantillonné pour chacun des intervalles de pêche, le nombre de révolution du fluxmètre, positionné sur le filet à plancton WP2, furent retranscrites en mètre cube par la formule suivante, donnée par le constructeur :

$$\text{Volume} = \text{Nombre de révolution} \times 0,3 \times \text{Surface de l'ouverture du filet (m}^2\text{)}$$

0,3 étant la longueur d'un tour d'hélice.

Afin de pouvoir comparer chacun des prélèvements, ils furent normalisés au nombre de mètre cube d'eau échantillonné, pour ainsi obtenir des nombres de spécimens par mètre cube. Néanmoins, quelques problèmes sont survenus avec les fluxmètres donnant un volume aberrant ou nul, nécessitant une correction par une valeur extrapolée par les prélèvements des mêmes profondeurs, aux mêmes périodes.

Au total, **197** échantillons furent traités dans cette thèse et **42341** foraminifères planctoniques piqués.

CHAPITRE II

Production de foraminifères planctoniques le long d'un transect bathymétrique dans le Sud du Golfe de Gascogne

Planktic foraminiferal production along an offshore-onshore transect in the south-eastern Bay of Biscay

S. Retailleau^a, H. Howa^a, R. Schiebel^b, F. Lombard^c, F. Eynaud^d, S. Schmidt^d, F. Jorissen^a, L. Labeyrie^c

Publié dans *Continental Shelf Research*, volume 29, 1123-1135.

^a *Laboratory Recent and Fossil Bio-Indicators (BIAF), Angers University, UPRES EA 2644, 2 Boulevard Lavoisier, 49045, Angers Cedex, France and Laboratory of Marine Bio-Indicators (LEBIM), Ker Chalon, 85350 Ile d'Yeu, France*

^b *School of Ocean and Earth Science, National Oceanography Centre, Southampton (NOCS), University of Southampton, European Way, Southampton SO14 3ZH, United Kingdom*

^c *LSCE/IPSL, Laboratory Sciences of Climate and Environment, CEA-CNRS-UVSQ, Domaine du CNRS, Bât. 12, 91198 Gif-sur-Yvette, France*

^d *Department of Geology and Oceanography, Bordeaux University, CNRS UMR 58 05 EPOC, Avenue des Facultés, 33405, Talence Cedex, France*

Conclusions majeures de la publication Retailleau et al., 2009

La distribution saisonnière des foraminifères planctoniques vivants et morts du Sud Est du Golfe de Gascogne est discutée en relation avec les facteurs environnementaux.

La distribution des foraminifères planctoniques vivants (colorés au Rose Bengal) $>100 \mu\text{m}$, observée le long du transect bathymétrique des Stations WH à D, révèle une production non négligeable de foraminifères planctoniques dans les eaux peu profondes de cet environnement de marge de moyennes latitudes, les plus fortes abondances étant cependant trois fois moins importantes que dans l'Océan ouvert.

A chacune des stations, les abondances maximales de foraminifères planctoniques ont été trouvées dans les premiers 80 m de la colonne d'eau, toujours en relation avec les plus fortes concentrations de chlorophylle-*a*.

La production de foraminifères planctoniques présente une saisonnalité très marquée : 1) forte production au printemps; 2) faible production en été ; 3) production sporadique en automne.

Au printemps, l'abondance des foraminifères planctoniques diminue de l'océan hémipélagique (2000 m de profondeur) vers le plateau continental (< 200 m de profondeur), en réponse à la disponibilité en nourriture, manifestée par la concentration en chlorophylle-*a* dans les eaux de surface. En été, l'épuisement des ressources nutritives contrecarre la production de foraminifères. Fin Novembre, les fortes densités en foraminifères sont présentes dans les eaux de surface proches de la côte, riches en chlorophylle-*a*. Cette production côtière automnale coïncide avec des productions phytoplanctoniques dominées par les dinoflagellés, qui sont décrites dans la littérature comme intenses mais sporadiques et non systématiques. Le caractère de ces blooms d'automne peut expliquer la variabilité spatiale d'abondance des foraminifères à cette période.

Vers la côte, les décharges d'eaux douces provenant des fleuves favorisent ou inhibent la production et l'abondance de foraminifères planctoniques, en fonction du paramètre qui co-varie avec la salinité. La faible salinité exceptionnelle (< 30 PSU) observée en Avril en surface à la Station D, et interprétée comme le panache de l'Adour, coïncidant avec une absence de foraminifères planctoniques. A cette même Station D en Novembre, l'extension de la plume de l'Adour sur la plate forme semble favoriser une forte production de foraminifères planctoniques.

Nos résultats indiquent que les abondances des foraminifères planctoniques sont principalement contrôlées par la disponibilité en nourriture et peuvent être fortement affectées par les apports d'eaux douces ou de nutriments des fleuves et par les effets de mélange à la surface de l'océan.

1. Introduction

Planktic foraminifera have been ubiquitous in the open oceans for about 100 million years. Planktic foraminifera are one of the most frequently applied microfossil groups in paleoceanography and the reconstruction of past environmental changes, due to their wide distribution and high sensitivity to sea surface parameters. Their calcareous tests record geochemical information about the ambient seawater such as temperature, salinity, and trophic state of surface waters. Many major open oceanic environments have been analysed for the seasonal and spatial distribution of modern planktic foraminifera, contributing to a broad understanding of the ecology of planktic foraminifera (e.g., Bé, 1960; Bé and Tolderlund, 1971; Tolderlund and Bé, 1971; Bé, 1977; Bé and Hutson, 1977; Fairbanks and Wiebe, 1980; Fairbanks et al. 1982; Bé et al., 1985; Hemleben et al., 1989; Schiebel and Hemleben, 2005, and references therein).

It is generally assumed that planktic foraminifera do not inhabit shelf seas (e.g., Hemleben et al., 1989). Planktic foraminiferal tests are present in the sediments of marginal seas, though, and are believed to result from specimens that were transported by currents from their live habitats (Arnold and Parker, 1999). Only few studies have been published on planktic foraminifera from marginal environments by, for example, Saidova (1957, Sea Okhotsk), Lipps and Warne (1966, Sea Okhotsk), Parker (1973, Gulf of California), Wang et al. (1985, East China Sea), and Brunner and Biscaye (2003, Middle Atlantic Bight). Previous investigations on planktic foraminifera in the Bay of Biscay were carried out on sediment assemblages collected by grab sampling and gravity cores (Caralp, 1968; Pujol, 1980), and planktic foraminifera were analysed as part of the total zooplankton community (determined at a phylum level) collected with plankton tows (Albaina and Irigoien, 2007).

We discuss the distribution of planktic foraminifera along a depth transect in the south-eastern Bay of Biscay, from the mesobathyal continental slope onto the outer shelf. Production of planktic foraminifera in the upper water column (0-700 m water depth) is discussed as a response to changing environmental conditions during a seasonal succession. The aim of this study is to contribute to a better mechanistic understanding of the spatial and seasonal distribution of planktic foraminifera in marginal marine environments. This project contributes to the French FORCLIM project, targeted at an improved understanding of planktic foraminifera as proxies of paleohydrology of the North Atlantic (Howa et al., 2007).

2. Oceanographic setting

The Bay of Biscay is a semi-enclosed basin in the transitional eastern North Atlantic (Fig. II-1). The general circulation in the central area of the Bay of Biscay is characterised by weak cyclonic surface circulation (Koutsikopoulos and Le Cann, 1996), and cyclonic and anticyclonic eddies (Fig. II-1; SWODDIES, Slope Water Oceanic Eddies; Pingree and Le Cann, 1992). Along the continental slope, currents are mainly oriented poleward (Pingree and Le Cann, 1990). The warm and salty Navidad Current penetrates the southern part of the Bay of Biscay from the Portuguese margin (warm water extension of the Iberian Poleward Current in the Bay of Biscay) particularly during winter (Pingree and Le Cann, 1990; Garcia-Soto et al., 2002; Le Cann and Serpette, 2009).

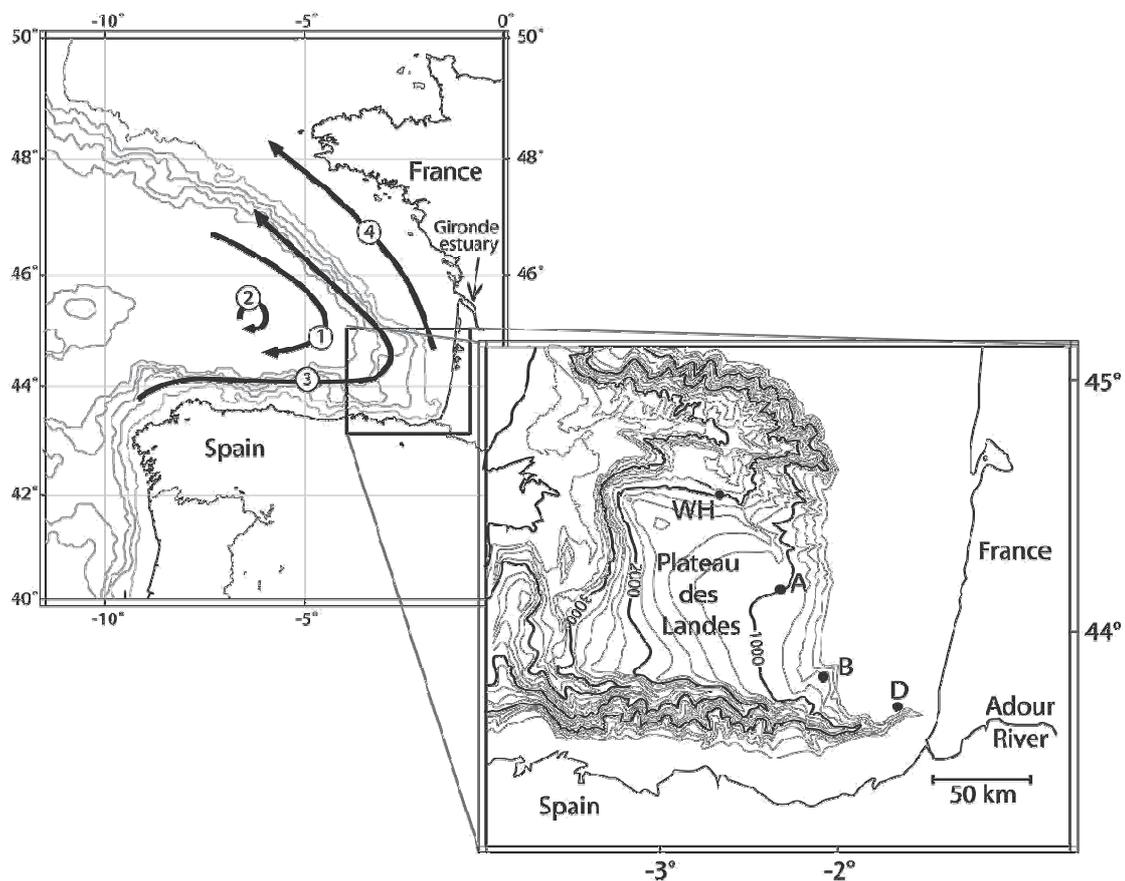


Figure II-1: Sampling Stations WH, A, B, and D (black dots) at the Plateau des Landes, slope and outer shelf at the southern Bay of Biscay. Inset shows the general hydrology (Koutsikopoulos and Le Cann, 1996): (1) General oceanic circulation, (2) eddies, (3) Navidad Current, warm water extension of the Iberian Poleward Current in the Bay of Biscay (Pingree and Le Cann, 1990; Garcia-Soto et al., 2002), and (4) shelf residual circulation.

Below the surface mixed layer, Eastern North Atlantic Central Water (ENACW) is present down to 600 m water depth. Between about 600 and 1300 m, Mediterranean Outflow Water (MOW) is characterised by relatively high salinity and low oxygen concentration (van Aken, 2000). Northeast Atlantic Deep Water (NEADW) occurs from 1300 to 3000 m water depth (e.g., Durrieu et al., 1999).

The SW French continental shelf is characterized by freshwater input from the Gironde and Adour rivers (Fig.II-1). The Gironde has an average annual flux of $1100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ with a seasonal maximum runoff of $\sim 5000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ in February, $\sim 3250 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ in spring, and a minimum of $\sim 100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ in summer (Schäfer et al., 2002). The Adour river has a mean discharge of $350 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Brunet and Astin, 1999). The Adour and other rivers draining the Pyrenees are expected to have a high seasonal variability in runoff (Coynel et al., 2005). Peak flow may exceed $1000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ during few days in winter and spring (Gil and Sanchez, 2000). In general, the fresh water plumes of both Gironde and Adour rivers flow northwards along the coast, but winds may force plumes to the south (Froidefond et al., 1996, 2002; Puillat et al., 2004). Increased water discharge of the Gironde and Adour rivers may cause significant increase of nutrients triggering primary productivity in waters of the Bay of Biscay (Puillat et al., 2004; Kelly-Gerreyn et al., 2006a).

In the Bay of Biscay, thermal stratification occurs between May and mid September, resulting in a pycnocline at about 50 m depth, whereas the upper water column between January and the beginning of April is completely mixed (Puillat et al. 2004, and references therein). During mid September to December, progressive erosion of the thermocline is caused by wind-driven mixing of the surface ocean. Stratification as a result of river runoff and freshwater input peaks between March and June. In fall, stratification decreases because of decreased river discharge and increased wind driven mixing (Puillat et al. 2004).

Chlorophyll-*a* concentration is highest in March, April, September and October in the Bay of Biscay (Fernandez et al., 1991). During stratified periods, maximal chlorophyll-*a* concentration is recorded at the bottom of the euphotic zone near the pycnocline (Laborde et al., 1999). During winter, wind-driven mixing causes deepening of the seasonal pycnocline, and nutrient concentrations in surface waters increase progressively (Tréguer et al., 1979).

3. Ecological setting and plankton succession

The Bay of Biscay belongs to the Northeast Atlantic Shelf Provinces, and is affected by seasonal variability (Longhurst, 1998). In winter, waters are rich in nutrients, but light limitation leads to low plankton productivity (Obata et al., 1996). In spring, high nutrient concentrations and increasing light levels facilitate new phytoplankton production (Tréguer et al., 1979). In early summer, thermal stratification of the upper water column causes low nutrient concentration, and local new production occurs along hydrographic fronts (Wollast and Chou, 2001; Lunven et al., 2005). In autumn, increased mixing and nutrient entrainment into surface waters cause another period of increased plankton production (Marquis et al., 2007). Consequently, phytoplankton assemblages in the Bay of Biscay change on a seasonal scale (Tréguer et al., 1979, Lampert, 2001).

Prymnesiophytes (mainly coccolithophores) are often the dominant group of phytoplankton in the Bay of Biscay (Beaufort and Heussner, 1999; Wollast and Chou, 2001). Coccolithophores are present throughout the year and exhibit a seasonal succession (Beaufort and Heussner, 1999; Lampert, 2001). In summer, minor upwelling events (Froidefond et al., 1996) lead to large coccolithophore blooms (Holligan et al., 1983; Fernandez et al., 1991; Beaufort and Heussner, 1999). In comparison to coccoliths, the abundance of diatoms, dinoflagellates, and silicoflagellates exhibits strong seasonal variation. Diatoms are most abundant during the spring phytoplankton bloom (Lampert, 2001; Wollast and Chou, 2001) with significant secondary peaks during winter (Beaufort and Heussner, 1999). Diatoms may profit from riverine freshwater input into the Bay of Biscay (Fernandez et al., 1991). In fall, sporadic but intense dinoflagellate blooms are described by Lavender et al. (2004). Maximum silicoflagellate numbers were observed between January and May, i.e., winter and spring (Beaufort and Heussner, 1999).

4. Materials and Methods

In order to investigate the planktic foraminiferal (PF) distribution in the south-eastern Bay of Biscay, four sites were sampled along a transect from 145 to 2000 m water depth, from the shelf break to the Plateau des Landes (Fig. II-1). Samples were obtained during five cruises with the R/V Côte de la Manche in June 2006, April and November 2007, and March and July 2008 (Table II-1).

Station	WH	A	B	D
Latitude	44° 33' N	44° 10' N	43° 50' N	43° 42' N
Longitude	2° 45' W	2° 20' W	2° 03' W	1° 34' W
Water depth (m)	2000	1000	550	145
Distance from coast (km)	115	79	52	12
Distance from shelf break (km)	50	23	2	-1
PECH 1	22/06/2006	23/06/2006	24/06/2006	25/06/2006
PECH 3	15/04/2007	16/04/2007	16/04/2007	17/04/2007
PECH 4	25-28/11/2007	28/11/2007	29/11/2007	29/11/2007
PECH 5	2/03/2008	2/03/2008	3/03/2008	3/03/2008
PECH 6	8/07/2008	9/07/2008	10/07/2008	11/07/2008

Tableau II-1. Location of net tows during the five PECH sampling campaigns at Station WH, A, B, and D, in the Plateau des Landes area, south-eastern Bay of Biscay.

During cruises PECH 1, PECH 3, and PECH 6, WP2 plankton nets (Research Equipment, KC Denmark A/S) with an opening of 0.255 m² were used for sampling. On the third and fourth sampling campaigns (PECH 4 and PECH 5), a Hydrobios MultiNet[®] type MIDI (0.25 m² opening) equipped with five nets was used. All hauls were carried out with 100- μ m nets. Samples were collected from the same water depth intervals on all five cruises down to 100 m depth at 20-m sampling intervals (0-20-40-60-80-100 m), and 700 m at 100-m and 200-m intervals (100-200-300-500-700 m) depending on total water depth. Sampling was carried out at 0.2-0.3 ms⁻¹ haul velocity with the different towing systems. Sampled volumes of water were calculated from data recorded with a digital flow meter attached to the plankton nets. Simultaneously, temperature and salinity were recorded with a Sea-Bird's 911plus CTD, attached to a rosette water sampler SBE32 equipped with oxygen and fluorescence sensors. Chlorophyll-*a* was analysed from distinct water depths to calibrate fluorescence data. In November 2007 (PECH 4), temperature, salinity, and fluorescence were recorded with sensors attached to the Hydrobios multinet at Stations B and D.

To show the temporal development of sea surface temperature (SST) and chlorophyll-*a* concentration at the sampling area between January 2006 and August 2008, SeaWiFS and Aqua MODIS imagery (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) was analysed (Fig. II-2). Eight day means of SST from Aqua MODIS images and chlorophyll-*a* concentration from SeaWiFS images were processed for a 1° x 1° area at Station WH (Fig. II-2). Chlorophyll-

a data were not available from SeaWiFS for January 2008 to March 2008, and data from Aqua MODIS were analysed from this time interval.

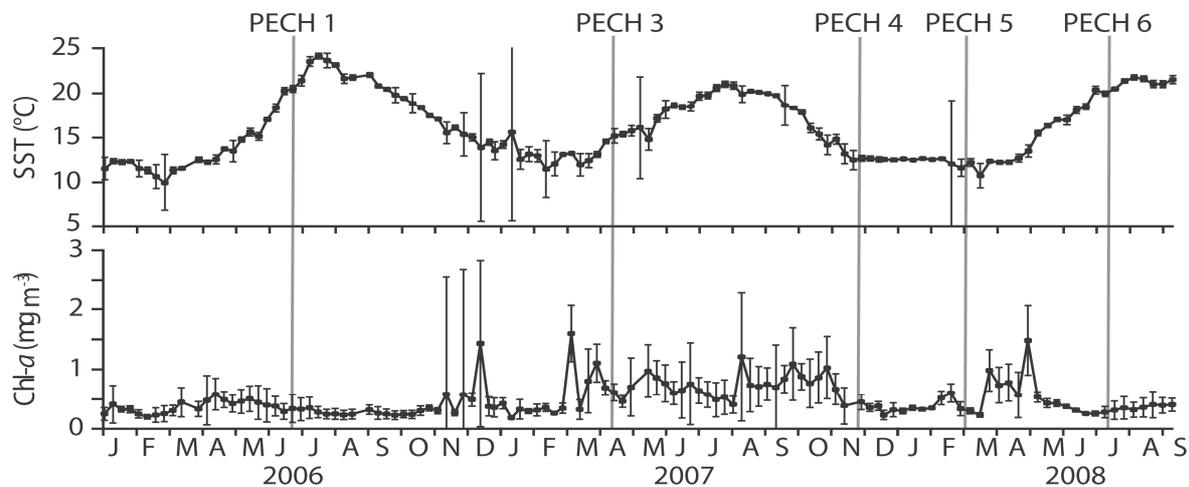


Figure II-2: Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll-*a* processed from SeaWiFS images of the Bay of Biscay from January 2006 to September 2008. Data represent averages of a 1° square area at Station WH ($44\text{--}45^\circ\text{N}$, $2\text{--}3^\circ\text{W}$).

Plankton samples were stained on board with Rose Bengal (1.0 mg l^{-1} ethanol) in order to discriminate living foraminifera from dead specimens (Lutze and Altenbach, 1991) and soaked in 95% alcohol for preservation. Stained tests were assumed cytoplasm-bearing and living at the time of sampling. Unstained tests were assumed empty during the time of sampling and referred to as dead specimens. In the laboratory, samples were wet sieved into size classes of $100\text{--}150 \mu\text{m}$ and $>150 \mu\text{m}$. All planktic foraminiferal tests were picked from the wet samples and counted.

5. Environmental conditions during sampling

Different hydrographic situations with respect to surface water stratification were encountered during sampling. In summer, surface waters were well stratified, displayed by large temperature differences in the upper 100 m of the water column (Fig. II-3). Maximum stratification of the upper water column was developed in June and July with maximum surface water temperatures around 21°C , and a $\sim 7\text{--}9.5^\circ\text{C}$ decrease in temperature in the upper 100 m (Fig. II-3, Appendix A). Pycnocline depth was $\sim 50 \text{ m}$ at Station WH shoaling to $\sim 30 \text{ m}$ at Station D (Appendix A). In March, April, and November sea surface temperatures ranged around $13\text{--}14^\circ\text{C}$, with less than $\sim 2^\circ\text{C}$ temperature

decrease in the upper 100 m (Fig. II-3). In March, surface waters were completely mixed at the hemipelagic Stations WH and A (Fig. II-1, Appendix A).

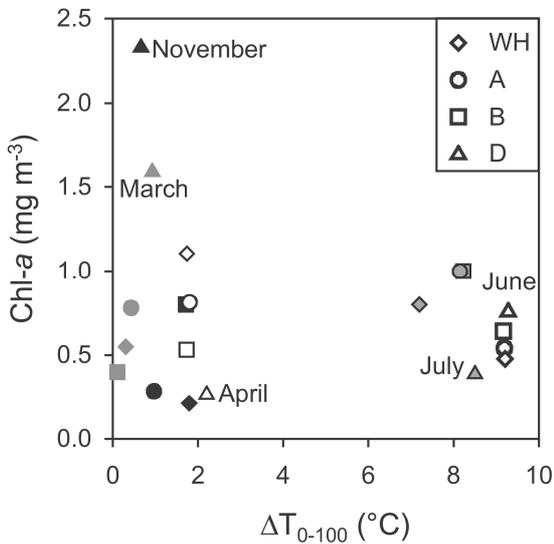


Figure II-3: Temperature difference between the water surface and 100 m water depth (ΔT_{0-100}) as a measure of stratification of the upper water column, with strong stratification at large ΔT_{0-100} and a well mixed water column at small ΔT_{0-100} .

Decreased surface water salinities were observed at all stations, and most pronounced at Stations D and B closest to the coast (Fig. II-1). At Station D, surface water salinity was decreased by at least 0.5-1 PSU during all sampled seasons, and was as low as 29.8 PSU in April 2007 (Appendix A). At 100 to ~500 m water depth, salinity was less variable than in surface waters. Increased salinity and decreased oxygen concentration occurred below 500 m water depth (Appendix A).

Chlorophyll-*a* concentration was highest around the pycnocline, between 20 m and 60 m depth in April, June and July (up to ~1 mg m⁻³) (Appendix A). In November and March, maximum chlorophyll-*a* concentration was observed between the sea surface and 15 m water depth at Station D close to the shelf break (up to ~1.7 mg m⁻³). Lowest chlorophyll-*a* concentration in surface waters occurred during November (<0.3 mg m⁻³) at the hemipelagic Stations WH and A (Fig. II-3). High mesoscale variability of chlorophyll-*a* concentration during times of generally high local chlorophyll-*a* concentration (Appendix A) is displayed by large standard deviation of the chlorophyll-*a* data deduced from satellite imagery (Fig. II-2). Regional and interannual variability of chlorophyll-*a* concentration and distinct seasonal changes in SST at the southern Bay of Biscay are encompassed by our sampling intervals, though the most extreme conditions were possibly not captured (Fig. II-2).

6. Distribution of planktic foraminiferal standing stocks and empty tests

6.1. Distribution of cytoplasm bearing tests

In general, standing stocks decreased from the open marine site towards the shelf, and from early spring to summer (Fig. II-4 and II-5). Living PF ($>100\ \mu\text{m}$) were most frequent in the upper 60-80 m of the water column at all four sampling locations and during all sampling periods (Fig. II-4).

In April 2007, standing stocks decreased from the hemipelagic Station WH (545 specimens m^{-3}) towards the shelf break (Station D, 82 specimens m^{-3}) (Fig. II-5 and Appendix B). Living specimens were frequent down to 300 m depth at the all three deep-water Stations WH, A, and B. Maximum numbers of 205 specimens m^{-3} occurred in the upper 20 m at Station WH. In June 2006, PF were less frequent in surface waters than in April 2007, and living specimens were abundant between 80 and 500 m depth (Fig. II-4). Total numbers of living PF decreased following the same gradient from the deep-water Station WH (190 specimens m^{-3}) towards shelf break Station D (30 specimens m^{-3}) (Fig. II-5). In July, standing stocks were very low at all four sampling locations (2-16 specimens m^{-3}) (Annexe B). In November 2007, PF were most abundant in the upper 100 m, and only few living specimens occurred below 100 m depth ($<9\%$ of the total standing stock). Total FP numbers were low at Station WH and B (<23 specimens m^{-3}), and as high as 183 spec. m^{-3} at Station D (Fig. II-4 and II-5).

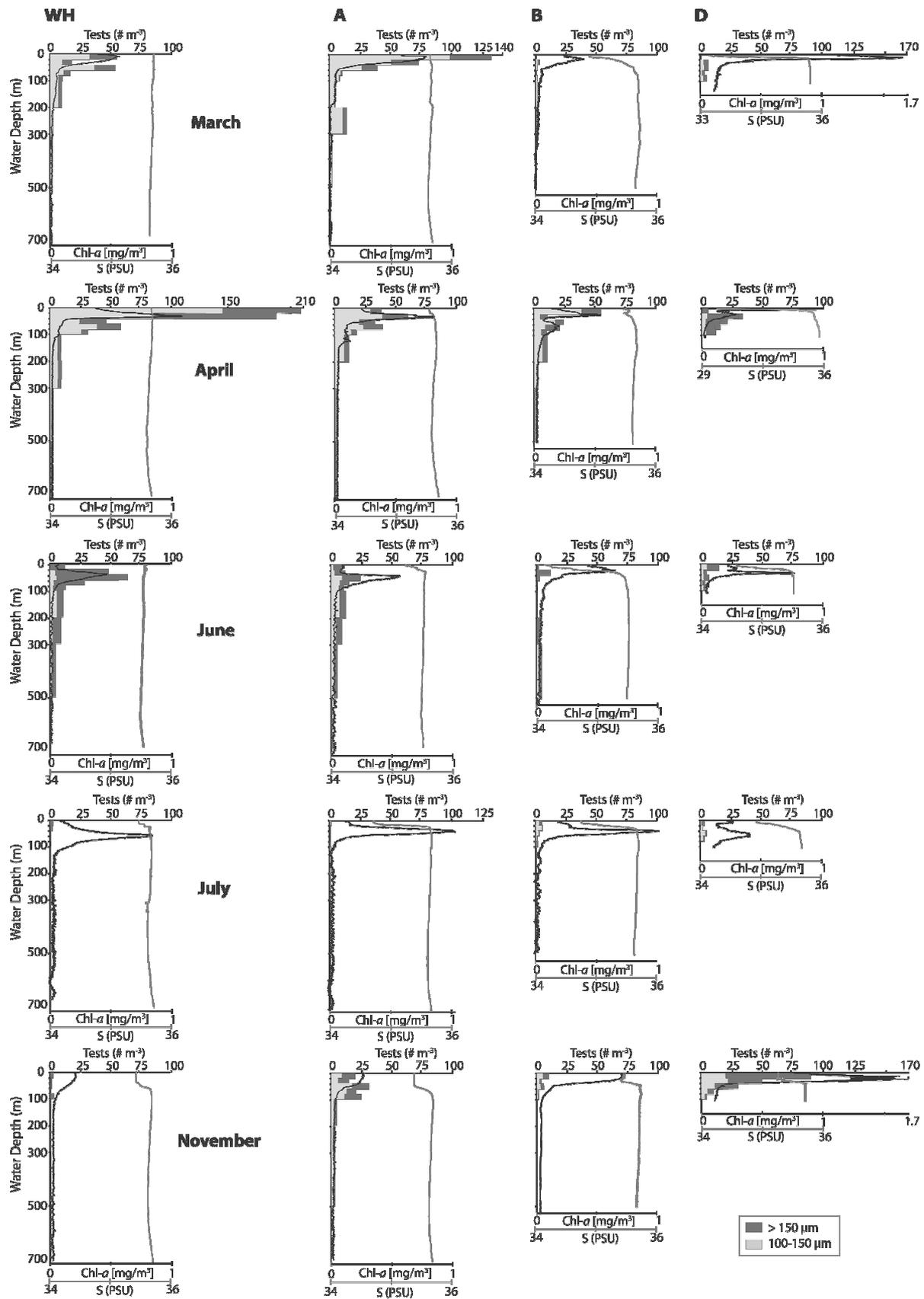


Figure II-4: Number of stained (cytoplasm bearing, living) planktic foraminifera per cubic meter of sampled sea water (dark grey: size fraction >150 μm; light grey: size fraction 100-150 μm), in comparison to chlorophyll-a concentration (mg m⁻³, black line) and salinity (PSU, grey line) at Stations WH, A, B, and D, from March to November.

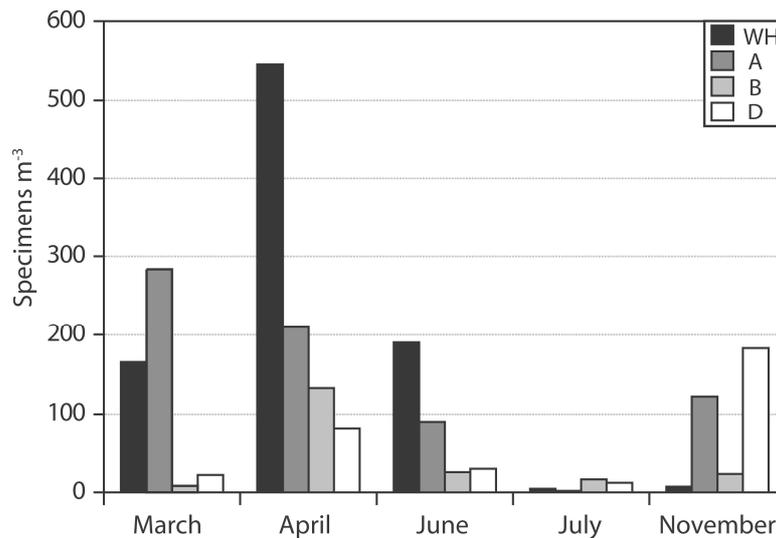


Figure II-5: Standing stocks of living planktic foraminifera per cubic meter of seawater at Stations WH, A, B, and D, from March to November.

6.2. Distribution of cytoplasm bearing tests in relationship to environmental parameters

In general, the abundance of living PF in surface waters was related to chlorophyll-*a* concentration and sea surface salinity (Fig. II-4). On a regional scale, highest abundance of living PF at offshore Station WH in April, at Station A in March and at onshore Station D in November (Fig. II-4), was positively related to surface water chlorophyll-*a* concentration (Fig. II-8). During March, April and June, maximum PF abundance occurred at water depths of maximum chlorophyll-*a* concentration (Fig. II-4). At times and locations of strongly decreased sea surface salinity (<35 PSU, i.e., more than 0.5 PSU lower than at subsurface waters), PF numbers were low despite high chlorophyll-*a* concentration at pycnocline depth (Fig. II-4). Exceptionally low numbers of living PF at 20-40 m at Station B (Fig. II-4, March) coincided with large numbers of jellyfish. Low abundance of living PF at Station WH in November coincided with high densities of salps in the upper 100 m of the water column.

Small specimens (100-150 μm) were most abundant (>50% of the total fauna >100 μm) at the three deep-water Stations WH, A, and B during March, April, July, and November (Fig. II-6). In June, small specimens (100-150 μm) were overall much less frequent than during the other sampled months with a minimum of 13% of the total fauna >100 μm at Station WH. In general, small specimens were least abundant at shelf-break Station D, with a minimum of 18% in April.

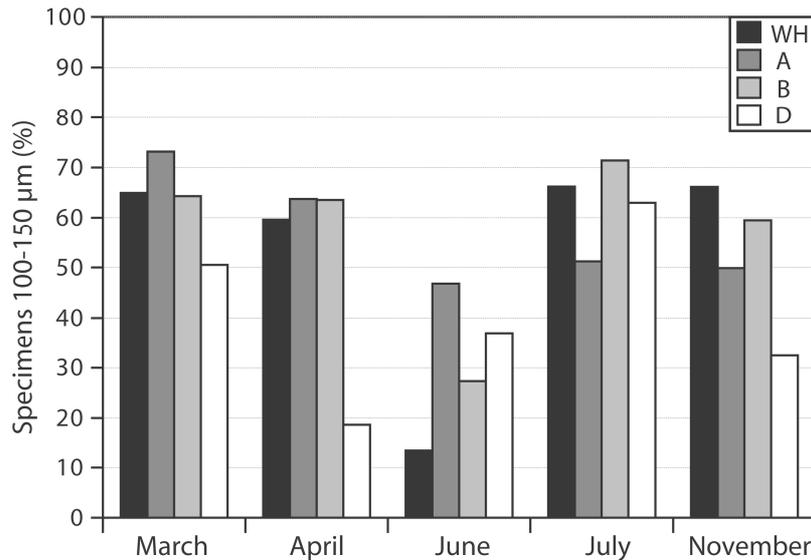


Figure II-6: Percentage of living PF of the 100-150 μm size fraction at Stations WH, A, B, and D, from March to November.

6.3. Distribution of empty tests

Maximum numbers of empty tests were recorded in April at all sampled stations (Fig. II-7 and Appendix B). However, empty test concentrations were two to five times lower than the number of live individuals in April, and as much as 28 times lower in June at Station WH. The empty test assemblage was mainly composed of small specimens (100-150 μm), in contrast to the living fauna (Fig. II-4 and II-7). At Station D, in April, an exceptional ~45% of the assemblage of empty tests belonged to the small size fraction. Empty planktic foraminiferal tests were found throughout the sampled water column from surface waters to 700 m depth without any depth preference. Highest numbers of empty tests occurred during April at depth of highest abundance of living PF or just below (Fig. II-4 and II-7). Empty test concentrations decreased toward the coast, following the distribution of the living fauna.

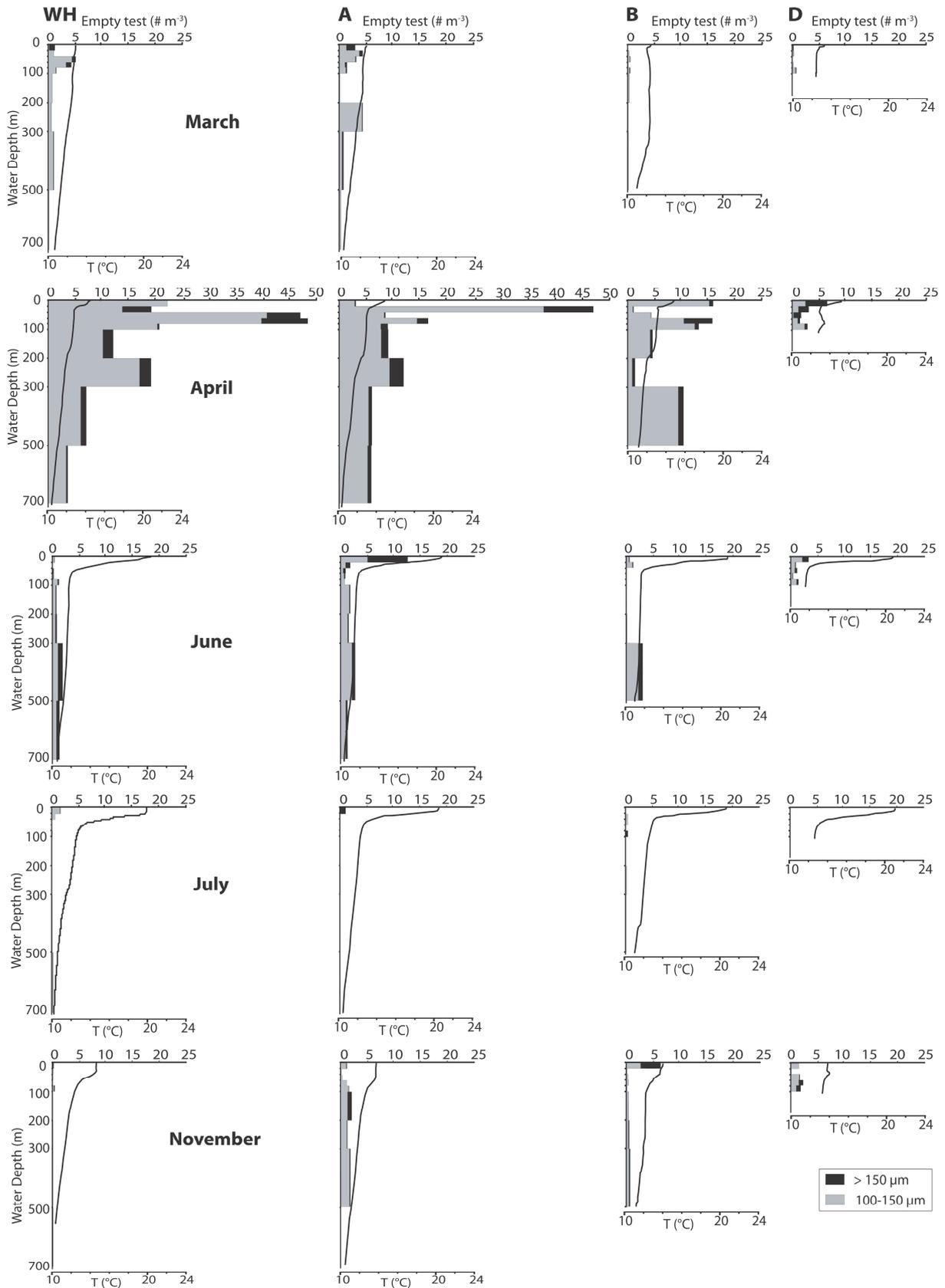


Figure II-7: Number of empty (dead) planktic foraminiferal tests per cubic meter of sampled sea water (black: size fraction $>150 \mu\text{m}$; grey: size fraction $100\text{-}150 \mu\text{m}$) at Stations WH, A, B, and D, from March to November. Temperature ($^{\circ}\text{C}$) is shown by the black line.

7. Discussion

The distribution of planktic foraminifera along the depth-transect from deep-water Station WH to Station D at the shelf break (Fig. II-1), in the following is discussed as a result of seasonal and regional changes in ecologic conditions. The effect of water depth and proximity to the shelf on the abundance of planktic foraminifera is evaluated in comparison to the distribution of planktic foraminifera in the open oceans of similar latitude and environmental prerequisite. Finally, implications of changes in the abundance of planktic foraminifera along an onshore-offshore gradient on the paleoceanographic interpretation of fossil assemblages are given.

In general, the production of planktic foraminifera is closely linked to the availability of food, i.e., phytoplankton (mainly diatoms) and small zooplankton (e.g., Anderson et al., 1979; Hemleben et al., 1989; Schiebel and Hemleben, 2005, and references therein). Changes in primary production cause seasonal and mesoscale variability of planktic foraminifer standing stocks (e.g., Tolderlund and Bé, 1971; Deuser, 1986; Thunell and Honjo, 1987; Kincaid et al., 2000; Schiebel and Hemleben, 2000; Mohiuddin et al., 2002; Lončarić et al., 2007). At open marine environments of mid-latitudes, the production of planktic foraminifera is strongly affected by seasonality (e.g. Ottens, 1992; Obata et al., 1996; Longhurst, 1998; Schiebel and Hemleben, 2000). In the south-eastern Bay of Biscay, seasonal production of planktic foraminifera is similar to the open eastern North Atlantic (Schiebel and Hemleben, 2000).

Most planktic foraminifera dwell at water depths above and close to the deep chlorophyll-*a* maximum, i.e., the upper 80 m of the water column (Fairbanks and Wiebe, 1980; Hemleben et al., 1989; Ortiz et al., 1995; Schiebel and Hemleben, 2005). Cytoplasm bearing individuals below 80 m depth are surface-dwellers that are part of the settling fauna although they still contain cytoplasm (Schiebel et al., 1995), or subsurface-dwelling species (Vincent and Berger, 1981).

7.1. Regional differences in the distribution of living planktic foraminifera

In the south-eastern Bay of Biscay, standing stocks decreased from deepwater Station WH towards shelf Station D during spring and early summer (Fig. II-5). Planktic foraminifera were most abundant at the offshore end of transect where chlorophyll-*a* concentration was highest (Fig. II-8a). Decreasing standing stocks of planktic foraminifera towards the coast are

described also for other ocean margins of similar latitude (Lidz, 1966; Gibson, 1989). However, standing stocks were low (Appendix B: in April, average number at 0-100 m of 230 specimens m^{-3} at Station WH) compared to the pelagic North Atlantic (Schiebel and Hemleben, 2000; 720 specimens m^{-3}). Albaina and Irigoien (2007) report a maximum of 846 specimens m^{-3} during spring 2004, indicating that maximum abundance of planktic foraminifera was possibly not sampled in April 2007 (Appendix B: max. at 0-100 m of 526 specimens m^{-3} at Station WH), and confirming high spatial and temporal variability of PF abundance at the southern Bay of Biscay (Fig. II-4).

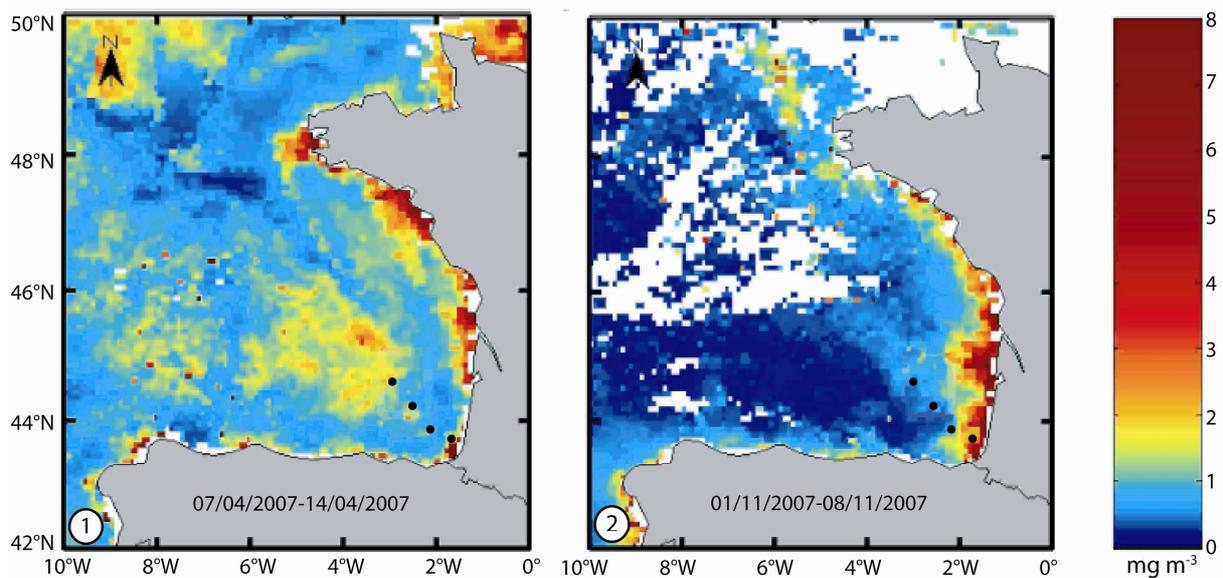


Figure II-8: Chlorophyll-*a* ($mg\ m^{-3}$) in the Bay of Biscay, from SeaWiFS images (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>): a) April 2007, before PECH 3 (Table II-1), showing high phytoplankton production in the central part of the Bay of Biscay. b) November 2007, before PECH 4, showing enhanced phytoplankton production along the coast of the south-eastern Bay of Biscay, in comparison to April, and low phytoplankton production in the central Bay of Biscay. Sampling locations are indicated by black dots (Fig. II-1).

7.2. Seasonal changes in plankton production and abundance of living planktic foraminifera

In the Bay of Biscay, diatoms and coccolithophores are major contributors to phytoplankton mass production in spring (e.g., Labry et al., 2004). Compared to spring, plankton production during summer is low, and less marked and more dispersed in autumn (e.g. Longhurst, 1998; Ceballos and Alvarés-Marqués, 2006). As a consequence, three different seasonal conditions of planktic foraminiferal production can be distinguished in the south-eastern Bay of Biscay : 1) High production during spring, 2) low production during summer, and 3) sporadic production during fall (Fig. II-4 and II-5).

Highest PF production occurred during spring (Fig. II-4; March and April) at times of high phytoplankton production, surface water mixing and entrainment of nutrients into open marine surface waters (Schiebel et al., 1995; Obata et al., 1996; Schiebel and Hemleben, 2000; Lampert, 2001; Marquis et al., 2007). In summer (Fig. II-4; June and July), limited PF production occurred at times of strong surface water stratification and nutrient limitation in surface waters (Appendix A) (Tréguer et al., 1979; Schiebel et al., 2001). Consequently, standing stocks of planktic foraminifera decreased from spring to summer (Fig. II-5). In June, small sized (100-150 μm) living PF were much less abundant than during the other sampling periods at the offshore Stations WH, A and B (Fig. II-6), indicating a mature population and reduced new production (Schiebel et al., 1997; Schiebel and Hemleben, 2000). In July, standing stocks were too low throughout the sampling area (Fig. II-4 and II-5) to facilitate interpretation of regional differences. In late November, low PF abundance at offshore Station WH (Fig. II-5) contrasts with increased plankton production typical of mid-latitudes during fall (Schiebel et al., 2001; Marquis et al., 2007). However, phytoplankton production in the Bay of Biscay during fall is dominated by dinoflagellates, and described as intense but sporadic and unsystematic (Labry et al., 2004; Lavender et al., 2004), and may hence result in patchy and regionally low abundances of planktic foraminifera.

7.3. Surface water salinity and standing stocks of planktic foraminifera

In general, hydrography affects the temporal and spatial distribution of planktic foraminifera on a medium to large scale in the open oceans (e.g., subtropical gyres: Weyl, 1978; eddies: Kupferman et al., 1987) and marginal environments (e.g., river plumes: Ufkes et al., 1998; Middle Atlantic Bight: Brunner and Biscaye, 2003). Mesoscale variability of environmental conditions and hydrography is a recurring phenomenon also in the southern Bay of Biscay (Fig. II-3 and II-8; Pingree and Le Cann, 1992), and may affect the distribution of planktic foraminifera sampled along transect during all seasons (Fig. II-1 and II-4).

Low-salinity river-plumes either trigger or inhibit the production and abundance of planktic foraminifera depending on the parameter that co-vary with salinity (Ufkes et al., 1998). In particular, Station D near the shelf break (Fig. II-1) is located in reach of the Adour river plume, and low salinities indicate the presence of fresh water dilution during all sampled seasons (Fig. 4 and Appendix A). Regionally enhanced phytoplankton and PF production at Station D in November could be attributed to freshwater and nutrient input from the Adour

river (Puillat et al., 2004; Kelly-Gerreyn et al., 2006) and subsequent mixing of surface waters (Tréguer et al., 1979). In November 2007, high chlorophyll-*a* concentration occurred along the French coast of the Bay of Biscay, including Station D (Fig. II-8b), and instigated PF production. In contrast, in March, April, and July, low standing stocks of planktic foraminifera (Appendix B) were found in the upper 20 m of the water column at low salinity (Fig. II-4) and low chlorophyll-*a* concentration (Fig. II-8a). Below the low salinity layer, the planktic foraminiferal standing stocks reached higher values, a scenario that has also been observed at the Congo river plume (Ufkes et al., 1998) and in the Caribbean at the Amazon-Orinoco river plume (Schmuker and Schiebel, 2002). Although planktic foraminifera have a high tolerance to salinity changes (e.g. Bijma et al., 1990; Ortiz et al., 1995) and are possibly not directly affected by low salinity (Fernandez et al., 1991; Ufkes et al., 1998), the exceptional low salinity (< 30 PSU) observed in April at Station D may inhibit production of planktic foraminifera.

7.4. Distribution of empty tests and implication on fossil assemblages

The distribution of empty tests in general displays the distribution of the standing stocks (Fig. II-4 and II-7). Empty tests were most abundant during April, during peak production of living planktic foraminifera. Low numbers of empty tests during March may indicate a developing fauna at the beginning of seasonal mass production of planktic foraminifera, at a given average individual life-time of one month of most surface dwelling species (e.g., Schiebel and Hemleben, 2005). Low numbers of empty tests during June, July, and November reflect low standing stocks (Fig. II-7).

Predominance of small tests (100-150 μm) at the offshore Stations WH, A, and B (Fig. II-1 and II-7), is characteristic of undisturbed planktic foraminiferal faunas, with high numbers of small specimens and an exponential decrease of specimens towards larger size classes (Schiebel and Hemleben, 2000). At onshore Station D, small empty tests were less frequent than at the offshore locations (Fig. II-6 and II-7), which may indicate a disturbed fauna lacking most of its juvenile and neanic individuals (Schiebel and Hemleben, 2000). During times of maximum empty test production in April, small tests are three times more frequent at offshore Stations WH, A, and B (~60%) than at onshore Station D (~20%, Fig. II-7). Fossil assemblages at onshore locations near the shelf-break would hence be expected to contain significantly less small sized tests than assemblages further offshore. However, additional

data would be needed to confirm the size distribution of sediment assemblages of planktic foraminifera along water depth transects from the open ocean onto the shelf.

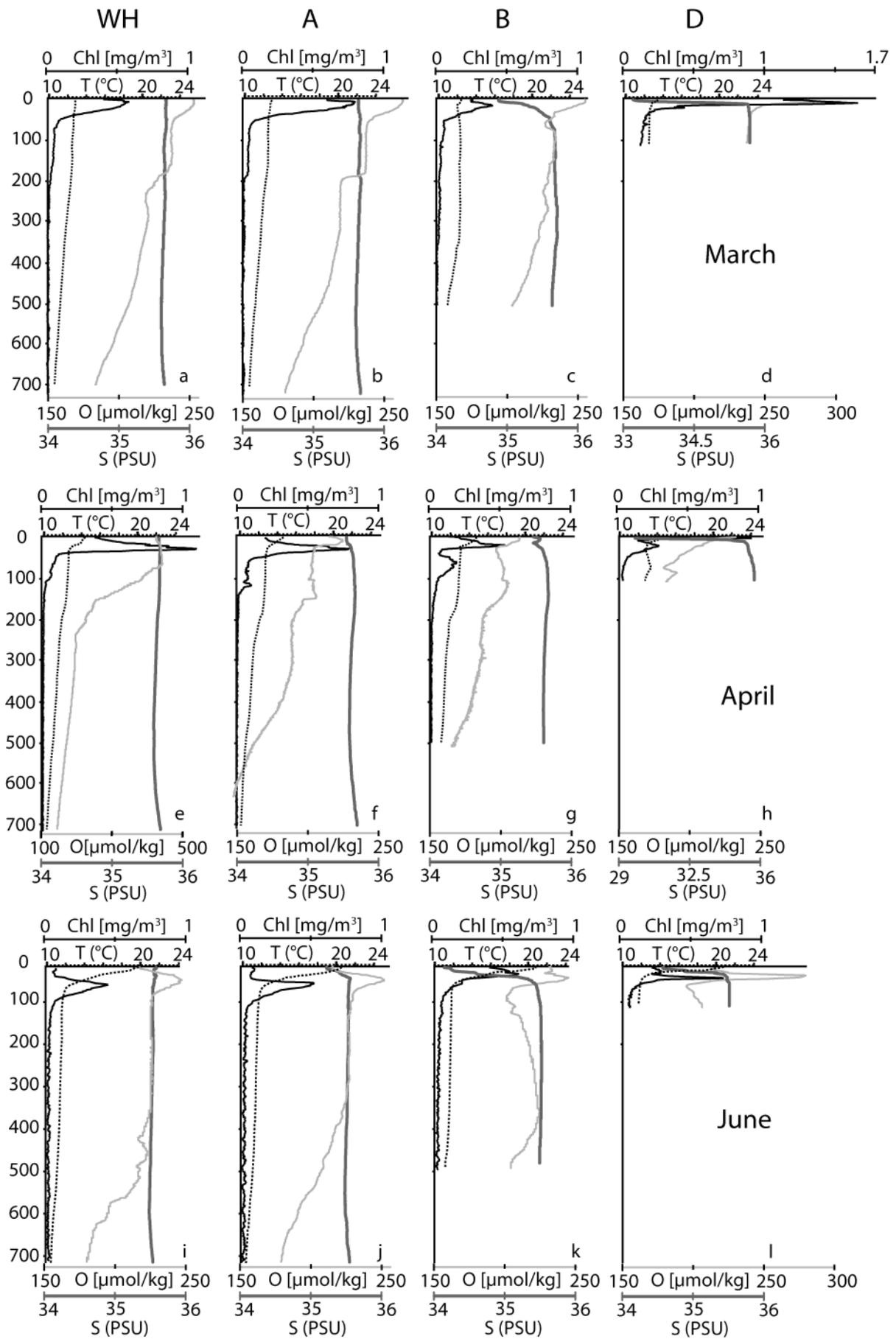
8. Conclusion

The distribution of living planktic foraminifera along a bathymetric transect in the southeastern Bay of Biscay reveals the production of planktic foraminifera in the shallow waters of a mid-latitude marginal environment. The distribution of empty tests reflects the seasonality of planktic foraminifera production. In spring, the abundance of living planktic foraminifera decreased from the hemipelagic ocean (2000 m water depth) towards the shelf (<200 m depth), in response to the availability of food, displayed by chlorophyll-*a* concentration in surface waters. Towards the coast, freshwater discharge from rivers caused decreased salinity in surface waters, which coincides with decreased chlorophyll-*a* concentration and decreased standing stocks of planktic foraminifera during spring and early summer. In late November, high standing stocks of planktic foraminifera occurred together with high chlorophyll-*a* concentration in surface waters near the coast. Our results indicate that the abundance of planktic foraminifera along the offshore-onshore transect in the southern Bay of Biscay, are mainly driven by the availability of food, and can be strongly affected by freshwater / nutrient input from rivers and mixing of the surface ocean.

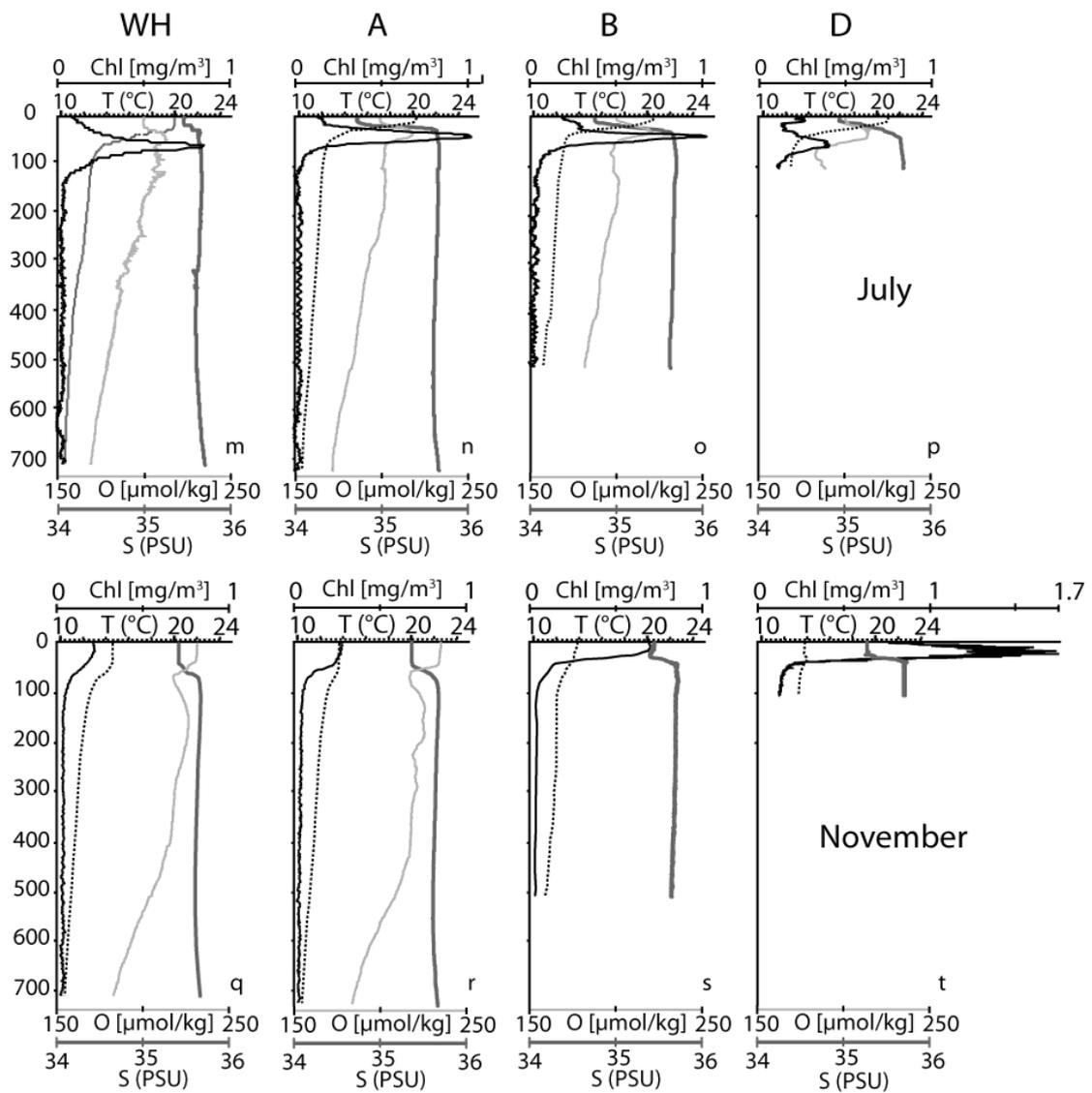
Acknowledgments

Crews of the R/V “Côte de la Manche” (CNRS-INSU) and engineers of Technical Department INSU are gratefully acknowledged for their help with sampling. We are grateful to Sophie Terrien for her help in sampling and processing of samples. We thank Bernard Le Cann and Alain Serpette for their kindness and help. We appreciate two constructive reviews, and helpful comments of the editor. This study was financially supported by the ANR (Agence Nationale de la Recherche, France) to FORCLIM, and by the Regional Council of Pays de la Loire.

Appendix A



Appendix A (suite)



CHAPITRE III

Ecologie des foraminifères planctoniques du Golfe de Gascogne

Chapitre III – Ecologie

Partie A

Distribution saisonnière des espèces des foraminifères planctoniques dans le Golfe de Gascogne

1. Méthode d'analyse des données

A partir des comptages des individus vivants et morts de foraminifères planctoniques de chaque niveau prélevé au filet à plancton (comptages bruts en Annexe A), des calculs de nombre de spécimens par mètre cube ont été effectués, en utilisant les données des fluxmètres, retranscrites en m³ dans l'Annexe A.

Les données seront décrites suivant un ordre saisonnier et non suivant l'ordre chronologique des missions océanographiques. La stratégie d'échantillonnage se voulait de couvrir différentes conditions hydrologiques et donc saisonnières, néanmoins, la disponibilité des bateaux océanographiques ainsi que les aléas météorologiques ne nous ont pas permis de recouvrir les saisons d'une seule et même année. Nous sommes donc contraints, afin d'observer un signal saisonnier, de réarranger l'ordre des missions pour obtenir une succession saisonnière cohérente.

Calcul des moyennes des paramètres hydrologiques pour les espèces de foraminifères planctoniques

Les données de température, salinité, oxygène dissout et fluorescence provenant des profils continus des capteurs de la CTD des différentes missions et stations furent moyennées pour chaque intervalle de prélèvement, permettant la comparaison avec les intervalles d'échantillonnage des filets à plancton. Afin de connaître les préférences de vie en terme de température, salinité et oxygène dissout de chacune des espèces de foraminifère planctoniques, nous avons pondéré les moyennes des valeurs hydrologiques par les abondances verticales de chacune des espèces (>100 µm) en spécimen par mètre cube (Tableaux III-1 et III-3).

Mean Depth Habitat

Le Mean Depth Habitat (MDH) ou profondeur moyenne de vie des foraminifères, développé par Schmuker et Schiebel (2002) et dérivé de l'ALD (Average Living depth) des foraminifères benthiques (e.g. Fontanier et al., 2002), a été calculé pour chaque espèce majeure. Ce calcul consiste en une moyenne pondérée de la profondeur de capture d'une espèce au regard de la distribution verticale de son abondance. Le MDH se calcule avec la formule suivante :

$$\text{MDH} = \left[\sum (n_z \times D_z) \right] / N$$

Où n_z est le nombre de spécimens par mètre cube dans l'intervalle échantillonné z , D_z la profondeur du centre de l'intervalle z (10, 30, 50, 70, 90, 150, 250, 400, 600 m) et N est le nombre total d'individus vivants par mètre cube prélevé dans toute la colonne. Les échantillons contenant moins de 1 sp.m⁻³ au total de l'assemblage de même que les espèces avec moins de 0,1 sp.m⁻³ ne furent pas pris en compte dans ce calcul. Le MDH fut calculé avec les concentrations trouvées aux Stations WH, A et B afin d'exclure les problèmes liés aux influences continentales observées à la Station D (Tableau III-1).

Indices de diversité

L'**indice de Shannon-Wiener** (H') est un indice écologique permettant de mesurer la diversité d'un assemblage constitué plusieurs espèces :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

i : une espèce du milieu d'étude

p_i : proportion de l'espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou richesse spécifique du milieu), qui se calcule de la façon suivante :

$$p_i = n_i / M$$

où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce i et M est l'effectif total (somme des individus de toutes les espèces).

Cet indice permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu d'étude et donc d'observer une évolution au cours du temps. Cet indice varie toujours de 0 à $\ln S$. Quand l'assemblage tend vers 0, la diversité est faible et inversement quand l'assemblage tend vers $\ln S$.

L'**Équitabilité** (E), découle de l'indice de Shannon-Wiener et indique sur la distribution des espèces dans l'assemblage.

$$E = H' / \ln S$$

L'équitabilité varie de 0 à 1 : elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce, et vers 1 lorsque toutes les espèces ont des abondances similaires.

2. Conditions hydrologiques

Les conditions hydrographiques au cours des campagnes océanographiques ont été décrites en détail dans le chapitre II, paragraphe 2 (Retailleau et al., 2009) et sont aussi présentées en Annexe A. Nous en faisons un rappel ci-dessous.

En Novembre, Mars et Avril, les températures de surface de la mer sont comprises entre 12 et 14°C, avec moins de 2°C de diminution dans les 100 premiers mètres. Les eaux de surface sont complètement mélangées en Mars aux Stations WH et A. Une stratification thermique des eaux de surface apparaît en Juin et Juillet avec une diminution de température de 7 à 9,5°C dans les 100 premiers mètres. En Avril, Juin et Juillet, le maximum de concentration en chlorophylle-*a* apparaît au niveau de la pycnocline, entre 20 et 60 m de profondeur. En Novembre et Mars, les maxima de chlorophylle-*a* sont présents dans les 15 premiers mètres de la Station D (~1,7 mg.m⁻³) alors que les plus faibles concentrations sont observées aux Stations WH et A en Novembre. L'occurrence de dessalure en surface de la Station D est observée toute l'année, avec différentes intensités : en Avril 2007 à près de 29,8 et en Mars 2008 à 33,2, en Juin et Juillet entre 34 et 35. Les Stations B et A peuvent aussi présenter des eaux de surface légèrement dessalées, notamment en Juillet et Novembre. Ces dessalures présentent différentes caractéristiques entre la fin de l'hiver et l'été, liées aux débits des fleuves et à leur charge en sédiments. Ces déversements pouvant provenir des fleuves Adour ou de la Gironde (Puillat et al., 2004).

L'hydrologie du Golfe de Gascogne est donc fortement influencée par les saisons, comme toute zone située aux moyennes latitudes.

3. Description des données

Les maxima de concentrations de foraminifères planctoniques dans le Golfe de Gascogne sont observés de Mars à Juin, avec une diminution graduelle des concentrations vers la côte (cf. chapitre II, Figure III-1). Les plus fortes concentrations sont retrouvées en Avril, en Station

WH avec une moyenne sur le colonne d'eau de 60 sp.m⁻³, et les plus faibles en Juillet. Novembre montre des caractéristiques différentes, avec de fortes concentrations en Station D, proche de la côte et de plus faibles concentrations aux stations plus au large, notamment WH.

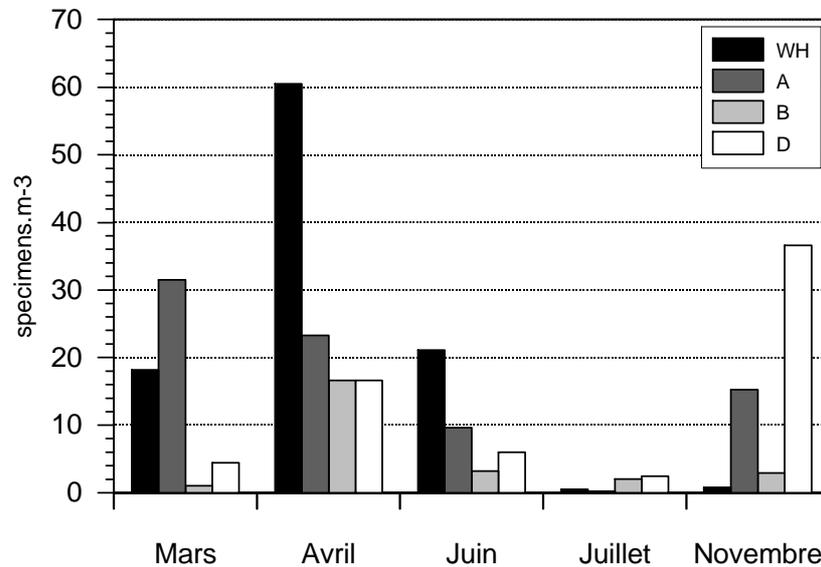


Figure III-1 : Concentration moyenne des foraminifères planctoniques vivants (en spécimen/m³) aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre.

Le long du transect bathymétrique étudié, 21 espèces de foraminifères planctoniques (>100 µm) ont été reconnues dans les 154 échantillons de filet à plancton récoltés au cours des cinq missions océanographiques aux Stations WH, A, B et D (Annexe A). Les six espèces les plus abondantes et retrouvées à chacune des missions sont *Globigerina bulloides*, *Globigerinella calida*, *Neogloboquadrina pachyderma* dextre, *Turborotalita quinqueloba*, *Globorotalia inflata* et *Globorotalia scitula*, représentant plus de 78% des assemblages. Les autres espèces retrouvées à différentes périodes et/ou en faibles quantités seront considérées comme des espèces mineures.

3.1. Distribution des espèces majeures

Nous allons dans un premier temps décrire les distributions verticales et spatiales des densités de chacune des six espèces majeures, suivant un ordre saisonnier en présentant les valeurs de MDH (Tableau III-1), ainsi que les moyennes de températures, de salinité et d'oxygène dissout pondérées par l'abondance de l'espèce (Tableau III-2).

MDH (Mean Depth Habitat)	<i>G. bulloides</i>	<i>G. calida</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>
Mars	42	37	30	39	37	77
Avril	40	42	57	35	67	101
Juin	47	45	52	54	76	256
Juillet	10	10	-	27	65	30
Novembre	45	51	40	37	52	196
Moyenne	41	40	47	39	60	145

Tableau III-1: Profondeur moyenne de vie des espèces majeures par saison et en moyenne sur l'année.

	T (°C)	std	O ₂ (µM/kg)	std	S (PSU)	std
<i>G. bulloides</i>	13,2	2,0	266,1	51,3	35,61	0,22
<i>G. calida</i>	13,1	1,8	160,0	57,1	35,51	0,19
<i>N. pachyderma dex</i>	12,8	1,8	271,2	52,7	35,52	0,16
<i>T. quinqueloba</i>	13,2	1,7	306,0	52,7	35,60	0,18
<i>G. inflata</i>	12,8	1,5	262,8	52,8	35,48	0,12
<i>G. scitula</i>	12,8	1,7	239,5	50,9	35,59	0,15

Tableau III-2 : Valeurs moyennes et écarts types (std) des préférences en température, oxygène dissout et salinité pour les espèces majeures sur toutes les stations.

Pour l'ensemble de notre échantillonnage, les spécimens de *G. bulloides* (Figures III-2 et III-3) sont fréquents dans les 100 premiers mètres et plus rares entre 100 et 500 m. Sa profondeur moyenne de vie (MDH) est de 40 m. Leur concentration décroît systématiquement de la Station WH vers la station la plus côtière, Station D. Leur plus grande abondance s'observe en Avril, avec un maximum d'abondance en Station WH, avec 44 sp.m^{-3} dans les 20 premiers mètres. En Mars et Juin, *G. bulloides* est bien représentée (entre 10 et 26 sp.m^{-3}) aux Stations du large WH et A, mais plus rare aux Stations B et D. Les plus faibles abondances se retrouvent en Juillet ($<2 \text{ sp.m}^{-3}$) à toutes les stations, avec des individus concentrés surtout en surface. En Novembre, *G. bulloides* est rare aux Stations WH, A et B, mais dépasse 8 sp.m^{-3} à la Station D. Les profondeurs de concentrations maximales de *G. bulloides* correspondent aux profondeurs des maxima de chlorophylle-*a*, de Mars à Juin aux stations situées au large. Seulement quelques spécimens ont été retrouvés dans les 20 premiers mètres de la Station D influencés par de faibles salinités en surface, en Mars, Avril et Juin. En Novembre, malgré une faible salinité de surface, *G. bulloides* réagit positivement à un très fort pic de chlorophylle-*a*. *G. bulloides* est présente dans des eaux de températures comprises entre 10 et 21°C , avec une moyenne pondérée à $13,2 \pm 2^\circ\text{C}$ (Tableau III-2).

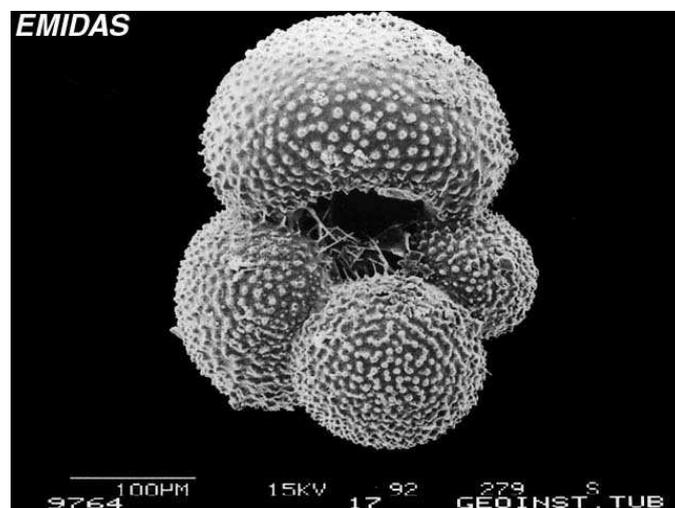


Figure III-2: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce *G. bulloides* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

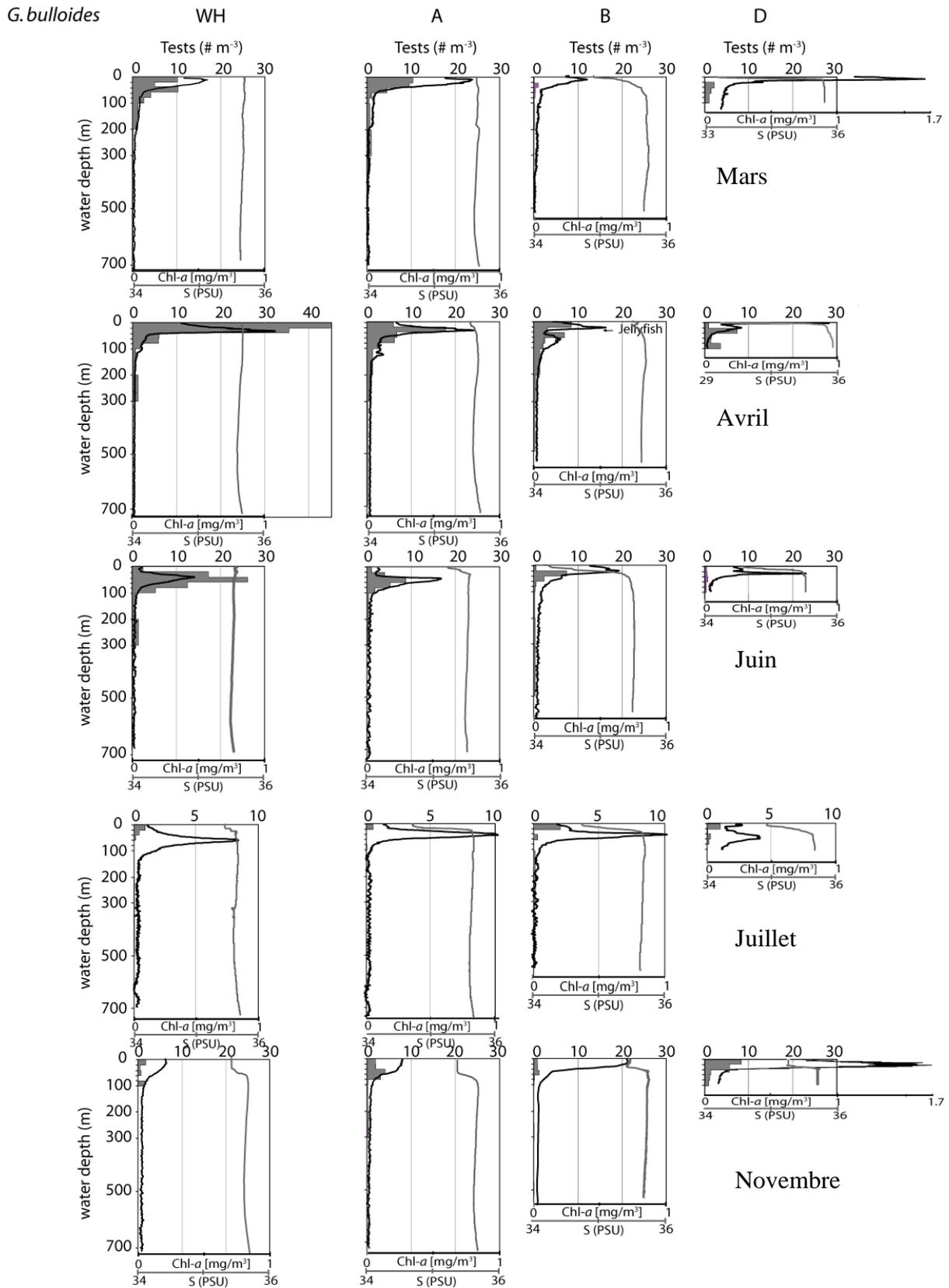


Figure III-3 : Répartition verticale des densités de *G. bulloides* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle-a (courbe noire, mg/m^3) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).

L'espèce *G. calida* (Figures III-4 et III-5) montre une préférence pour les premiers 80 m de la colonne d'eau, avec de faibles concentrations en deçà. Sa profondeur moyenne de vie (MDH) est de 40 m, et semble s'enfoncer vers les profondeurs en automne. Elle est retrouvée en abondance en Avril sur toutes les stations, en Novembre aux Stations A, B et D, et en Mars à la Station A. De très faibles abondances $<1 \text{ sp.m}^{-3}$ sont retrouvées en été (Juin et Juillet). En Novembre, *G. calida* montre une abondance très forte, de 68 sp.m^{-3} en Station D, entre 0 et 20 m, alors qu'elle est totalement absente en Station WH. Les maxima d'abondances de *G. calida* se situent dans les maxima de chlorophylle-*a* en Station WH et A en Avril, et en Station D en Novembre. Contrairement à *G. bulloides*, elle ne suit pas l'enfoncement du pic de chlorophylle-*a* en Juin, où elle disparaît pratiquement de la colonne d'eau. En revanche, un pic d'abondance est présent sous le pic de chlorophylle-*a* en Avril à la Station D et en Novembre à la Station A. En Avril, ce décalage pourrait s'expliquer par une dessalure de surface en Station D, où la salinité atteint 29,8, on remarque ainsi une augmentation des concentrations juste sous la loupe d'eau dessalée. En Novembre, la couche d'eau superficielle en Station A est dessalée avec un maximum chlorophylle-*a* faible, coïncidant avec pic d'abondance profond. A l'opposé en Station D, qui subit la même dessalure, un pic exceptionnel d'abondance est enregistré à la surface. On pourrait avancer qu'à cette période l'impact positif du fort taux de chlorophylle-*a* (Station D) peut compenser l'effet néfaste d'une dessalure (visible Station A). On ne peut exclure qu'un autre paramètre entre en jeu dans cette disparité. Les températures où ont été retrouvés les spécimens de *G. calida* sont entre 10 et 21°C, avec une moyenne pondérée à $13 \pm 1,8^\circ\text{C}$ (Tableau III-2). Cette espèce semble préférer des eaux nettement moins oxygénées que les autres espèces (taux d'oxygène dissout moyen de $160 \mu\text{M/kg}$).

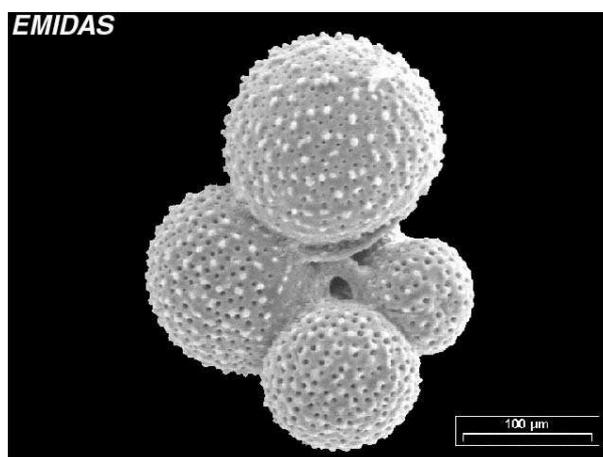


Figure III-4: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce *G. calida* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

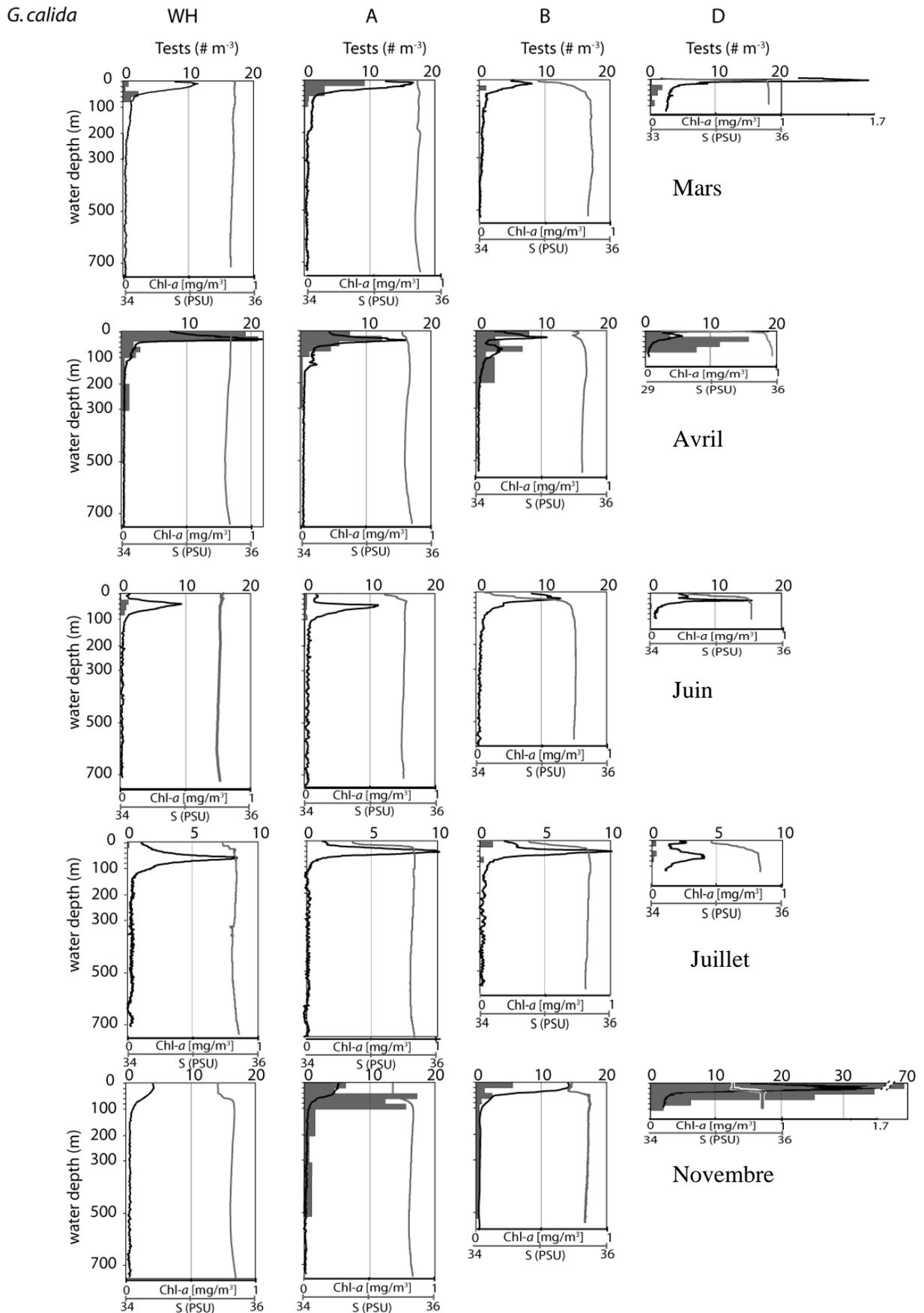


Figure III-5 : Répartition verticale des densités de *G. calida* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle-a (courbe noire, mg/m³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).

L'espèce *N. pachyderma dextre* (Figures III-6 et III-7) est retrouvée surtout dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau, mais peut s'observer jusqu'à 300 m. Elle vit à 30 m en moyenne en Mars et s'enfonce vers 55 m de profondeur en Avril et Juin (Tableau III-1). Elle n'est jamais importante aux Stations côtières B et D. La plus grande abondance a lieu en Mars dans les premiers 20 m de la Station A, avec une concentration de 45 sp.m^{-3} . Ses concentrations diminuent graduellement de Mars à Juillet, où elle devient rare ($<1 \text{ sp.m}^{-3}$). En Novembre, elle apparait seulement à la Station A, avec un maximum en surface à 5 sp.m^{-3} . Les maxima d'abondances se situent dans le maximum de chlorophylle-*a* en s'enfonçant dans la colonne d'eau de Mars à Juin. En Station D, au moment des plus fortes dessalures de surface (Mars, Avril et Juin), *N. pachyderma dextre* est totalement absente de la couche 0-20 m, et réapparaît au-dessous jusqu'à 4 sp.m^{-3} en Avril. Les spécimens de *N. pachyderma dextre* sont retrouvés entre 10 et 21°C et la température moyenne est d'environ $12,8 \pm 1,8^\circ\text{C}$ (Tableau III-2).

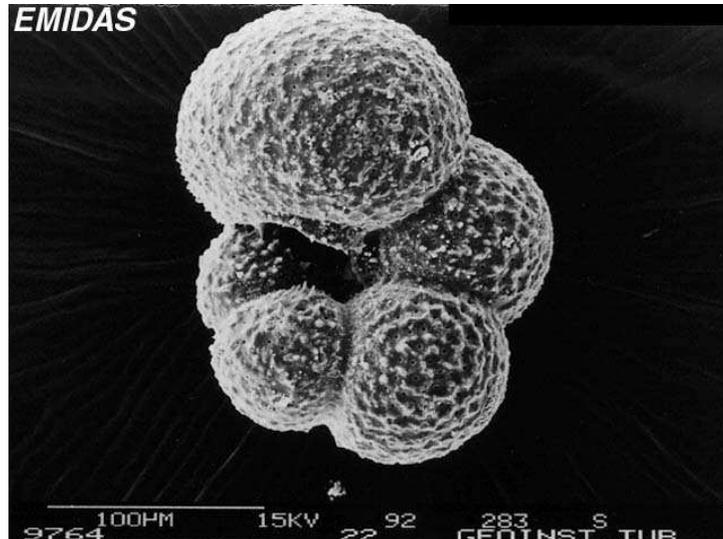


Figure III-6: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce *N. pachyderma dextre* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

N. pachyderma dextral

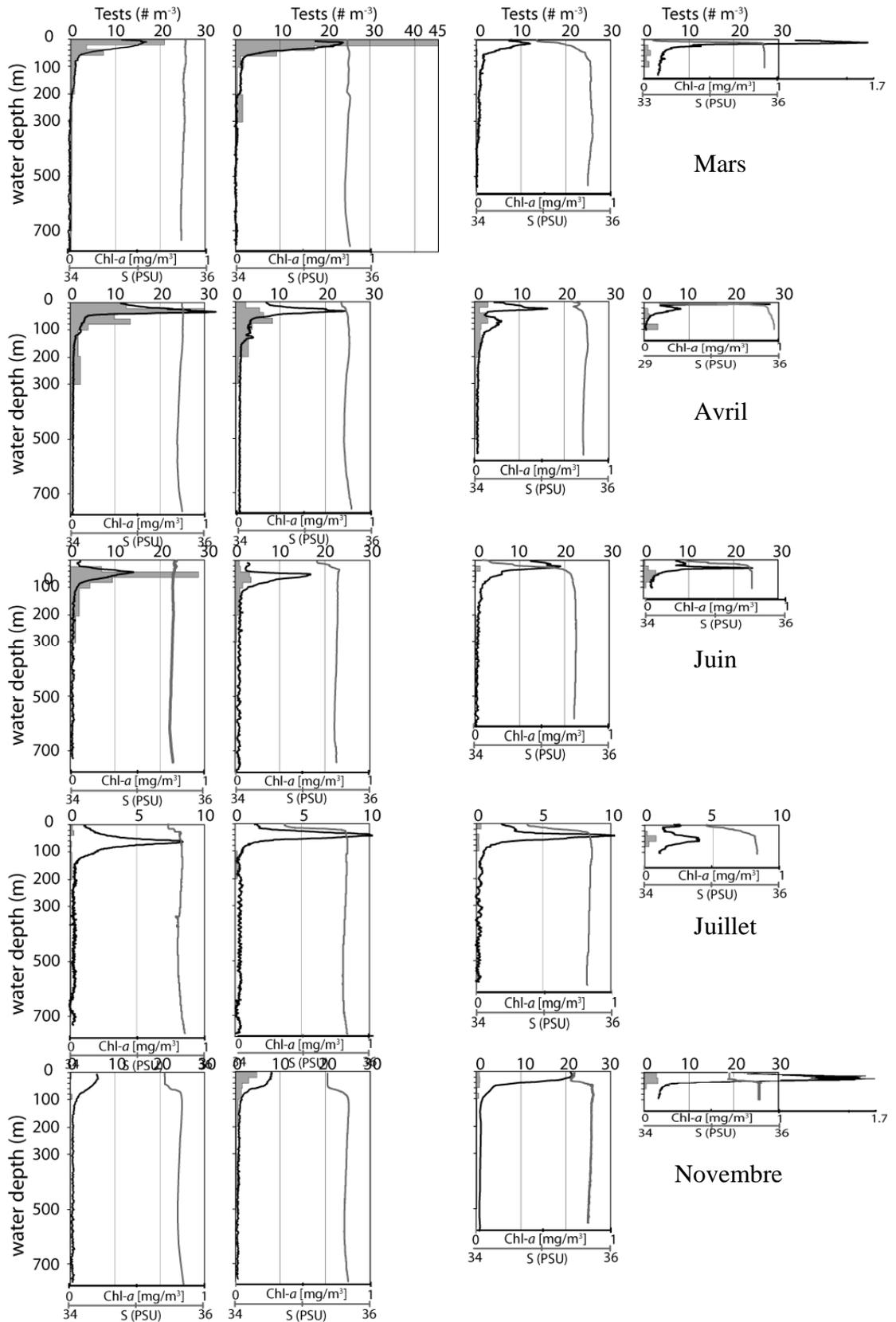


Figure III-7: Répartition verticale des densités de *N. pachyderma dextral* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle a (courbe noire, mg/m^3) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).

T. quinqueloba (Figure III-8 et III-9), petite espèce essentiellement présente dans la fraction 100-150 μm , est principalement retrouvée dans les 60 premiers mètres de la colonne d'eau et rare sous 300m. Elle vit en moyenne dans la couche 35-40 m, s'enfonce un peu en Juin (57 m) et remonte un peu vers la surface en Juillet, comme les espèces précédentes (Tableau III-1). Les plus grandes concentrations ont lieu en Avril aux stations les plus au large, avec une décroissance du large vers la côte. Le maximum est de 85 sp.m^{-3} dans les 0-20 m de la Station WH. Elle est aussi retrouvée en abondance en Mars et Juin ($>10 \text{ sp.m}^{-3}$), mais seulement dans les stations les plus distales, WH et A. En Juillet, c'est l'inverse, aucun spécimen ne fut collecté aux stations distales. En Novembre, on retrouve une concentration $>5 \text{ sp.m}^{-3}$ en surface à la Station D. Les profondeurs des maxima d'abondances sont fortement liées aux profondeurs des maxima de concentration en chlorophylle-*a*. De même que pour l'espèce précédente, *T. quinqueloba* est très rare à absente entre 0 et 20 m en Station D de Mars à Juillet, avec des concentrations plus fortes au dessous. Les spécimens de *T. quinqueloba* sont retrouvés entre 10 et 21°C, et la température moyenne est d'environ à $13,2 \pm 1,7^\circ\text{C}$ (Tableau III-2). Cette espèce semble préférer des eaux plus oxygénées que les autres espèces (taux d'oxygène dissout moyen de 300 $\mu\text{M/kg}$).

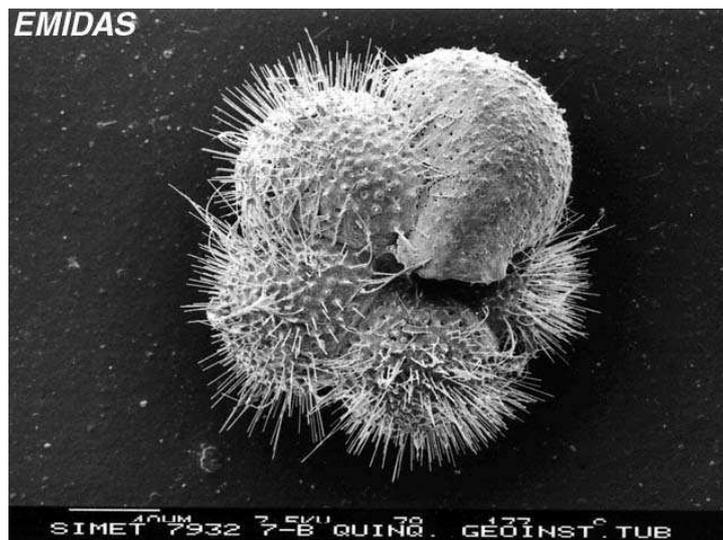


Figure III-8: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce *T. quinqueloba* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

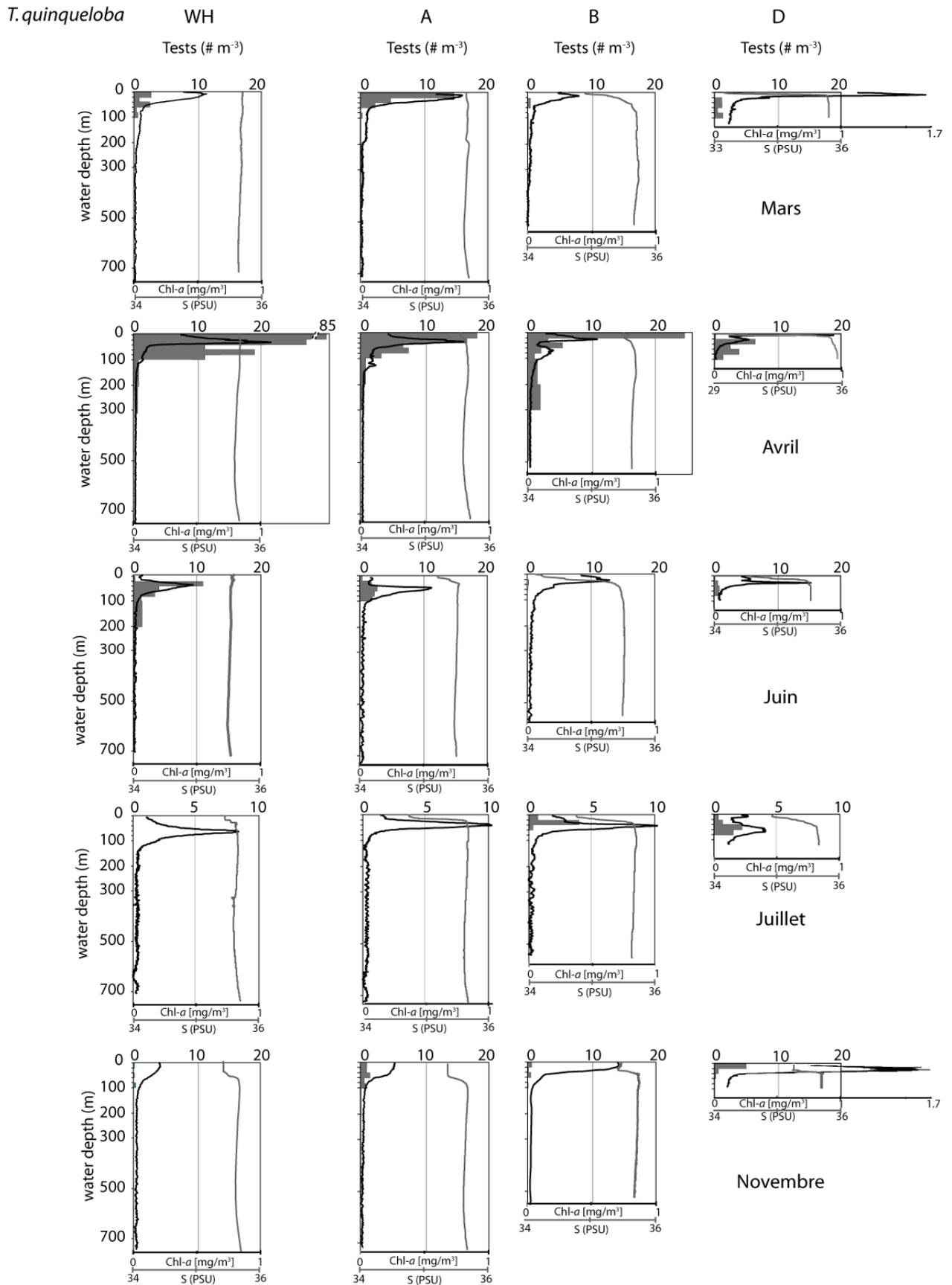


Figure III-9: Répartition verticale des densités de *T. quinqueloba* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle a (courbe noire, mg/m³); profil de salinité (courbe grise, PSU).

L'espèce *G. inflata* (Figures III-10 et III-11) est principalement retrouvée dans les 60 premiers mètres de la colonne d'eau. Elle est fréquente jusqu'à 200-300 m et rare sous 300 m. Sa profondeur moyenne de vie est de 60 m, mais elle s'enfonce nettement de 37 m en Mars à 76 m en Juin (Tableau III-1). *G. inflata* montre toujours des abondances plus importantes au large et n'excède jamais 5 sp.m^{-3} aux Stations B et D. Elle a été retrouvée essentiellement en Mars et Avril, avec un maximum d'abondance en Station A en Mars, de 38 sp.m^{-3} en surface. Après la période estivale où elle est rare, elle réapparaît en Novembre, avec $6,5 \text{ sp.m}^{-3}$ à 40-60m en Station A. En Mars, la profondeur de leur plus grande densité correspond à la profondeur du maximum de chlorophylle-*a*, puis aux autres périodes, *G. inflata* apparaît en dessous des pics de chlorophylle-*a*. Elle est retrouvée à la base de la thermocline en été. Sa température moyenne de vie est d'environ $12,8 \pm 1,5^\circ\text{C}$ (Tableau III-2).

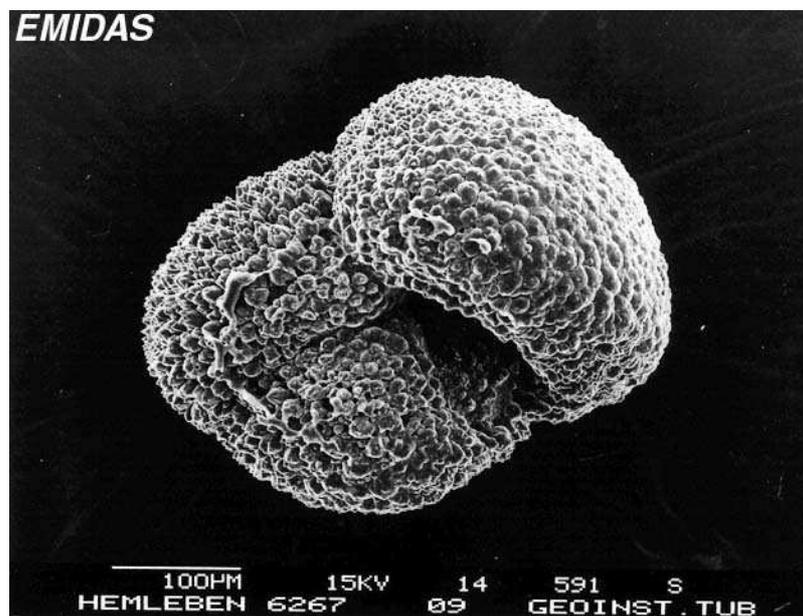


Figure III-10: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce *G. inflata* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

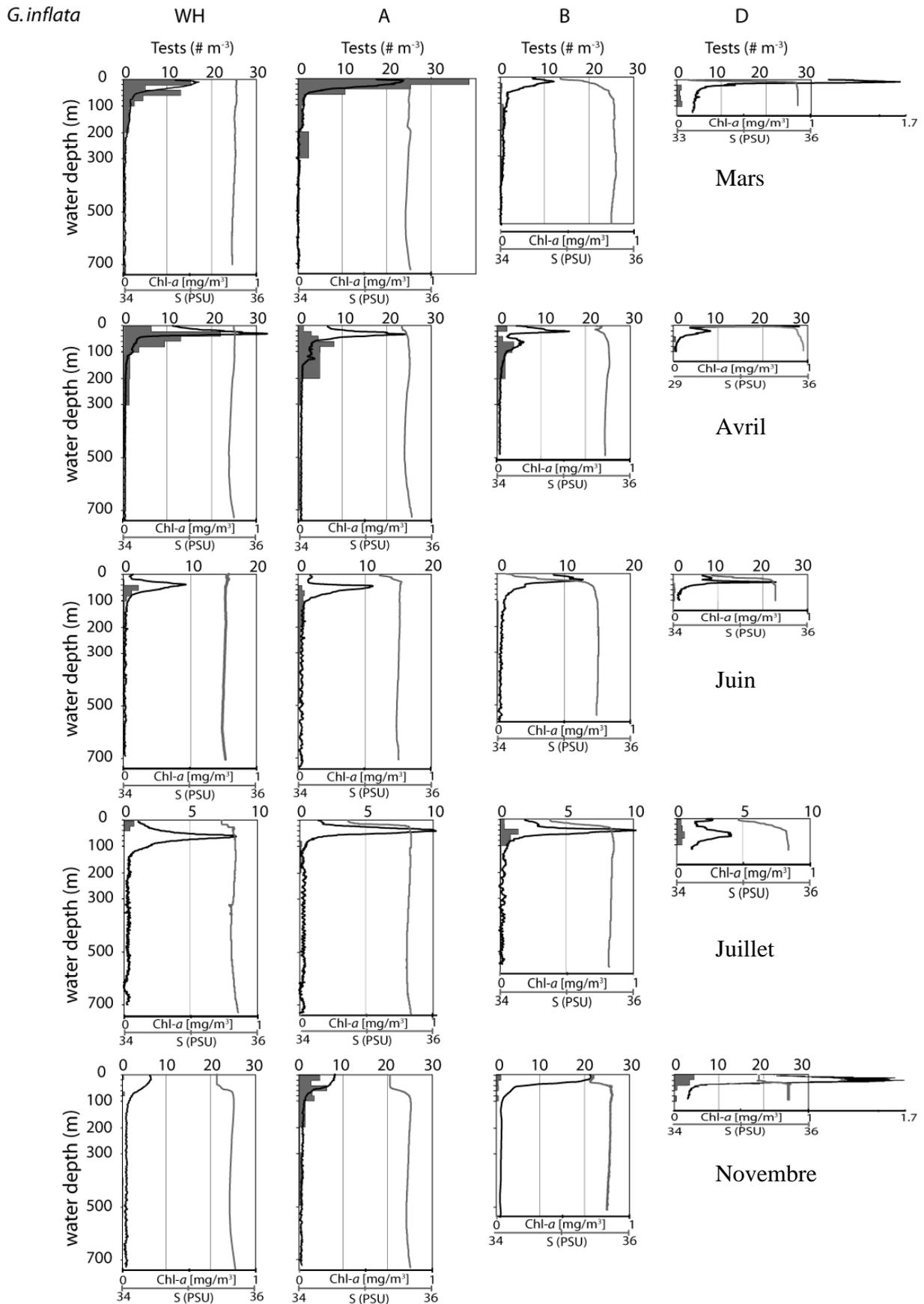


Figure III-11: Répartition verticale des densités de *G. inflata* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle a (courbe noire, mg/m^3) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).

L'espèce *G. scitula* (Figures III-12 et III-13) est retrouvée sur toute la colonne d'eau avec des abondances relativement importantes jusqu'à 500 m. Sa profondeur moyenne de vie est de 145 m (Tableau III-1), mais sa distribution verticale varie beaucoup en fonction des périodes. En Mars, la profondeur moyenne de *G. scitula* est de 77 m, et elle est abondante entre 20 et 60 m. En Avril, les spécimens sont retrouvés entre 20 et 300 m avec une profondeur moyenne d'environ 100 m, en Juin leur profondeur moyenne est d'environ 250 m et ils sont rares dans les 60 premiers mètres. Cette espèce s'enfonce donc nettement de Mars à Juin, puis remonte vers la surface en Juillet (MDH = 30 m) et replonge en Novembre (MDH = 96 m). *G. scitula* est abondante en Mars, avec un maximum en Station WH de 15 sp.m⁻³ entre 20 et 40 m. Elle est retrouvée en abondance en Juin aux Stations WH, A et B, sous de 100 m de profondeur (maximum de 9 sp.m⁻³ en Station A à 100-200 m), alors qu'elle se concentre dans les 20 premiers mètres de la Station D (9 sp.m⁻³). Avril, Juillet et Novembre sont pauvres en *G. scitula*, avec un maximum de 3,7 sp.m⁻³ en Station WH à 80-100 m et moins de 1 sp.m⁻³ sur toutes les stations en été et automne. Les maxima de concentrations se situent toujours sous les pics de chlorophylle-*a*, excepté en Station D en Juin. La température moyenne des abondances de *G. scitula* est de 12,8±1,7°C (Tableau III-2).

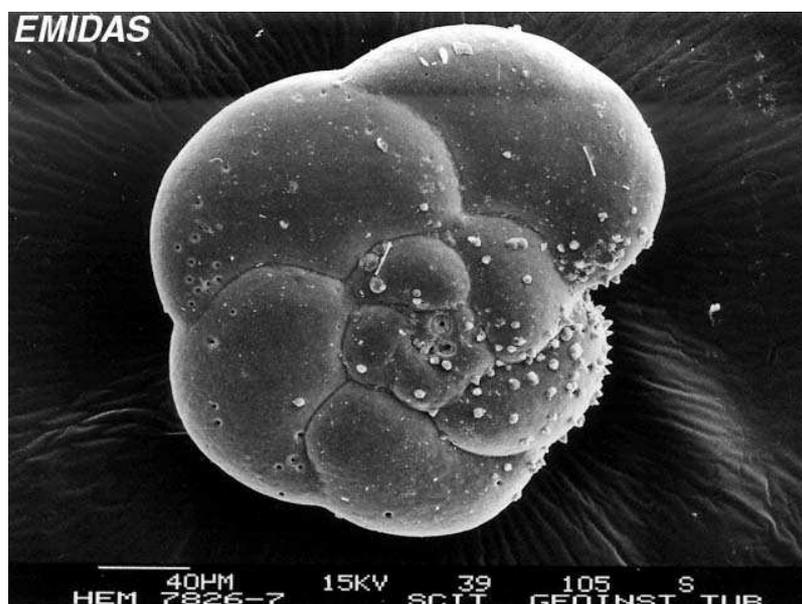


Figure III-12: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce *G. scitula* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

G. scitula

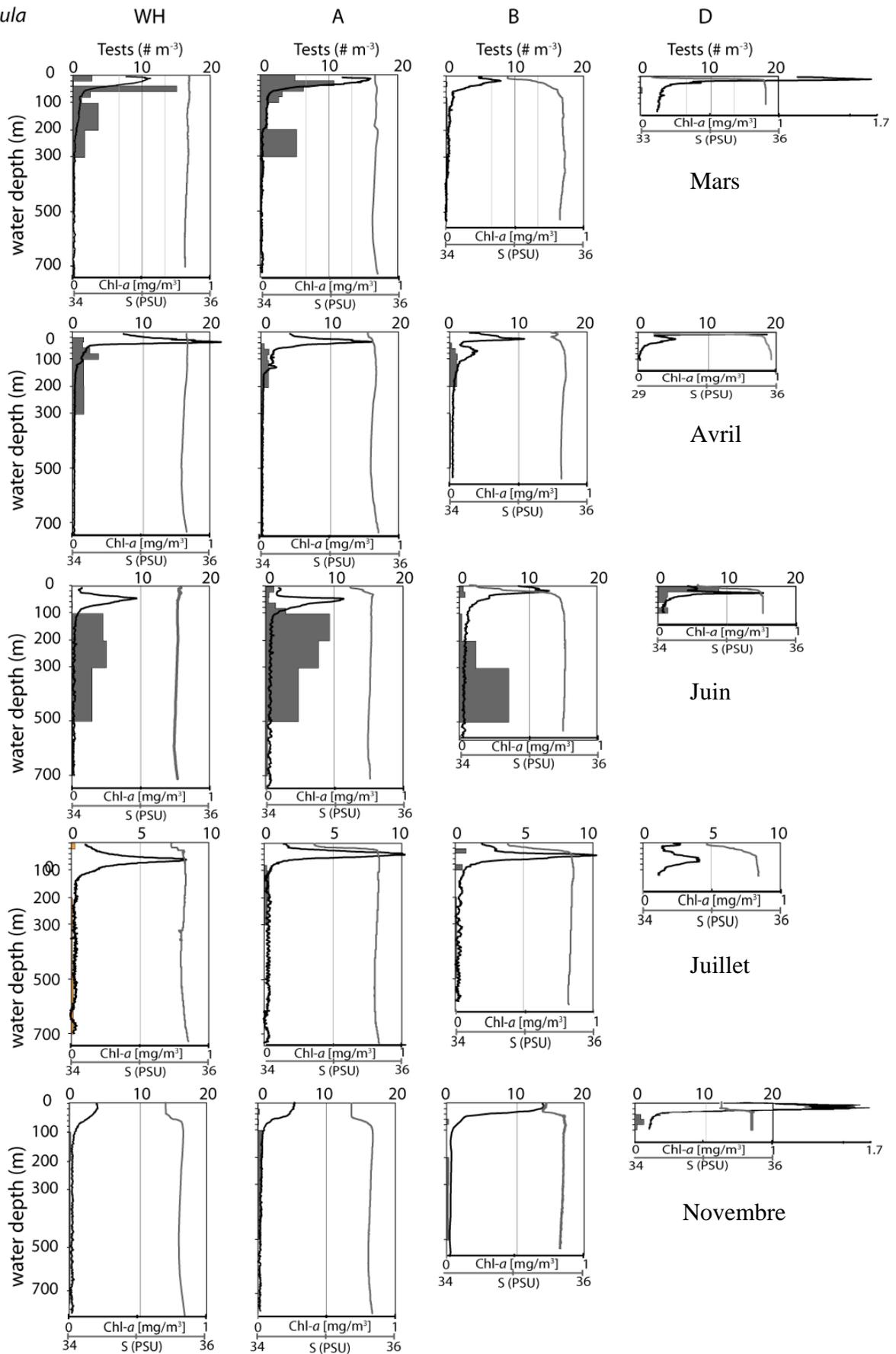


Figure III-13: Répartition verticale des densités de *G. scitula* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle a (courbe noire, mg/m^3) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).

3.2. Distribution des espèces mineures

Nous allons décrire la distribution verticale et saisonnière des espèces mineures et présenter les valeurs de MDH calculées sur les 5 missions, ainsi que leurs moyennes de températures, de salinité et d'oxygène dissout (Tableau III-3).

Les spécimens de *Globigerinita glutinata* (Figures III-14 et III-15) sont présents entre la surface et 300 m de profondeur, mais essentiellement concentrés dans les 60 premiers mètres, avec une profondeur moyenne de vie de 37 m (Tableau III-3). *G. glutinata* est totalement absente en Juillet. En Mars, elle n'est présente qu'à la Station A (8,5 sp.m⁻³ en surface) et montre les abondances les plus importantes en Avril avec un maximum de concentration en Station WH de 15 sp.m⁻³ entre 20 et 40 m. Ses concentrations décroissent alors vers les côtes. Elle est présente à des températures comprises entre 11 et 16°C avec une température d'abondance optimale de 13±0,8°C (Tableau III-3).

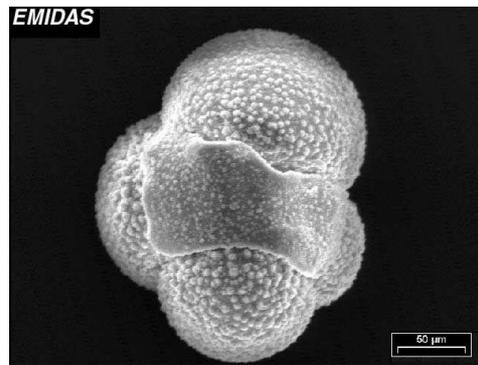


Figure III-14: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce *G. glutinata* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

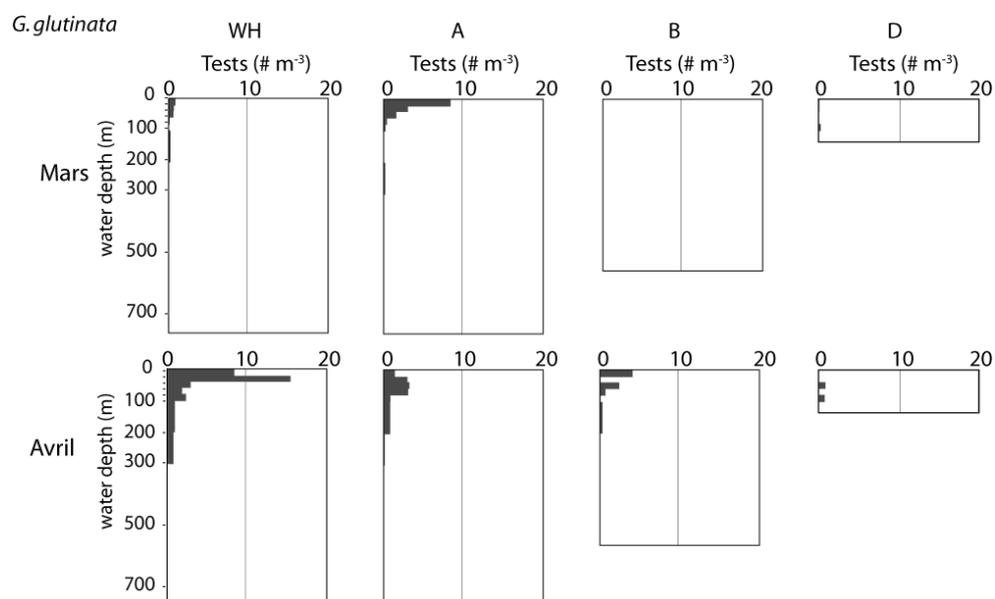


Figure III-15: Répartition verticale des densités de *G. glutinata* aux Stations WH, A, B, et D, en Mars et Avril. Profil de chlorophylle a (courbe noire, mg/m³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).

Globigerinita uvula (Figures III-16 et III-17) n'est observée qu'en Avril, jusqu'à 100 m de profondeur. Elle présente une forte abondance en Station WH entre 0 et 20 m (27 sp.m^{-3}). Ses concentrations diminuent rapidement vers les côtes, avec des concentrations entre 2 et 3 sp.m^{-3} aux Stations A et B, jusqu'à être rare à la Station D. Son maximum d'abondance en Station WH accompagne le maximum de chlorophylle-*a* et le maximum d'oxygène dissout.

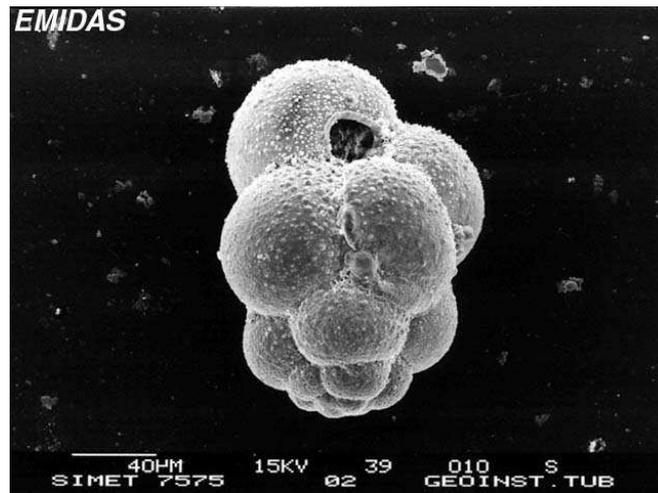


Figure III-16: Photographie au microscope à balayage électronique de l'espèce *G. uvula* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

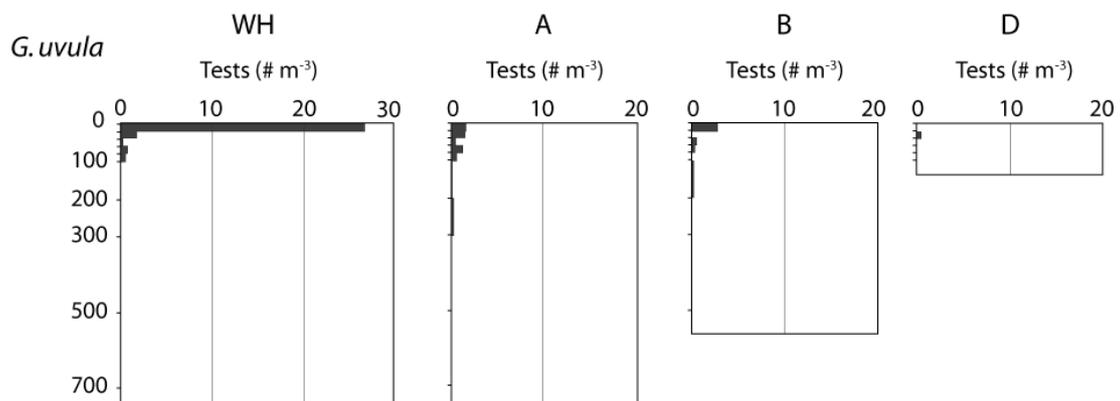


Figure III-17: Répartition verticale de *G. uvula* aux Stations WH, A, B, et D, en Avril. Profil de chlorophylle *a* (courbe noire, mg/m^3) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).

L'espèce *Orbulina universa* (Figures III-18 et III-19) a été retrouvée principalement sous la forme « Pre-Spherical Stage ». Elle a été retrouvée en abondance seulement en Juin, essentiellement dans les 40 premiers mètres. Le maximum de concentration a été mesuré entre 20 et 40 m à la Station WH (12 sp.m⁻³). Les densités décroissent vers la côte avec 5 sp.m⁻³ en surface de la Station D. Aux autres périodes, les concentrations n'excèdent pas 1 sp.m⁻³. Sa température moyenne de vie est de 15,8±2,8°C (Tableau III-3)

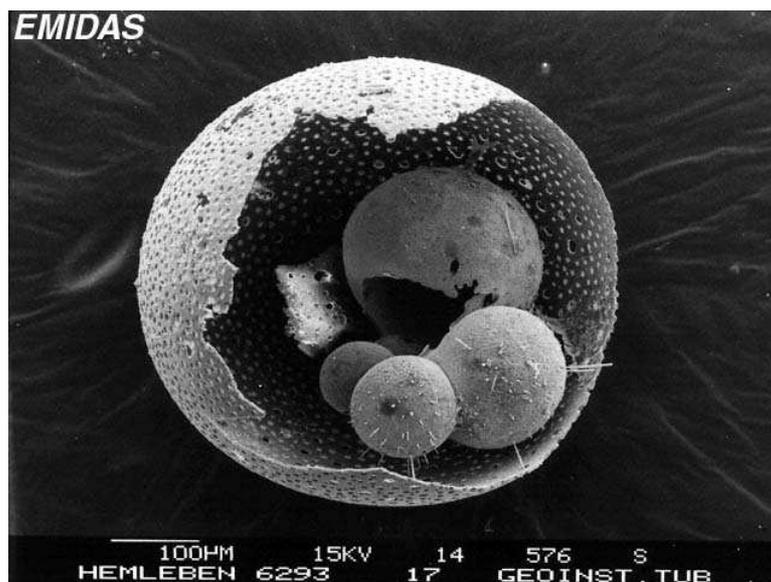


Figure III-18: Photographie au microscope à balayage électronique de l'espèce *O. universa* provenant du site internet EMIDAS (<http://www.emidas.org>).

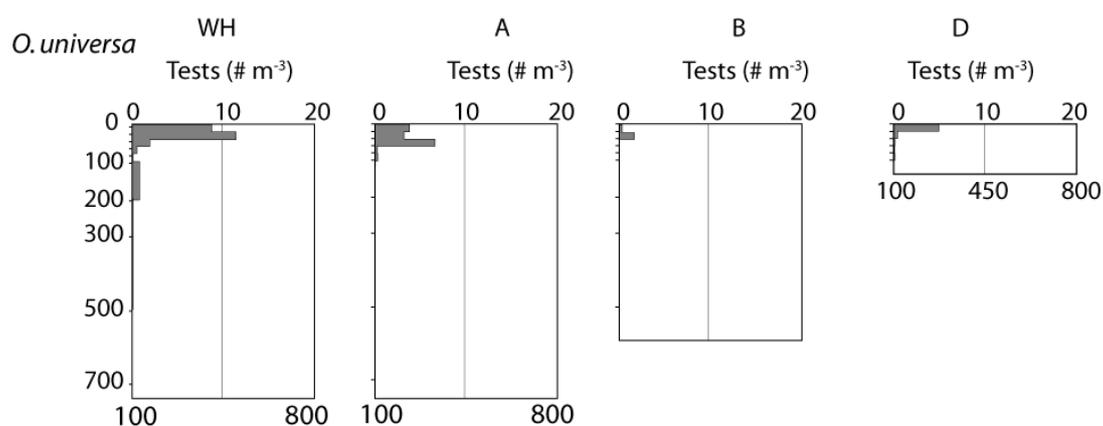


Figure III-19: Répartition verticale de *O. universa* aux Stations WH, A, B, et D, en Juin. Profil de chlorophylle a (courbe noire, mg/m³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).

Des spécimens de *Neogloboquadrina incompta* ont été reconnus en Avril et Juin. Présents sous 20 m de profondeur en Juin, leur maximum d'abondance est entre 20 et 40 m en Station WH en Avril, avec une concentration de 24 sp.m⁻³. Les autres concentrations n'excèdent jamais 1 sp.m⁻³. L'occurrence de cette espèce diminue drastiquement vers la côte dont aucun spécimen n'a été trouvé en Station D.

Entre *N. pachyderma* dextre et *Neogloboquadrina dutertrei* est défini le morphotype **PD-intergrade**, présentant moins de chambres par tour que *N. dutertrei*, et plus de 4, et ne présentant pas de dent. De tels spécimens ont été retrouvés aux Stations WH et A en Avril et Juin, avec un maximum en Station WH, entre 20 et 40 m à 6 sp.m⁻³.

Les spécimens de *Globorotalia hirsuta* ont été retrouvés uniquement en Mars et Avril et principalement aux stations du large. Aucun spécimen n'a été observé à la Station proximale D. La plus grande densité apparaît en Mars à la Station A entre 20 et 40 m avec 2,5 sp.m⁻³. La moyenne de profondeur change de 44 m en Mars à 115 m en Avril. Aucune *G. hirsuta* n'a été trouvée dans des températures supérieures à 13°C et a pour température moyenne de vie 12,5 ±0,6°C (Tableau III-3).

Quelques spécimens de *Globigerinoides trilobus* ont été retrouvés dans les 40 premiers mètres en Juin, Juillet et en Novembre. Le maximum d'abondance observé est de 1 sp.m⁻³ en surface de la Station D en Novembre. La température moyenne de vie calculée pour cette espèce est de 13,9±2,5°C (Tableau III-3).

Quelques rares spécimens de *Hastigerina pelagica* sont présents en Juin et Juillet sous 100 m de profondeur. Aucun de ces spécimens n'a été observé en Station D.

Quelques spécimens de *Globorotalia truncatulinoides* ont été reconnus en Mars, et un spécimen en Avril (Annexe A), seulement aux Stations les plus distales, WH et A. Les formes observées sont essentiellement sénestres.

Quelques rares formes de *Neogloboquadrina pachyderma senestre* ont été reconnues à toutes les périodes exceptées en Juillet, et ont des gammes de températures similaires aux dextres 12,9 ±1,9°C (Tableaux III-2 et III-3).

Quelques rares spécimens de *Globigerina falconensis*, *Globigerinella siphonifera*, *Turborotalita humilis*, *Orcadia riedeli*, *Hastigerina digitata* et *Globigerinella digitata* ont été reconnus (Annexe A).

Par rapport à la préférence en oxygène dissout des espèces majeures qui est en moyenne de 250 µM/kg, certaines espèces mineures semblent avoir des exigences en niveau d'oxygène qui sont très variables : *G. uvula*, *G. glutinata*, *PD intergrade* et surtout *N. incompta* semblent préférer des eaux plus oxygénées, alors que *G. trilobus sl.* *G. falconensis* sont dans des eaux légèrement sous-oxygénées (Tableaux III-2 et III-3).

	T (°C)	std	O (µM/kg)	std	S (PSU)	std	MDH (m)
<i>O. universa</i>	15,9	2,8	238,5	40,7	35,54	0,24	25
<i>G. trilobus sl.</i>	13,9	2,5	207,1	30,8	35,37	0,25	
<i>G. uvula</i>	13,4	0,7	371,9	99,4	35,66	0,07	26
<i>G. glutinata</i>	13,0	0,8	309,5	61,3	35,65	0,14	37
<i>G. falconensis</i>	13,0	1,2	202,1	25,1	35,65	0,02	
<i>N. pachyderma sen</i>	12,9	1,9	213,6	20,3	35,64	0,06	
<i>N. incompta</i>	12,7	0,9	410,9	63,2	35,68	0,03	44
<i>PD intergrade</i>	12,6	2,1	349,4	93,1	35,66	0,06	44
<i>G. truncatulinoides</i>	12,6	0,5	236,5	17,8	35,67	0,02	
<i>G. hirsuta</i>	12,5	0,6	260,2	65,9	35,67	0,02	79
<i>H. pelagica</i>	11,9	0,5	175,6	26,3	35,65	0,02	

Tableau III-3: Valeurs moyennes et écarts types (std) des préférences de température, oxygène et salinité par espèces mineures et leur profondeur moyenne de vie (MDH) pour les 5 périodes d'échantillonnage.

3.3. Succession saisonnière des assemblages

Basée sur les abondances des espèces de foraminifères planctoniques vivantes ainsi que les proportions de chaque espèce par rapport à la faune totale (échantillonnée sur l'ensemble de la colonne d'eau), nous remarquons une succession saisonnière des assemblages (Figure III-20). Le calcul de plusieurs indices de diversité (Tableau III-4) ainsi qu'une comparaison des espèces principales par des diagrammes ternaires (Figure III-21) ont été réalisés pour mieux observer les évolutions de ces assemblages.

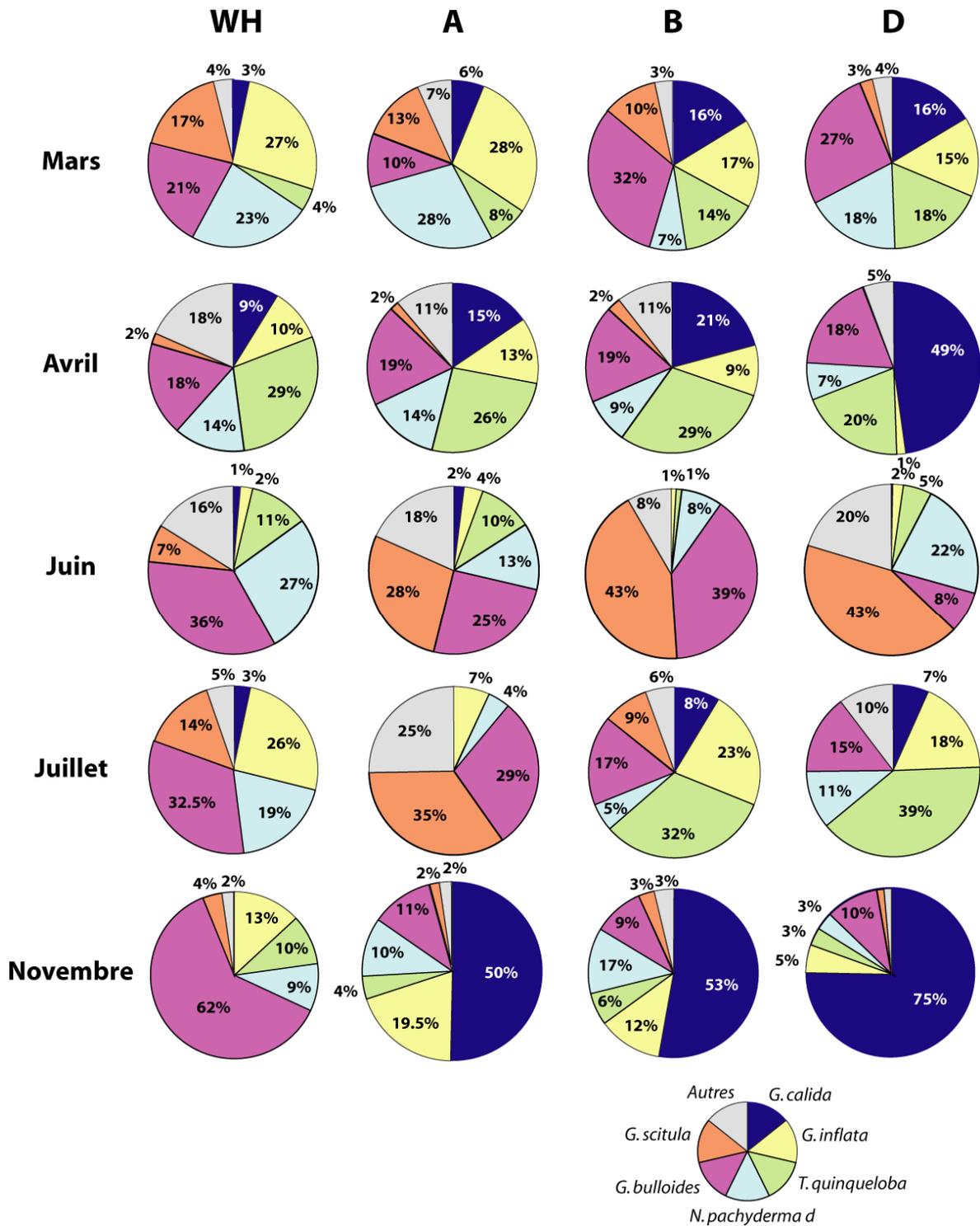


Figure III-20: Assemblages, sur toute la colonne d'eau échantillonnée, aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre.

En Mars, au large (Stations WH et A), on a noté de fortes abondances en foraminifères planctoniques (18 et 31 sp.m⁻³ respectivement) par rapport aux stations plus proximales B et D (1 et 4 sp.m⁻³) (Figure III-1). Les assemblages sont relativement équilibrés entre les espèces majeures, avec quelques variations entre les stations du large et les stations plus proximales. Au large, on trouve les plus forts pourcentages en *N. pachyderma* dextre, *G. inflata* et *G. scitula*. Parmi les espèces mineures, l'espèce *G. glutinata*, quelques spécimens de *G. hirsuta* et de *G. truncatulinoides* sont retrouvés dans ces stations. Les Stations B et D sont plus pauvres en espèces de foraminifères planctoniques et montrent des proportions plus importantes en *G. bulloides* (32 et 27% respectivement), *T. quinqueloba* (14 et 18% respectivement) et en *G. calida* (16%).

	WH			A			B			D		
	S	H'	E									
Mars	12	1,75	0,48	11	1,82	0,56	9	1,79	0,67	9	1,80	0,67
Avril	13	2,11	0,63	17	2,03	0,45	15	1,95	0,44	13	1,34	0,29
Juin	15	1,79	0,40	13	1,36	0,30	12	0,80	0,19	12	1,60	0,41
Juillet	7	1,43	0,60	7	1,43	0,60	8	1,90	0,83	9	1,58	0,54
Novembre	10	1,60	0,49	10	1,53	0,46	9	1,68	0,59	10	0,96	0,26

Tableau III-4: Indices de diversité : Nombre d'espèce (S), Indice de Shannon-Wiener (H') d'Équitabilité (E), pour chacun des assemblages.

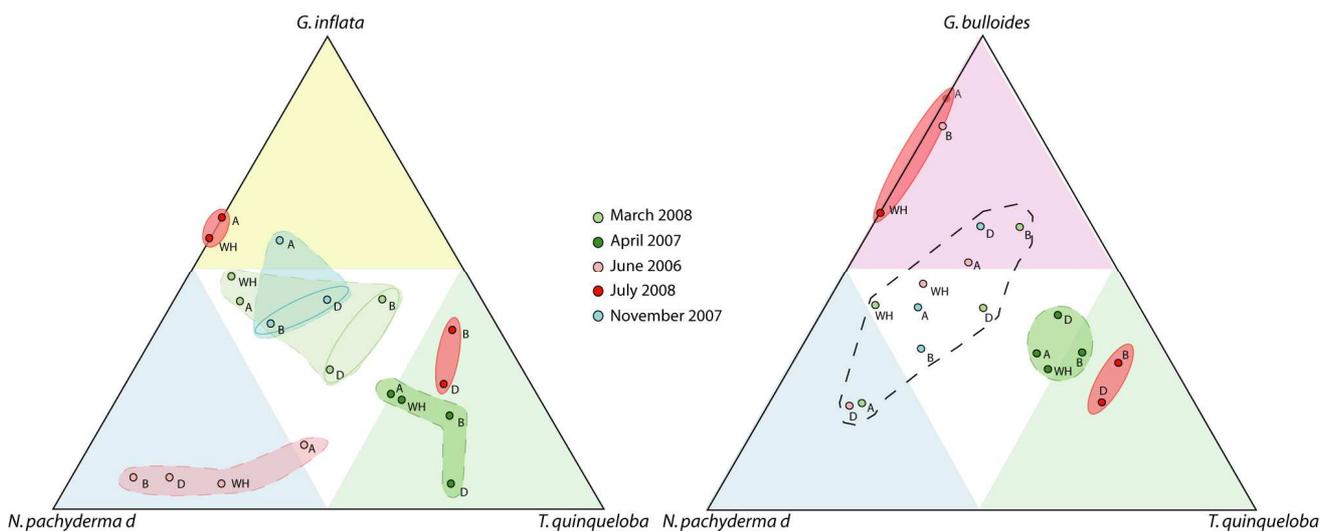


Figure III-21: Diagramme ternaire entre les espèces *N. pachyderma* dextre, *T. quinqueloba* et, à gauche *G. inflata* ; à droite *G. bulloides*, aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre.

En Avril, les abondances sont fortes avec une concentration totale (toutes espèces et tous niveaux confondus) passant de 60,5 à 17 sp.m⁻³ du large vers la côte (Figure III-1). Les assemblages sont très diversifiés avec des indices de Shannon-Wiener proches de 2, sauf en Station D. Les proportions entre *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et *T. quinqueloba* sont relativement similaires entre les 4 stations (Figure III-21). Cette période est caractérisée par les fortes abondances de *T. quinqueloba*, qui représente 20 à 30% des assemblages et l'espèce *G. bulloides* reste constante sur le transect (~18,5%). On observe la très nette augmentation du pourcentage de *G. calida* vers les côtes (de 9 à 49%) qui s'accompagne de la diminution relative de *N. pachyderma* dextre (de 14 à 7%), de *G. inflata* (de 13 à 1%) et de *T. quinqueloba* (29 à 20%). Des espèces mineures apparaissent en abondance en Avril aux Stations les plus au large comme *G. uvula*, *G. glutinata* et surtout *N. incompta* qui représente alors 4,5% de l'assemblage. L'espèce *G. scitula* est peu représentée dans les assemblages.

En Juin, les abondances sont encore importantes avec une concentration totale (toutes espèces et tous niveaux confondus) passant de 21 à 6 sp.m⁻³ du large vers la côte, qui sont marquées par une abondance de *G. bulloides* et de *N. pachyderma* dextre dans les premiers 100 m, et par des *G. scitula* sous 100 m. A la différence des autres périodes les proportions en *G. inflata* sont plus faibles. La diversité est faible en Station B essentiellement représentée par des spécimens de *G. bulloides* et *G. scitula*.

En Juillet, les abondances de toutes les espèces sont les plus faibles des périodes échantillonnées. Elles sont très faibles en WH et A, avec une concentration totale (toutes espèces et tous niveaux confondus) de 0,5 et 0,2 sp.m⁻³ respectivement, où les assemblages sont constitués essentiellement de *G. bulloides* et *G. scitula*. Les abondances deviennent un peu plus importantes aux Stations B et D, avec une concentration totale de 2 à 2,4 sp.m⁻³ respectivement. En Stations B et D, les assemblages sont similaires, avec des *T. quinqueloba* à plus de 32%, *G. inflata* à plus de 18%, *G. bulloides* à plus de 15% et quelques *G. calida*.

En Juin et Juillet, des spécimens de *H. pelagica* ont été retrouvés sous 100 m de profondeur.

En Novembre, les abondances sont importantes en Station A et D (15 et 37 sp.m⁻³ respectivement) alors que WH et B sont beaucoup plus pauvres (1 et 3 sp.m⁻³ respectivement). La Station WH est fortement dominée par *G. bulloides* alors que *G. calida* domine dans les autres stations avec une augmentation nette vers la côte, de 50% à 75% de l'assemblage. Cette domination de *G. calida* en Station D explique les faibles indices de diversité calculés

pendant cette période (Shannon-Wiener de 0,96 et équitabilité, de 0,26). L'espèce *G. scitula* est peu représentée dans les assemblages, comme en Avril.

4. Distribution saisonnière des espèces de foraminifères planctoniques et relation avec les facteurs environnementaux

La distribution mondiale des espèces de foraminifères planctoniques montre une forte corrélation avec les climats (e.g. Tolderlund et Bé, 1971 ; Bé et Tolderlund, 1971 ; Bé, 1977). Par conséquent, la température semblerait jouer un rôle important sur leur distribution. Néanmoins, dans le Golfe de Gascogne, les quantités de foraminifères planctoniques ne sont pas être corrélées directement aux températures. Les températures de surface qui varient avec les saisons de 12 à 21°C, n'empêchent pas certaines espèces de perdurer toute l'année.

Les quantités de foraminifères sont connues pour suivre les concentrations en chlorophylle-*a* (Fairbanks et Wiebe, 1980; Schiebel et al., 2001; Retailleau et al., 2009). Les plus grandes abondances de foraminifères planctoniques sont retrouvées au moment des blooms phytoplanctoniques printaniers ou automnaux, alors que les températures sont basses et leurs abondances décroissent fortement avec le développement de la thermocline estivale (Bé, 1960; Tolderlund et Bé, 1971 ; Bé, 1977; Retailleau et al., 2009). La thermocline formée en été forme une barrière physique, limitant les échanges avec les profondeurs, entraînant une déplétion des nutriments en surface et limitant la productivité biologique.

Les foraminifères planctoniques sont abondants de Mars (début du bloom de printemps) à Juin (fin du bloom de printemps), en liaison avec de fortes concentrations en chlorophylle -*a*. Mais les populations sont pauvres en Juillet, bien que les concentrations en chlorophylle-*a* ne soient pas négligeables (>0,5 µg/l; cf. Chapitre II). Ceci pourrait être expliqué par un changement de la composition du phytoplancton ; les diatomées sont dominantes au printemps, puis la flore est dominée par les coccolithes et les dinoflagellés en été dans le Golfe de Gascogne (Tréguer et al., 1979 ; Longhurst, 1998 ; Lampert, 2001; Marquis et al., 2007; Retailleau et al., 2009).

La température ne serait donc pas un facteur direct sur la quantité des foraminifères, mais indirect et agirait sur la disponibilité en nutriments et donc sur la production primaire ainsi que sa qualité. La production primaire est le principal facteur contrôlant les assemblages et les quantités des foraminifères planctoniques (Bé et Tolderlund, 1971; Fairbanks et Wiebe, 1980; Hemleben et al., 1989; Schiebel et al., 2001 ; Retailleau et al., 2009) et les variations d'abondances des foraminifères planctoniques semblent suivre le cycle saisonnier de

productivité du phytoplancton (Tolderlund et Bé, 1971 ; Bé, 1977 ; Fairbanks et Wiebe, 1980 ; Schiebel et al., 2001). Les assemblages des espèces du Golfe de Gascogne varient ainsi avec les saisons avec des variations d'abondances des espèces majeures et de présence-absence des espèces mineures. Différentes périodes peuvent être caractérisées par différentes espèces.

4.1. Situation de fin d'hiver - début de bloom phytoplanctonique

La période de fin d'hiver-début de printemps, Mars, peut être distinguée par de fortes abondances en *N. pachyderma* dextre, *G. inflata* et *G. scitula*, et une relative abondance de *G. glutinata*. Les maxima d'abondance ces trois espèces apparaissent dans les Stations du large (WH et A) dans les 20 premiers mètres, révélant une réaction à des conditions similaires. Rappelons la présence de spécimens de *G. hirsuta* et *G. truncatulinoides* dans les 700 m de la colonne d'eau à ces stations distales.

Dans la littérature, *G. inflata* est connue pour être abondante au niveau des fronts océaniques (Rohling et al., 1995 ; Schiebel et al., 2002 ; Annexe D) et préférer les eaux homothermales créées en hiver (Coulbourn et al., 1980 ; Ganssen et Saarnthein, 1982 ; Ottens, 1992 ; Ufkes et al., 1998 ; Annexe D) et *N. pachyderma* dextre est retrouvée abondante dans les zones de hautes productivités primaires aux moyennes à hautes latitudes, avec une préférence pour les blooms de diatomées (Reynolds et Thunell, 1985 ; Pujol et Vergnaud-Grazzini, 1989 ; Ufkes et Zachariasse, 1993 ; Salgueiro et al., 2008).

Dans le Golfe de Gascogne, les diatomées sont un des premiers groupes de phytoplancton à réagir au redoux printanier (Lampert, 2001) par des blooms se situant au centre du Golfe de Gascogne. L'association des abondances des trois espèces *N. pachyderma* dextre, *G. inflata* et *G. glutinata* et des blooms de diatomées observées au large et au printemps, laisse supposer à une préférence aux diatomées dans leur régime alimentaire (Spindler et al., 1984; Hemleben et al., 1989; Schiebel et al., 2001). L'abondance des trois espèces *N. pachyderma* dextre, *G. inflata* et *G. glutinata* pourraient donc indiquer le début du bloom phytoplanctonique dans le Golfe de Gascogne. *G. glutinata* fut d'ailleurs considérée comme indicatrice de début du bloom par Schiebel et al. (2001).

Les espèces *G. hirsuta* et *G. truncatulinoides* sont des espèces qui n'ont été retrouvées dans les eaux de surface qu'en hiver – début printemps (Healy-Williams et al., 1985 ; Schiebel et al., 1995 ; Schiebel et Hemleben, 2005 ; Lončarić et al., 2007), comme observé dans notre étude.

4.2. Situation de bloom printanier

Les plus grandes abondances de foraminifères planctoniques apparaissent au printemps (Avril). Parmi les espèces majeures, seules *G. bulloides* et *T. quinqueloba* montre son maximum d'abondance en Avril, avec *G. uvula* et *G. glutinata* parmi les espèces mineures (Figure III-22). Ensemble elles composent 22 à 41% des assemblages d'Avril et atteignent 24 sp.m⁻³ de concentration moyenne en Station WH. Les espèces *N. pachyderma* dextre, *G. bulloides*, *G. inflata* et *G. calida* sont toujours abondantes dans les assemblages.

Les maxima d'abondance de *G. bulloides*, *T. quinqueloba* et *G. uvula* en Station WH en Avril, coïncident avec des eaux non stratifiées, riches en oxygène dissout et avec une production primaire importante (bloom de printemps), confirmant de précédentes observations (e.g. Parker, 1971; Bé and Tolderlund, 1971; Hemleben et al 1989; Boltovskoy et al., 2000; Peeters, 2000). L'abondance de *T. quinqueloba* dans les assemblages est communément interprétée dans les moyennes latitudes, comme une réponse à des environnements d'upwelling ou riches en nutriments (Bé, 1977 ; Giraudeau, 1993 ; Schiebel et al., 2000).

T. quinqueloba, *G. uvula* et *G. glutinata* sont des espèces de petites tailles et sont essentiellement retrouvées dans la fraction 100-150 µm. Dans les grands principes écologiques, les espèces de petites tailles, montrant de fortes abondances lors d'une période particulière sont communément considérées comme ayant un comportement opportuniste (Lêveque, 2001). Le brusque développement printanier du phytoplancton entraîne des changements importants dans le réseau trophique, induisant une adaptation rapide du zooplancton face à ces profusions. L'abondance d'espèces de petites tailles, pouvant avoir un comportement opportuniste, indiquerait donc une adaptation face à ces changements et pourrait caractériser cet évènement saisonnier du bloom printanier. Par conséquent, les fortes densités de *T. quinqueloba*, *G. uvula* et *G. glutinata* peuvent être regardées comme des espèces marqueuses du bloom phytoplanctonique printanier dans le Golfe de Gascogne. Cette période peut être aussi précisée par la présence additionnelle de quelques spécimens de *G. hirsuta* dans les assemblages, pouvant préciser la période printanière de ces assemblages.

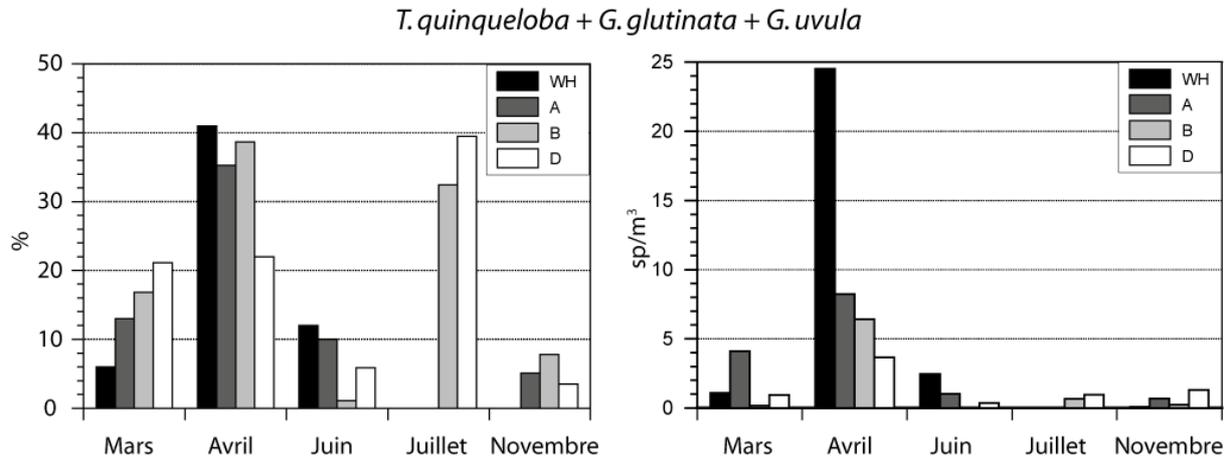


Figure III-22: Proportions et concentrations moyennes des espèces *T. quinqueloba*, *G. glutinata* et *G. uvula* aux Stations WH, A, B et D aux cinq différentes périodes.

L'abondance de spécimens de l'espèce *G. bulloides* est souvent considérée comme marqueur d'environnements d'upwelling aux basses latitudes (e.g. Bé et Tolderlund, 1971 ; Thiede, 1975 ; Bé et Hutson, 1977 ; Mücke et Oberhansli, 1999; Peeters, 2000 ; Ivanova, 2000; Salgueiro et al., 2008).

Dans notre étude, les spécimens de *G. bulloides* sont retrouvés de façon ubiquiste à toutes nos périodes d'échantillonnage, bien qu'en plus grandes abondances en situation de bloom (Avril) et de post-bloom (Juin). Leurs distributions verticales sont fortement liées à la distribution verticale du maximum de chlorophylle-*a*, révélant une dépendance par rapport à la nourriture.

4.3. Situation de fin de bloom printanier

Le début de l'été (Juin) est considéré comme une situation de post-bloom et est caractérisé par une abondance de *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre. Ces deux espèces sont caractéristiques d'environnements relativement riches en nutriments (e.g. Bé et Tolderlund, 1971 ; Thiede, 1975; Sautter et Thunell, 1991; Ufkes et Zachariasse, 1993 ; Mücke et Oberhansli, 1999; Peeters, 2000; Ivanova, 2000; Salgueiro et al., 2008).

L'abondance d'*O. universa* dans les 100 premiers mètres et de *G. scitula* sous 100 m de profondeur distinguent cette assemblage de Juin. Rappelons que quelques spécimens de *H. pelagica* sont retrouvés sous 100 m de profondeur. *O. universa* est considérée comme une espèce d'eaux chaudes et en symbiose avec des dinoflagellés (Spero, 1987 ; Hemleben et al., 1989) et *G. scitula* comme une espèce profonde (e.g. Bé, 1977, Hemleben et al., 1989) avec une probable affection pour une matière organique faiblement labile. L'apparition en nombre des ces 2 espèces témoigne d'un environnement se raréfiant en nutriment ou phytoplancton

digestes aux foraminifères planctoniques. Cette diminution serait liée à la mise en place de la thermocline et amènerait des espèces plus adaptées à ces environnements plus pauvres.

4.4. Situation estivale

L'été, avec ses eaux stratifiées, est très peu favorable au développement des foraminifères planctoniques, notamment aux Stations du large WH et A. Aux Stations proximales, B et D, la faune est légèrement plus riche avec un assemblage dominé par la présence de *T. quinqueloba*. Les profondeurs moyennes de vie des espèces sont relativement moins profondes qu'en Juin.

4.5. Condition automnale - hiver

En automne, la faune de foraminifères planctoniques se développe de façon sporadique avec une abondance maximale en milieu côtier (Station D). Cette faune automnale est largement dominée par *G. calida*. Cette espèce est souvent reconnue comme une espèce tropicale à subtropicale, vivant en milieu oligotrophique (Schmuker et Schiebel, 2002). Elle est ici retrouvée dans des conditions relativement abondantes en chlorophylle-*a* (~1,7 mg.m⁻³) en Station D et à des températures de 13°C en moyenne.

En automne, aux moyennes latitudes, des blooms sporadiques de dinoflagellés apparaissent (e.g. Longhurst, 1998 ; Schiebel et al., 2001 ; Lavender et al., 2004) pouvant être liés à des redistributions de nutriments en surface par des évènements d'upwelling, déclenchés par la destruction progressive de la thermocline estivale. Le contexte marginal de nos stations accentue ce phénomène, de plus, la Station D se situe à proximité du canyon sous marin de Cap Breton et pourrait être le site privilégié de tels évènements d'upwelling.

G. calida prolifèrerait grâce au foisonnement de dinoflagellés et deviendrait dominante lors de ces pulses automnaux. L'abondance de spécimens de *G. calida* pourrait être alors indicateur de blooms automnaux dans le Golfe de Gascogne.

Selon de précédentes observations, on aurait pu s'attendre à avoir une dominance de *G. bulloides*, caractérisée comme une espèce d'upwelling ou d'environnement riches en nutriments (e.g. Bé et Tolderlund, 1971 ; Bé et Hutson, 1977 ; Thiede, 1975; Mücke et Oberhansli, 1999; Peeters, 2000 ; Ivanova, 2000; Salgueiro et al., 2008). Probablement due à la relativement récente détermination de l'espèce *G. calida* (Parker, 1962) par rapport à *G. bulloides* (d'Orbigny, 1826) ou *G. siphonifera* (d'Orbigny, 1839) qui ont des morphologies très proches (de Vargas et al., 2002 ; Darling et Wade, 2008), certains auteurs pourraient avoir compté cette espèce comme des spécimens de *G. bulloides* et y voir une espèce réagissant aux

upwellings. D'ailleurs, dans sa forme juvénile, *G. calida* est difficile à distinguer des *G. bulloides*. Plusieurs morphotypes de *G. bulloides* ont été reconnus, l'un d'environnement d'upwelling et un autre d'environnement d'eaux chaudes (Darling et Wade, 2008 ; Darling et al., 2009). On pourrait imaginer que les spécimens reconnus comme *G. calida* pourraient être un des morphotypes de *G. bulloides* en condition d'upwelling. Des études génétiques agrémentées de photographies des spécimens analysés seraient nécessaires afin de pouvoir attester de différents morphotypes et ainsi progresser de façon importante dans l'interprétation des assemblages de foraminifères planctoniques.

4.6. Variabilité interannuelle

Malheureusement, chaque saison n'a été échantillonnée qu'une seule fois au cours de 3 années, 2006, 2007 et 2008 de cette étude. Les contingences matérielles de disponibilité des bateaux côtiers nous soumettent au risque d'une très probable variabilité interannuelle. En effet, les conditions météorologiques entre les trois années ne sont pas similaires ; le printemps 2006 a été froid et l'été 2006 (Juin-Juillet) a été très chaud, alors qu'en 2007 et 2008 le printemps a été chaud et les étés ont été plus frais (<http://www.infoclimat.fr/archives/>). Par exemple, on remarque que les assemblages de Juin 2006 sont moins riches en *G. inflata*, comparés aux autres périodes (Figures III-20 et III-21). Cette différence pourrait être liée aux variabilités interannuelles.

5. Variations saisonnières des profondeurs de vie des foraminifères planctoniques.

Les abondances de foraminifères sont connues pour suivre les concentrations en chlorophylle-*a* (Schiebel et al., 2001). La majorité des espèces identifiées aux profondeurs intermédiaires, comme *G. calida* ou *G. bulloides*, sont retrouvées en surface de Novembre à Mars, puis s'enfoncent en Avril puis en Juin, suivant les plus fortes concentrations chlorophylle-*a* et donc se retrouvent à la base de la thermocline en été. Cette migration vers les profondeurs en été explique les faibles températures de vie calculée précédemment (Tableaux III-2 et III-3) par rapport aux températures de surfaces.

D'autres facteurs influent sur les profondeurs de vie des foraminifères planctoniques, tels que la profondeur de la zone euphotique et les concentrations en oxygènes dissout. Les espèces de surface, comme *G. trilobus* et *O. universa* sont retrouvées au dessus du maximum de chlorophylle-*a* en été. Ces deux espèces vivent en symbiose constante avec des dinoflagellés (e.g. Hemleben et Spindler, 1983; Hemleben et al., 1989 ; cf. Annexe D) et par conséquent

nécessitent un environnement photique. L'abondance de lumière est donc un des facteurs de distribution pour ce type d'espèces. *G. glutinata* et *T. quinqueloba* pourraient porter des symbiontes (Hemleben et al., 1989 ; Ortiz et al., 1995), mais aucune information n'a été trouvée pour l'espèce *G. uvula*. Néanmoins, ces trois espèces sont retrouvées en abondances dans des eaux biens oxygénées et riches en chlorophylle-*a* en Avril.

5.1. Cas particuliers

5.1.1. Le genre *Globorotalia*

Les espèces du genre *Globorotalia* retrouvées dans le Golfe de Gascogne semblent suivre les mêmes tendances saisonnières de profondeur de vie. Les espèces de ce genre sont communément considérées comme des espèces profondes (e.g. Bé, 1977 ; Hemleben et al., 1989). Mais les spécimens de *G. hirsuta*, *G. inflata* et *G. scitula*, montrent des variations saisonnières importantes de leur profondeur de vie. Elles plongent entre l'hiver et l'été, avec différents ordres de grandeur entre les espèces.

Les profondeurs de vie des spécimens *G. hirsuta* retrouvés en Mars et Avril, varient entre ces deux périodes, avec une profondeur moyenne d'environ 50 m en Mars et sous 100 m en Avril. *G. truncatulinoides* fut retrouvé uniquement dans la colonne d'eau en Mars. Schiebel et Hemleben (2000) observèrent des *G. hirsuta* en Avril et Mai toujours sous 100 m de profondeur, dans la zone d'étude BIOTRANS, située à l'Est de l'Atlantique Nord , confirmant que *G. hirsuta* et *G. truncatulinoides* se trouvent en surface en hiver début de printemps (Bé et Tolderlund, 1971; Healy-Williams et al., 1985; Schiebel et al., 1995; Schiebel et Hemleben, 2005; Lončarić et al., 2007), et plongent avec la mise en place de la thermocline estivale débutant au printemps.

Dans la figure III-23, nous avons délibérément mis la période de Novembre en première position pour les saisons, à la différence de Mars adoptée jusqu'à maintenant, afin de mieux observer les variations de profondeurs des espèces du genre *Globorotalia*.

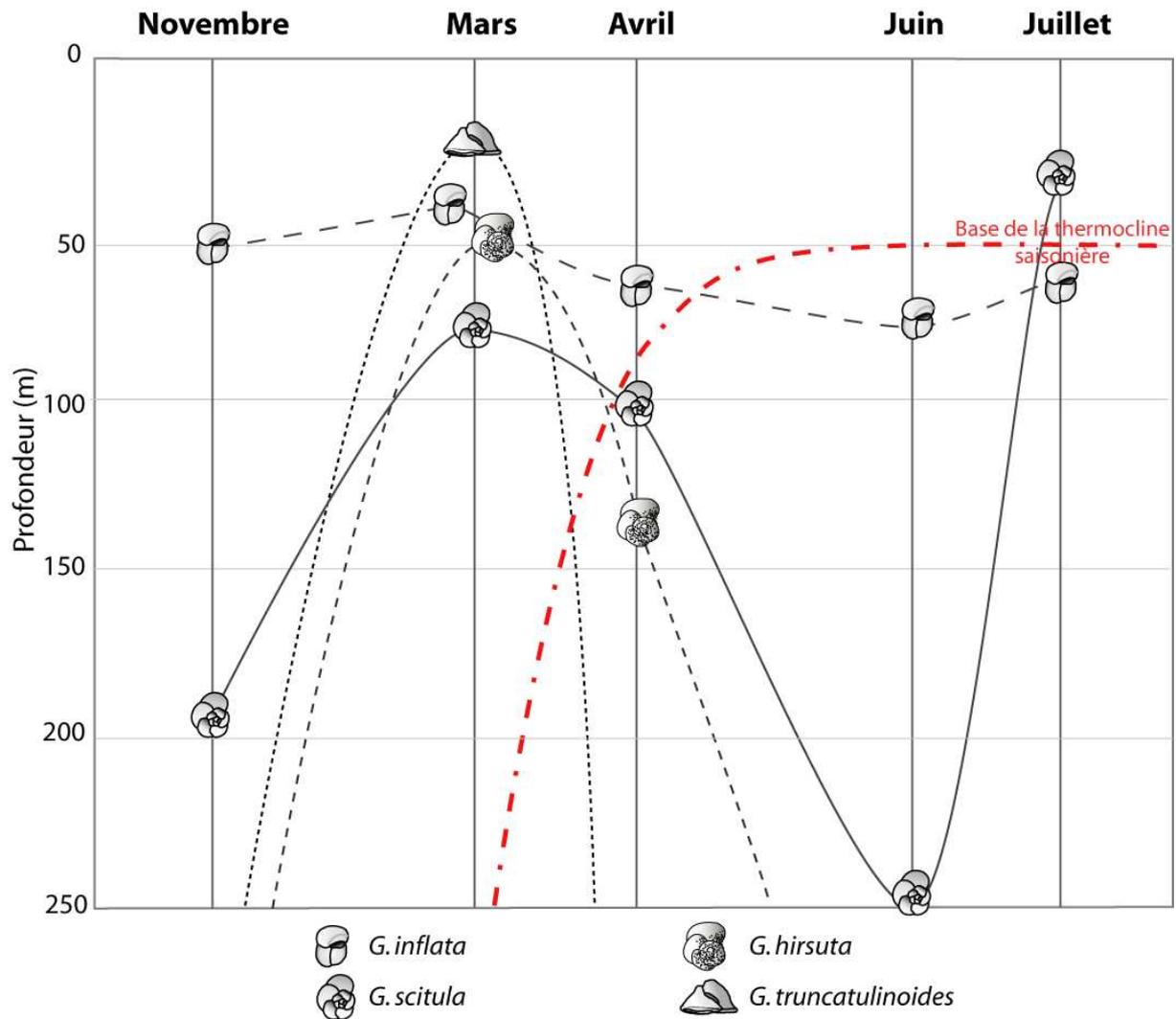


Figure III-23: Schéma des variations des profondeurs moyennes de vie des espèces du genre *Globorotalia* : *scitula*, *inflata*, *hirsuta* et *truncatulinoides*, au cours des 5 périodes d'échantillonnage, basées sur le calcul des MDH.

Les autres espèces du genre *Globorotalia*, comme *G. inflata* et *G. scitula* occupent aussi des habitats plus profonds de Mars à Juin, mais leurs populations ne disparaissent jamais sous 700 m de profondeurs comme on le suppose pour *G. hirsuta* et *G. truncatulinoides* (Schiebel et Hemleben, 2005). L'occurrence et l'abondance des quatre espèces de *Globorotalia* en Mars pourrait s'expliquer par un cycle de reproduction distinctif à ce genre, avec une présence dans les eaux de surface en fin d'hiver. L'occupation des zones profondes par ces espèces en été pourrait montrer leur préférence ou leur capacité à se nourrir de matière organique faiblement labile et une préférence pour des eaux aux températures basses et homogènes. Néanmoins, l'occurrence des *Globorotalia* dans les eaux de surface en hiver (Mars) peuvent refléter une capacité à ingérer de la matière organique fraîche, mais toujours dans des températures homogènes et froides (<13°C).

5.1.2. L'espèce *H. pelagica*

Les rares spécimens de *H. pelagica* furent retrouvés en été, toujours sous 100 m de profondeur. Cette espèce est considérée comme une espèce estivale (Bé, 1977) et sa profondeur de vie de *H. pelagica* est considérée différemment entre les auteurs : comme une espèce profonde (Jones, 1967; Bé et Tolderlund, 1971), intermédiaire (Pujol, 1980) ou présente dans les 60 premiers mètres (Schiebel et al., 2002). Cette espèce est connue pour suivre un cycle de reproduction lunaire (Spindler et al., 1979, Bijma et al., 1990b, Lončarić et al., 2005), ce qui pourrait expliquer les différentes profondeurs d'habitat décrits, puisque liées aux périodes des échantillonnages. *H. pelagica* serait présente près de la surface avant la pleine lune et disparaîtrait après sous des profondeurs plus importantes (Bijma et al., 1990b). La mission de Juin 2006 fut juste avant la nouvelle lune et Juillet 2008 lors du premier quartier. En considérant qu'elle suivrait un cycle effectivement lunaire, ceci pourrait expliquer pourquoi nous avons retrouvé *H. pelagica* exclusivement sous 100 m de profondeur. Une autre hypothèse serait que les individus de cette espèce vivant en mer marginale, préfèrent les environnements profonds car plus homogènes en température et salinité.

5.2. Bilan des profondeurs de vie

Aux moyennes latitudes, les variations saisonnières sont telles qu'il est plus pertinent de proposer des profondeurs de vie moyenne des espèces en fonction des saisons et non annuelles (Tableau III-5). De plus, toutes les espèces ne sont pas retrouvées aux mêmes périodes et donc aux mêmes conditions hydrologiques.

Les conditions estivales sont ici représentées par les MDH de Juin, plus significatif par rapport aux concentrations observées que celles de Juillet.

Le tableau III-5 récapitule des profondeurs de vie des principales espèces de foraminifères planctoniques en fonction des saisons.

Hiver-début du bloom	Bloom printanier	Eté	Fin automne
ESPÈCES DE SURFACE - ESPÈCES DOMINANTES DANS LES PREMIERS 40M :			
<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>O. universa</i>	<i>G. trilobus</i>
<i>N. pachyderma d</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. trilobus</i>	<i>O. universa</i>
<i>G. calida</i>			<i>T. quinqueloba</i>
<i>G. inflata</i>			
<i>T. quinqueloba</i>			
<i>G. truncatulinoides</i>			
ESPÈCES INTERMADIAIRES - ESPÈCES DOMINANTES ENTRE 40 ET 100M :			
<i>G. bulloides</i>	<i>G. bulloides</i>	<i>G. calida</i>	<i>N. pachyderma d</i>
<i>G. hirsuta</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. bulloides</i>	<i>G. bulloides</i>
<i>G. scitula</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. calida</i>
	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>G. inflata</i>
	<i>G. inflata</i>	<i>G. inflata</i>	
ESPÈCES PROFONDES - ESPÈCES DOMINANTES SOUS 100M :			
	<i>G. scitula</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. scitula</i>
	<i>G. hirsuta</i>	<i>H. pelagica</i>	

Tableau III-5: Distribution des profondeurs de vie moyennes (MDH) des principales espèces de foraminifères planctoniques en fonctions des conditions hydrologiques-saisons, basée sur le calcul des MDH, pour Mars (Hiver-début printemps), Avril (bloom printanier), Juin (été) et Novembre (fin automne).

6. Impact des influences continentales sur les assemblages de foraminifères planctoniques

Les faibles salinités observées en surface des Stations D à toutes les périodes et en Station B, plus sporadiquement, sont liées au panache de l'Adour. En Mars, Avril, Juin et Juillet, peu de foraminifères planctoniques sont retrouvés vivants dans les profondeurs affectées par des salinités inférieures à celles des eaux typiquement marines (Retailleau et al., 2009). Les rares spécimens trouvés dans ces niveaux appartiennent aux espèces *G. bulloides*, *G. calida*, *T. quinqueloba*, *G. glutinata* et *G. trilobus* en Mars, Avril et Novembre, et *G. scitula* et *O. universa* en Juin. Les proportions de *G. calida* augmentent vers la côte en Avril et constituent plus de 49% de l'assemblage en Station D. *G. bulloides* et *G. calida* sont récurrentes en Mars et Avril, leurs gammes de salinité moyenne respectives sont $35,5 \pm 0,2$ et $35,6 \pm 0,2$ (Tableau III-2). Cependant, les optimums de salinité de ces espèces estimées par Bé (1977) montrent de plus larges tolérances, avec $34,76 \pm 5,1$ pour *G. bulloides* et $35,34 \pm 2,1$ pour *G. calida* (que nous avons assimilé à *G. aequilateralis* dans Bé, 1977). Mais même avec des plus larges tolérances, l'exceptionnelle faible salinité observée en Avril à la Station D (<30), justifie la faible abondance de spécimens dans l'échantillon de surface, mais ne peut expliquer les faibles concentrations aux autres périodes d'influences du panache du fleuve. Bijma et al.

(1990a) ont montré de grandes gammes de tolérance de salinité de plusieurs espèces de foraminifères planctoniques entre 22 et 47. De nombreuses études situées dans ou près du panache d'un fleuve concluent que les foraminifères planctoniques ne sont pas directement affectés par de faibles salinités (Lidz, 1966 ; Fernandez et al., 1991; Ortiz et al., 1995; Ufkes et al., 1998). En effet, les panaches de fleuves sont chargés en sédiments et sont donc plus ou moins turbides selon l'érosion du bassin versant et donc les saisons. Ils peuvent aussi contenir de la matière organique faiblement labile d'origine continentale. Lors des fontes des neiges sur le bassin versant, en Mars et Avril, les eaux sont turbides, à la différence des eaux estivales moins chargées en sédiments, liés aux périodes d'étiages. La possible importante turbidité des eaux du panache de l'Adour aux surfaces des Stations B et D en Mars et Avril, pourrait expliquer leurs faibles concentrations de foraminifères planctoniques entre 0 et 20 m. En revanche, en Juin à la Station D, les foraminifères ne semblent pas perturbés par le panache, montrant même un maximum de concentration de 15 sp.m^{-3} , constitué principalement de *G. scitula* et *O. universa*. La turbidité des eaux d'origines fluviales pourrait être l'un des principaux facteurs perturbant la faune des foraminifères planctoniques et inhibant leur production (Retailleau et al., 2009).

G. scitula est un cas particulier. Elle fut trouvée en abondance en Juin, sous 100 m de profondeur aux stations du Plateau des Landes, comme habituellement décrite (e.g. Bé, 1977; Hemleben et al., 1989; Ortiz et al., 1996; Schiebel et al., 2002). Pour autant, une forte concentration de ces spécimens a été retrouvée dans les 20 premiers mètres de la Station D, la plus proximale, avec plus de 9 sp.m^{-3} . Sa présence en surface fut souvent décrite (Ortiz et al., 1996; Schiebel et al., 2002), mais jamais avec une telle concentration. En Juin, à la Station D, la thermocline est bien développée entre 4 et 40 m de profondeur et une faible salinité est trouvée en surface de 34,6. Trois hypothèses peuvent être proposées :

- (1) *G. scitula* pourrait préférer vivre en surface en milieu côtier. Rares sont les études sur les foraminifères planctoniques vivants effectuées près d'environnements côtiers (Ortiz et al., 1995 et 1996).
- (2) En Juin, la Station D est influencée par une faible salinité en surface (34,6). Les eaux fluviales sont généralement faiblement turbides par rapport aux périodes de fontes des neiges, mais elles peuvent être chargées en matière organique faiblement labile. Comme elle est trouvée sous 100 m de profondeur aux stations plus au large, *G. scitula* pourrait être une espèce plus adaptée à un régime de matière organique peu labile ou dégradée par rapport aux espèces de surface (Bé et Ericson, 1963; Hemleben et al., 1989). Leur forte

concentration en surface pourrait s'expliquer par une migration de cette espèce plus adaptée à l'environnement en surface.

- (3) Aucune *G. scitula* ne fut retrouvée dans les 0-20 m de la Station D en Mars et Avril. La turbidité de ces eaux pouvant expliquer leur absence. Néanmoins, elles sont aussi absentes en Juillet, alors que les eaux seraient moins turbides. En regardant la géographie de la zone, on remarque que la Station D est située à la tête du canyon sous marin de Cap Breton. Des évènements de courants ascendants peuvent avoir lieu dans les canyons induisant un courant d'upwelling à la tête du canyon. On pourrait alors imaginer que des spécimens de *G. scitula* auraient pu être transportés de leur habitat profond par un tel courant, vers la surface de la Station D.

La forte concentration de *G. scitula* en surface de la Station D en Juin, pourrait être interprétée comme une réaction à la disponibilité de matière organique faiblement labile ou une adaptabilité aux faibles salinités. Néanmoins, aucun autre spécimen de *G. scitula* ne fut retrouvé au cours des autres périodes à cette station, ni aucune autre espèce profonde dans les intervalles influencés par le panache de l'Adour. Il apparaît que la dernière hypothèse soit une explication plus probable pour expliquer cette abondance, c'est-à-dire l'effet d'un courant d'upwelling provenant du canyon sous-marin de Cap Breton.

7. Comparaison avec les distributions d'espèces en milieu d'océan ouvert

7.1. Distribution spatio-temporelle des espèces majeures

L'occurrence des espèces majeures dans l'Océan Nord Atlantique sont similaires à celles de la zone marginale du Golfe de Gascogne, avec les espèces majeures tempérées *N. pachyderma* dextre, *G. bulloides* et *G. inflata* (Tolderlund et Bé, 1971 ; Ottens, 1991 ; Schiebel et al., 1995 ; Schiebel et al., 2001).

Au printemps (Avril), la faune est caractérisée par de nombreux spécimens de *N. pachyderma* dextre, *G. bulloides*, *T. quinqueloba* et *G. glutinata* au large (Tolderlund et Bé, 1971; Ottens, 1991, 1992; Schiebel et al., 1995; Schiebel et Hemleben, 2000; Schiebel et al., 2001), reliées à de fortes concentrations en diatomées (Schiebel et al., 2001), ainsi que des occurrences de *G. hirsuta* (Tolderlund et Bé, 1971 ; Schiebel et al., 1995). Les assemblages aux Stations du Plateau des Landes sont relativement similaires, mais moins abondants en spécimens de *N. pachyderma* dextre qu'en océan ouvert. Les espèces retrouvées au site BIOTRANS (47°N; 20°W) (Figure III-24) montrent des abondances en *G. glutinata* en Avril et la présence de *G. uvula* en Juin (Schiebel et al., 1995; Schiebel et Hemleben, 2000; Schiebel et al., 2001). Cette

apparition tardive, comparée à nos données, de l'espèce *G. uvula* pourrait être expliquée par un bloom printanier plus tardif ou plus persistant dans l'océan ouvert que dans le Golfe de Gascogne. En effet, le bloom phytoplanctonique printanier se situe habituellement sur les images satellites SeaWiFs[®], entre la pointe Ibérique et la péninsule Bretonne, piégé dans des gyres centrales du Golfe de Gascogne.

En Septembre-Octobre, les espèces retrouvées aux mêmes latitudes en Atlantique Nord sont *T. quinqueloba*, *G. glutinata*, *O. universa* et *G. bulloides* (Schiebel et al., 2001). Ce qui diffère des assemblages retrouvés sur la marge continentale du Golfe de Gascogne en fin Novembre, avec une large dominance de l'espèce *G. calida* aux stations les plus côtières ainsi que quelques *N. pachyderma* dextre, *G. inflata*, *G. bulloides* et *T. quinqueloba*. Ces assemblages peuvent montrer une influence continentale sur les faunes de foraminifères planctoniques. Néanmoins, aucune donnée au large d'assemblages aussi tardifs dans l'année (fin Novembre) n'a été échantillonnée au site BIOTRANS (47°N; 20°W), ne permettant pas de réelles comparaisons. A la Station Delta (44°N ; 41°W) (Figure III-24), entre Octobre et Décembre, les espèces principales retrouvées étaient *G. inflata*, *G. ruber*, *G. bulloides* et *G. truncatulinoides* (Tolderlund et Bé, 1971). Nos assemblages, ainsi que ceux de Schiebel et al. (2001) correspondent plus aux assemblages observés par Tolderlund et Bé (1971) à la Station Charlie (52°45' ; 35°30'W) (Figure III-24), située plus au Nord, avec une grande abondance en automne de *G. bulloides*, *T. quinqueloba*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata*, correspondant à des eaux plus froides.

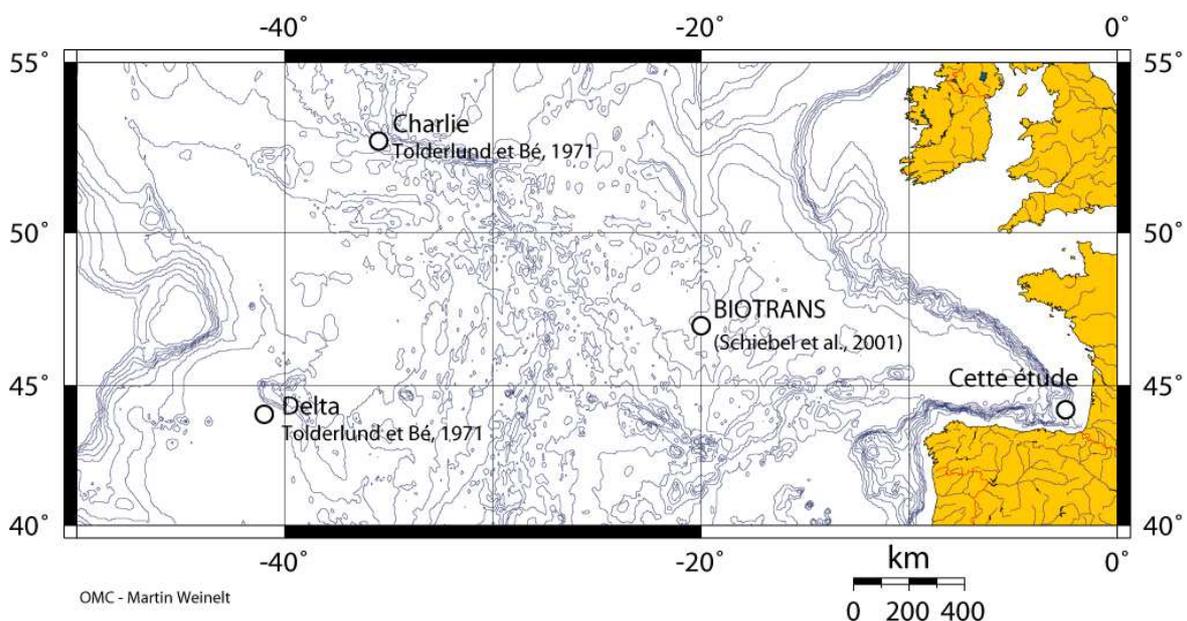


Figure III-23: Carte de situation des Stations Charlie et Delta (Tolderlund et Bé, 1971) et du site BIOTRANS (Schiebel et al., 2001). Source cartographique <http://www.aquarius.ifm-geomar.de>.

7.2. Distribution verticale des foraminifères planctoniques

Dans notre étude comme dans la littérature, la majorité des espèces sont retrouvées dans les 80 premiers mètres de la colonne d'eau (e.g. Berger, 1971; Bé, 1977; Hemleben et al., 1989; Schiebel et al., 2001 ; Retailleau et al., 2009). Pour comparer avec la littérature (Bé, 1977), les profondeurs moyennes annuelles des espèces de foraminifères planctoniques dans le Golfe de Gascogne ont été calculées (Tableau III-6). Nos espèces peuvent être regroupées en trois catégories : des espèces de surface, essentiellement trouvées dans les 40 premiers mètres ; les espèces intermédiaires, trouvées en abondance entre 40 et 100 m de profondeur et les espèces profondes, observées sous 100 m.

	MDH
Espèces de surface (0 - 40 m)	
<i>O. universa</i>	25
<i>G. uvula</i>	26
<i>G. glutinata</i>	37
<i>T. quinqueloba</i>	39
<i>G. trilobus</i>	
Espèces intermédiaires (40 -100 m)	
<i>G. calida</i>	40
<i>G. bulloides</i>	41
<i>N. pachyderma</i> dextre	47
<i>G. inflata</i>	60
<i>G. hirsuta</i>	79
Espèces « profondes » (> 100 m)	
<i>G. scitula</i>	145
<i>H. pelagica</i>	>100m

Tableau III-6: Moyennes annuelles de profondeurs de vie des principales espèces de foraminifères planctoniques en mètre, sur les 5 missions océanographiques, calculées à partir du MDH.

En comparant avec les répartitions globales proposées par Bé (1977), les distributions des espèces semblent similaires. Toutefois, dans le Golfe de Gascogne, *G. inflata* fait partie des espèces intermédiaires et *H. pelagica* est trouvée dans des eaux supérieures à 100 m de profondeurs, à la différence de Bé (1977), qui voit *G. inflata* comme une espèce profonde et *H. pelagica* comme une espèce intermédiaire. Toutefois, les profondeurs moyennes de vie peuvent être influencées par des variations hydrologiques régionales ou locales. Bé (1977) propose une distribution mondiale et générale pour ces espèces, exclusivement dérivée d'environnements marins ouverts. Pour autant, il paraît risqué de prendre des observations synthétisées à l'échelle globale pour interpréter des environnements plus ou moins complexes, comme des environnements marginaux par exemple, qui peuvent entraîner des adaptations des profondeurs de vie des différentes espèces de foraminifères planctoniques. Pour l'étude d'assemblages fossiles récents, l'appui sur des données de filets à plancton proches de la zone

d'étude paraît la meilleure méthode pour aider à l'interprétation des assemblages de foraminifères planctoniques dans les sédiments, si de telles études sont disponibles.

Les répartitions annuelles décrites ici ne représentent d'ailleurs pas la réalité des choses, mais donne une idée globale du milieu de vie des espèces de foraminifères. En effet, les profondeurs de vie des espèces de foraminifères planctoniques varient en fonction des saisons, des conditions hydrologiques et de leur cycle de reproduction (Bé, 1977; Hemleben et al., 1989; Boltovskoy et Wright, 1976; Schiebel et Hemleben, 2005). Avérant l'intérêt d'utiliser le Tableau III-5, plutôt que le Tableau III-6 pour de futures interprétations des assemblages fossiles de foraminifères planctoniques dans le Golfe de Gascogne.

7.3. Occurrence de *Globigerinoides trilobus* en Novembre dans le Golfe de Gascogne

G. trilobus est considérée comme une espèce d'eaux chaudes (e.g. Bé, 1977; Pujol, 1980; Hemleben et al., 1989; Lombard et al., 2009 ; cf. Annexe D) et en symbiose avec des dinoflagellés (Bé, 1977; Spero, 1987; Hemleben et al., 1989; Gast et Caron, 2001). *G. trilobus* vit dans des gammes de température allant de 14 à 30°C et préférentiellement entre 21 et 29°C (e.g. Tolderlund et Bé, 1971 ; Bé, 1977 ; Bijma et al., 1990a ; Lombard et al., 2009). Des spécimens de *G. trilobus* vivants sont ici décrits pour la première fois dans le Golfe de Gascogne. Leur présence était reconnue plus au Sud, le long de la marge Ibérique Atlantique (e.g. Bé et Hamlin, 1967 ; Bé, 1977 ; Pujol, 1980). Dans le Golfe de Gascogne, des spécimens *G. trilobus* furent observés en été (Juin et Juillet), mais aussi en Novembre avec leur plus grande abondance en Station D, dans des eaux d'environ 14°C. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer la présence de cette espèce dans le Golfe de Gascogne en Novembre, à la limite de leurs températures d'occurrence :

- (1) Au cours de certains hivers, un courant de surface, appelé Courant de la Navidad pénètre dans la partie Sud du Golfe de Gascogne par la marge Ibérique, il s'agit d'un courant chaud et sursalé (Pingree et Le Cann, 1990; Garcia-Soto et al., 2002; Le Cann et Serpette, 2009). La vitesse maximale de ce courant étant de 1,3 m.s⁻¹ (Le Cann et Serpette, 2009), les eaux poussées par ce courant peuvent atteindre le Plateau des Landes en ~8 jours. Souvent décrits plus au Sud, au large de la pointe Ibérique, des spécimens de *G. trilobus* pourrait alors avoir été transportés jusqu'au Plateau des Landes par ce courant de la Navidad et survivre dans le Golfe de Gascogne à la limite de leur température de vie.

Ce phénomène est connu comme le processus d'« expatriation » (e.g. Berger, 1970; Berger, 1971; Auras-Schudnagies et al., 1989; Boltovskoy, 1994).

- (2) Des occurrences de *G. trilobus* sont observées en été dans l'océan ouvert aux mêmes latitudes jusqu'en Novembre (Bé, 1960 ; Tolderlund et Bé, 1971; Schiebel et al., 2000). Les spécimens observés fin Novembre 2007 pourraient donc être un reliquat de ces abondances estivales. Malheureusement, aucune mission océanographique n'a pu avoir lieu entre Août et Septembre dans le Golfe de Gascogne pour confirmer cette hypothèse.
- (3) De fortes abondances de foraminifères planctoniques sont observés en Novembre à la Station D, pouvant résulter d'un pulse de phytoplancton lié à des apports de nutriments continentaux dans les eaux pauvres de la fin d'été. Le phytoplancton est alors en majorité constitué de dinoflagellés (Lavender et al., 2004). Ces derniers sont les symbiontes de *G. trilobus* (Bé, 1977; Spero, 1987; Hemleben, 1989; Gast et Caron, 2001). De plus, des spécimens d'*O. universa* apparaissent en surface de la Station D en Novembre. Cette dernière vit aussi en symbiose avec des dinoflagellés (Bé, 1977; Spero, 1987; Hemleben, 1989; Gast et Caron, 2001). L'abondance de dinoflagellés en domaine côtier pourrait expliquer la subsistance de *G. trilobus* dans les eaux froides automnales.

La première hypothèse requière un transport sur plusieurs centaines de kilomètres par un courant. Une occurrence du courant de la Navidad dans le Golfe de Gascogne fut observée en hiver 2006-2007 (Le Cann et Serpette, 2009), mais ne fut pas observée au cours de l'hiver 2007-2008, correspondant à la période d'échantillonnage. Par conséquent les hypothèses de reliquat estival ou de lien avec un bloom de dinoflagellés semblent plus probables.

8. Conclusion

La fluctuation des abondances en foraminifères planctoniques suit fidèlement le cycle de productivité du phytoplancton et est par conséquent liée aux cycles saisonnier des nutriments (Tolderlund et Bé, 1971 ; Bé, 1977 ; Fairbanks et Wiebe, 1980 ; Schiebel et al., 2001 ; Schiebel et Hemleben, 2005 ; Retailleau et al., 2009).

Bé (1960) fut le premier à observer une variabilité saisonnière des espèces de foraminifères planctoniques. Sur le Plateau des Landes, des groupes d'espèces se succèdent au cours des saisons. En fin d'hiver et en condition de début de bloom phytoplanctonique, les espèces *G. inflata*, *N. pachyderma* dextre, *G. scitula* et *G. glutinata* sont abondantes, avec la présence de *G. hirsuta* et *G. truncatulinoides*. Elles sont progressivement remplacées par des espèces de

plus petites tailles telles que *T. quinqueloba* et *G. uvula* ainsi que *G. glutinata* qui reste en abondance, et révèlent un caractère opportuniste en ces conditions de haute productivité (bloom phytoplanctonique printanier). Les concentrations en foraminifères planctoniques sont très importantes et montrent aussi en abondance des spécimens de *G. bulloides* et *N. pachyderma* dextre.

Avec la mise en place d'une thermocline estivale, les concentrations en foraminifères diminuent, suivant la déplétion des nutriments et du phytoplancton. *G. bulloides* et *N. pachyderma* dextre sont progressivement remplacées en surface par des espèces d'eaux plus chaudes et moins riches en nutriments (*O. universa*, *G. trilobus*) et en profondeur par des spécimens de *G. scitula* et *H. pelagica*, peut être plus capables de se nourrir de matière organique peu labile ou dégradée.

Dans des eaux bien mélangées de fin d'automne, les concentrations en foraminifères planctoniques sont faibles au large et plus importantes près des côtes pouvant révéler une des pulses côtiers de phytoplancton, ou une influence du canyon sous-marin de Cap Breton, créant des événements d'upwelling. La flore de dinoflagellés induite par ces événements automnaux (Lavender et al., 2004) entrainerait la colonisation par l'espèce *G. calida*. Elle pourrait être alors une espèce indicatrice de blooms automnaux, dans le Golfe de Gascogne.

Toutes les espèces ont été observées à chacune des quatre stations le long du transect bathymétrique, à l'exception de *G. truncatulinoïdes* et *H. pelagica* absentes aux stations les plus côtières. L'influence de la profondeur ne semble pas perturber la présence des foraminifères planctoniques. En revanche, les panaches des fleuves semblent perturber leur distribution en surface. Les faibles salinités ne semblent pas être le facteur contrôlant leur distribution, mais la turbidité, variant au cours des cycles érosifs saisonniers, semble être un des facteurs influant sur leur distribution verticale.

Les profondeurs de vie des foraminifères planctoniques diffèrent entre les espèces et varient entre les saisons (e.g. Bé, 1977 ; Schiebel et Hemleben, 2005). De l'hiver à l'été, les espèces majeures et pérennes plongent dans des eaux plus profondes, suivant l'implémentation de la thermocline estivale. Les espèces du genre *Globorotalia* montrent les plus grandes variations de profondeur de vie.

Les études saisonnières des foraminifères planctoniques sont rares, en raison de la difficulté de collecter des échantillons du plancton à des intervalles fréquents. Ce genre d'étude en océan ouvert est d'autant plus difficile par la nécessité de bateaux océanographiques de taille conséquente. Notre étude saisonnière menée en milieu marginal nous a permis d'échantillonner entre 2006 et 2008 cinq périodes différentes. Mais cette fréquence est trop

faible pour détecter des variabilités interannuelles. Ces prélèvements doivent être prolongés sur plusieurs années afin de diminuer ce biais et de combler les périodes manquantes telles que Août-Septembre, afin de vérifier ou non la présence de *G. trilobus* dans le Golfe de Gascogne. Une étude plus approfondie sur l'influence de la turbidité sur les faunes de foraminifères pourrait être envisagée, avec l'enregistrement nécessaire de la turbidité des eaux à chaque échantillonnage, ainsi qu'une meilleure connaissance des débits des fleuves environnant.

Chapitre III – Ecologie

Partie B

Etude des tailles des foraminifères planctoniques

1. Introduction

Les organismes marins vivent, se nourrissent et grandissent dans la colonne d'eau. La taille est reconnue comme l'une des plus importantes caractéristiques des organismes vivants, car elle est corrélée aux conditions physiologiques, écologiques et environnementales (Lévêque, 2001). La taille et la croissance dépendent de nombreux facteurs, parmi eux : l'approvisionnement en nourriture, des relations proie-prédateur, la compétition, les symbioses et la reproduction (Lévêque, 2001). La taille de n'importe quel organisme est donc sous l'influence des conditions écologiques environnantes. Bé et al., (1973) et Hecht (1976) furent les pionniers sur l'étude de la taille en relation avec l'écologie des foraminifères planctoniques. Il est reconnu que la taille des foraminifères planctoniques varie avec la température et la production primaire (Bé et al., 1973; Hecht, 1976; Fairbanks et Wiebe, 1980 ; Ortiz et al., 1995; Naidu et Malmgren, 1996; Schmidt et al., 2004).

Sachant que chaque espèce de foraminifère planctonique a une distribution de taille propre (Bé, 1977; Pujol, 1980; Brummer et Kroon, 1988), les changements de la composition de la faune totale comme fonction de taille est le résultat combiné de la composition des espèces et la distribution des fréquences de taille des espèces constitutives.

De plus, les tailles des foraminifères planctoniques vivants changent selon les saisons. Aux moyennes latitudes, les foraminifères planctoniques ont des profondeurs moyennes de vie qui varient suivant les saisons et les conditions hydrographiques. Le cycle de vie ou les variations de profondeur des foraminifères planctoniques ne sont toujours pas bien compris (Hemleben et al., 1989 ; Schiebel et Hemleben, 2005). L'analyse de taille de leurs spécimens pourrait permettre d'observer des relations entre la taille, la profondeur et les paramètres hydrologiques tels que la température ou la salinité, et peut-être de mieux comprendre leur cycle de vie.

Après avoir regardé la distribution spatiale et saisonnière des espèces dans la partie A, nous analyserons ici la distribution de taille de leurs tests afin de mieux comprendre leur interaction avec hydrologie et s'il y a une hiérarchisation des gammes de taille en fonction de la profondeur.

2. Méthode d'analyses morphométriques

Afin de caractériser la distribution des tailles de chacun des individus dans l'ensemble des assemblages, la morphologie de chaque spécimen vivant a été mesurée. Grâce à une collaboration avec Dr. Ralf Schiebel, ces mesures ont pu être effectuées au National Oceanographic Centre, Southampton (NOCS), en Octobre 2007 et Août 2008, avec un microscope monoculaire Leica[®] ajusté à un appareil photo couleur SIS/Olympus[®] CC12. Les échantillons sont disposés sur un plateau amovible Märzhäuser[®] motorisé sous-jacent au dispositif (Clayton et al., 2009). 25 paramètres d'envergures et de formes ont été ainsi acquis pour chacun des spécimens par le logiciel d'Olympus : analySIS[®] (Figure III-25, Annexe B). La distribution des tailles de *O. universa* n'a pas été prise en compte dans cette étude, car les contours flous de ces spécimens dus à de nombreuses épines (essentiellement sous leur forme « Pre Spherical Stage ») ont été mal déterminés par le logiciel.

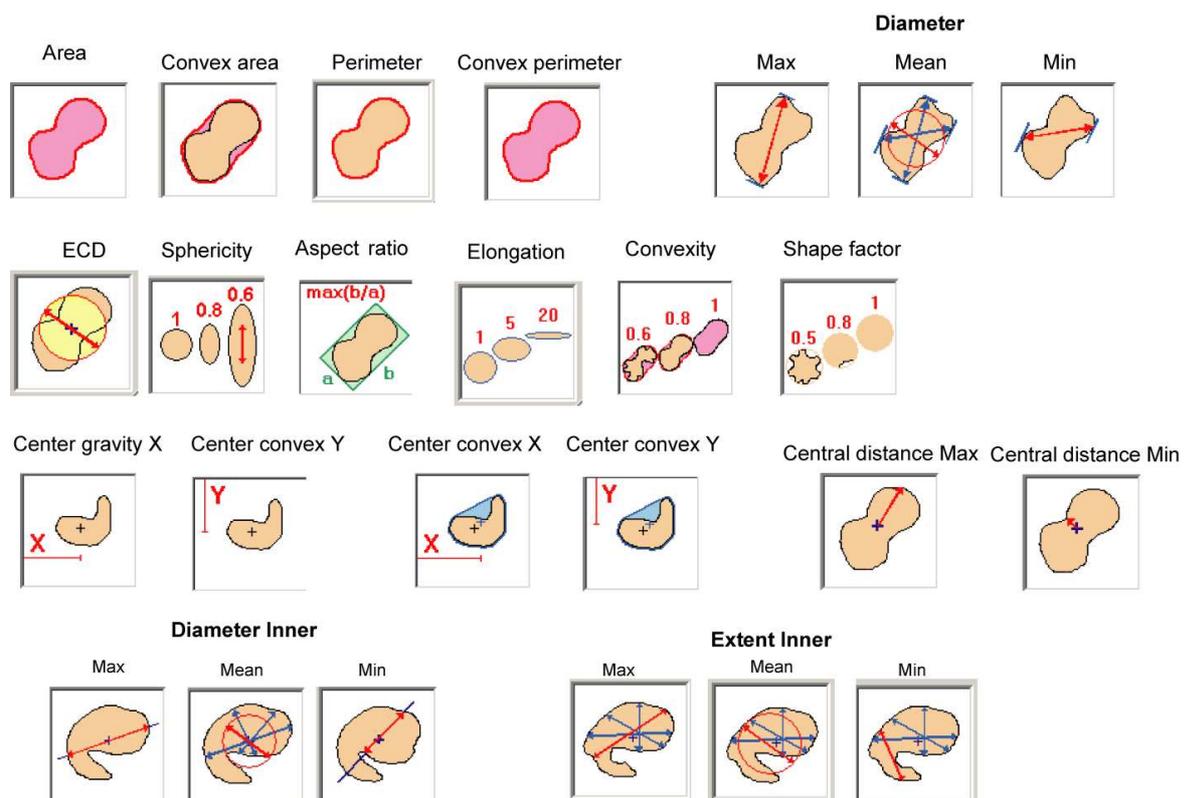


Figure III-25: Représentation des 25 paramètres mesurés par le logiciel analySIS[®]

Afin de mieux comprendre les significations de ces 25 paramètres de mesure, nous avons, avec l'aide d'un statisticien, O. Pays de l'Université d'Angers, procédé à une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les données de morphométrie de l'espèce *G. bulloides*. Cette espèce a été choisie pour ce test statistique car elle est présente en abondance à toutes les stations et toutes les saisons échantillonnées. Le test statistique a concerné un total de 3582 individus de *G. bulloides*.

NB : La base de données concernant les autres espèces a été préparée et sera analysée courant 2010 (travail en cours avec O. Pays).

Afin de pouvoir comparer toutes les variables qui variaient de 0 à plusieurs milliers de μm telles que les mesures de diamètres ou d'aires, et d'autres qui variaient de 0 à 1, telle que la sphéricité (Figure III-25, Annexe B), les valeurs ont été normées par l'écart type. Cette méthode est communément utilisée en statistiques.

L'analyse statistique des 25 paramètres morphométriques de l'espèce *G. bulloides* a montré que 74,54% de la variance est expliquée par les deux composantes principales (Tableau III-1 et Figure III-2). Le facteur 1 (PC1) est essentiellement représenté par des variables décrivant l'envergure du spécimen, telles que les différents diamètres, aires et périmètres. Le facteur 2 (PC2) est lui expliqué par une majorité de variables décrivant la forme, telles que l'élongation, la sphéricité et la convexité.

proportion de la variance	60.924	13.616
Composante principale	1	2
AREA	0.975	-0.036
CONVEX AREA	0.978	0.063
PERIMETER	0.832	0.354
CONVEX PERIMETER	0.991	0.098
DIAMETER MAX	0.971	0.197
DIAMETER MIN	0.987	-0.052
DIAMETER MEAN	0.986	0.137
ECD	0.989	-0.049
SPHERICITY	0.285	-0.758
ASPECT RATIO	-0.204	0.81
ELONGATION	-0.269	0.81
CONVEXITY	-0.075	-0.711
SHAPE FACTOR	-0.225	-0.675
CENTRAL GRAVITY X	0.235	0.147
CENTRAL GRAVITY Y	0.154	0.075
CENT. CONVEXITY X	0.235	0.147
CENT. CONVEXITY Y	0.155	0.075
CENT. DISTANCE MAX	0.944	0.255
CENT. DISTANCE MIN	0.883	-0.314
DIAMRINMAX	0.975	0.095
DIAMINMEAN	0.978	-0.117
DIAMINMIN	0.943	-0.26
EXTINMAX	0.977	0.141
EXTINMEAN	0.993	-0.027
EXTINMIN	0.982	-0.153

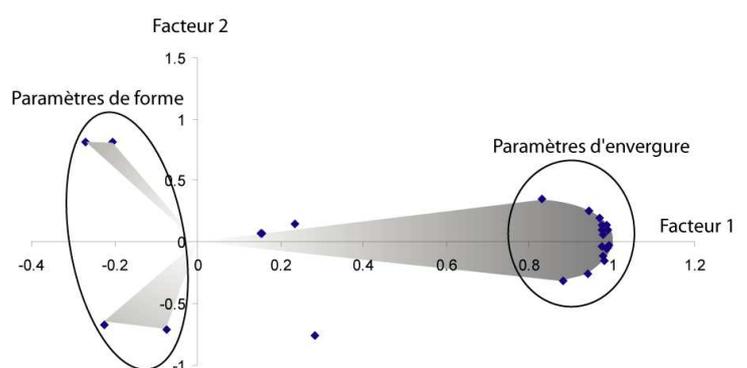


Figure III-26: Représentation graphique des composantes principales 1 et 2 sur les axes X et Y des différentes variables.

Tableau III-7: Résultats des données de l'ACP pour les deux premières composantes principales

Sur la base de ce résultat, nous avons décidé de travailler sur les relations taille/écologie de l'assemblage total en utilisant un paramètre d'envergure. Le choix du paramètre s'est porté sur le diamètre minimum qui a un poids fort sur la composante principale 1 (0,987), et qui permet aussi une meilleure comparaison avec les classes de tailles collectées par tamisage communément utilisé en micropaléontologie. En effet, par tamisage, ces spécimens plus ou moins sphériques se mettent en position optimale pour tomber et donc passent généralement entre les mailles du tamis avec leur diamètre minimal.

3. Résultats d'analyses morphométriques

3.1. Etude des distributions de taille de l'assemblage total

Les distributions de taille des assemblages de foraminifères planctoniques vivants (>100 µm) sur les 100 premiers mètres de la colonne d'eau, montrent une forte variabilité spatiale, sur le transect WH-D, et temporelle, entre Mars et Novembre (Figure III-27).

En Mars, les communautés sont abondantes en Stations WH et A et sont représentées par des spécimens de petites tailles, essentiellement concentrés entre 100 et 200 µm de diamètre, avec un pic à 125-150 µm. Le nombre de spécimen décroît graduellement jusqu'à environ 300 µm. Les Stations B et D montrent les mêmes caractéristiques mais avec un effectif beaucoup plus faible.

En Avril, les Stations WH et B sont enrichies en petits spécimens inférieurs à 200 µm, la Station A montre un simple tassement de son effectif et le nombre d'individus supérieurs à 300 µm augmente en Station côtière D.

En Juin, aux stations situées au large, les spécimens entre 100 et 125 µm sont moins abondants qu'au printemps, bien que les gammes de tailles les plus abondantes restent entre 125 et 200 µm. La Station WH montre une distribution très asymétrique avec un enrichissement en plus grands spécimens, jusqu'à 400 µm. La Station A montre une distribution en cloche centrée sur 150-175 µm. En Station B, la répartition des tailles est centrée sur 250 µm, et en Station D sur 200 µm.

En Juillet, le nombre total d'individus est faible mais on peut remarquer qu'ils sont plus petits (<150 µm) sauf en Station D, plus riche, où la répartition en cloche est centrée sur 150 µm.

D'Avril à Juillet, les tailles des individus sont plus importantes aux stations les plus proches de la côte.

En Novembre, les spécimens ont des tailles principalement concentrés entre 100 et 200 μm de diamètre. La Station A montre la même répartition qu'en Juin et la Station D montre une répartition similaire qu'en Mars-Avril à la Station A.

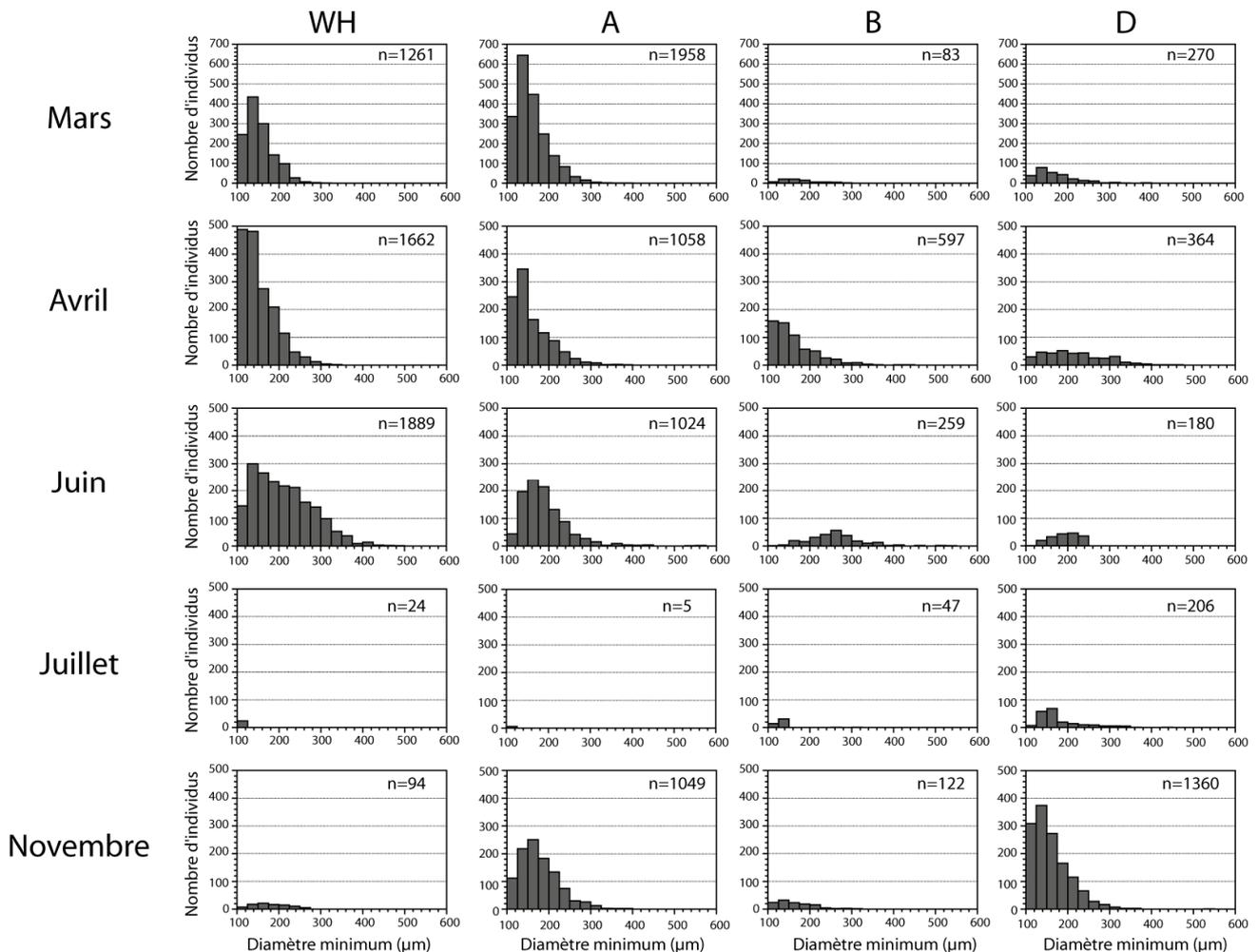


Figure III-27: Fréquence de taille des diamètres minimum (μm) des assemblages de foraminifères planctoniques vivants ($>100 \mu\text{m}$) sur les 100 premiers mètres de la colonne d'eau pour les 4 stations, de Mars à Novembre.

3.2. Etude des distributions de taille par espèce

Dans les Figures III-28 à 33, les moyennes, ainsi que les écarts types, du diamètre minimum des foraminifères planctoniques vivants ($>100\mu\text{m}$) sont représentés par niveaux de prélèvements, pour chacune des espèces majeures. Les concentrations de chacune de ces espèces sont ici rappelées.

G. bulloides (Figure III-28)

Les plus grandes tailles mesurées ont été trouvées en Juin à chacune des stations, avec des diamètres minimum moyen entre 200 et 290 μm . En Mars et Avril, les diamètres minimums moyens de *G. bulloides* sont entre 160 et 200 μm . En Juillet, le nombre de spécimen fut généralement trop faible pour des analyses de taille statistiquement significatives, néanmoins, les tailles oscillent en moyenne entre 140 μm et 210 μm . En Automne, la moyenne des tailles est d'environ 170 μm . A chacune des périodes d'échantillonnage, la taille moyenne des spécimens est la plus importante en Station D, la plus proximale à la côte. La distribution verticale des tailles de *G. bulloides* est relativement homogène sur la colonne d'eau, exceptée à la Station WH en Avril et Juin où les spécimens sont sensiblement plus petits dans les 60 premiers mètres. Et à l'inverse, en Novembre aux Stations A et D où les spécimens semblent plus grands en surface.

G. calida (Figure III-29)

Le diamètre moyen de *G. calida* varie selon les périodes, de 156 \pm 39 μm en Mars à un maximum entre Juin et Juillet de 198 \pm 54-75 μm respectivement, et décroît en Novembre à 165 μm . A l'exception d'une tendance à une augmentation de la taille des spécimens avec la profondeur en Avril, aucune autre organisation verticale des tailles n'a été observée.

N. pachyderma dextre (Figure III-30)

Toutes les stations en Juin montrent les plus grands spécimens de *N. pachyderma dextre*, avec une moyenne de 219 \pm 58 μm . Les spécimens des autres périodes d'échantillonnage ont des moyennes comprises entre 150 et 170 μm . Aucune différence significative de tailles entre les spécimens des différentes stations n'a été remarquée. Exceptée, une concentration de petits spécimens en surface (0-20 m) de la Station WH en Avril et Juin. Les tailles sont relativement similaires dans la colonne d'eau en Mars et Novembre.

T. quinqueloba (Figure III-31)

Les tailles les plus importantes de *T. quinqueloba* ont été mesurées en Juin, pour toutes les stations, avec une moyenne de 152 \pm 19 μm et en Avril, seulement à la Station D avec une taille moyenne de 151 \pm 35 μm . Les autres profils d'échantillonnages montrent des tailles moyennes inférieures à 150 μm (Figure III-34).

G. inflata (Figure III-32)

Les plus grands spécimens de *G. inflata* ont été retrouvés en Juin avec une moyenne de $264 \pm 91 \mu\text{m}$. Les tailles aux autres périodes oscillent entre 167 et $192 \mu\text{m}$. Des concentrations de petits spécimens se regroupent en surface des Stations WH, A and B en Avril. En Juin, les tailles moyennes augmentent avec la profondeur en Station A, de $158 \mu\text{m}$ en 40-60 à $358 \mu\text{m}$ en 300-500 m.

G. scitula (Figure III-33)

En Juin, la taille moyenne de *G. scitula* est autour de $208 \mu\text{m}$, en opposition aux $150-168 \mu\text{m}$ de moyenne aux autres périodes. Les spécimens de *G. scitula* présents en Station D ont des diamètres plus importants qu'aux autres stations. En Avril, Les moyennes de taille décroissent vers la côte.

G. glutinata est présente en Mars et Avril en abondance. Les moyennes entre les stations en Mars sont quasi similaires autour de $145 \mu\text{m}$. En Avril, les stations offshore montrent des moyennes de tailles similaires, autour de $136 \mu\text{m}$. Alors que la Station D contient des spécimens de *G. glutinata* de taille significativement plus importante, avec une moyenne de $199 \pm 54 \mu\text{m}$ (Figure III-34).

G. uvula est présente uniquement en Avril et en abondance. Les mesures de taille montrent de petites tailles similaires entre les stations avec une moyenne d'environ $109 \pm 6 \mu\text{m}$ (Figure III-34).

G. bulloides

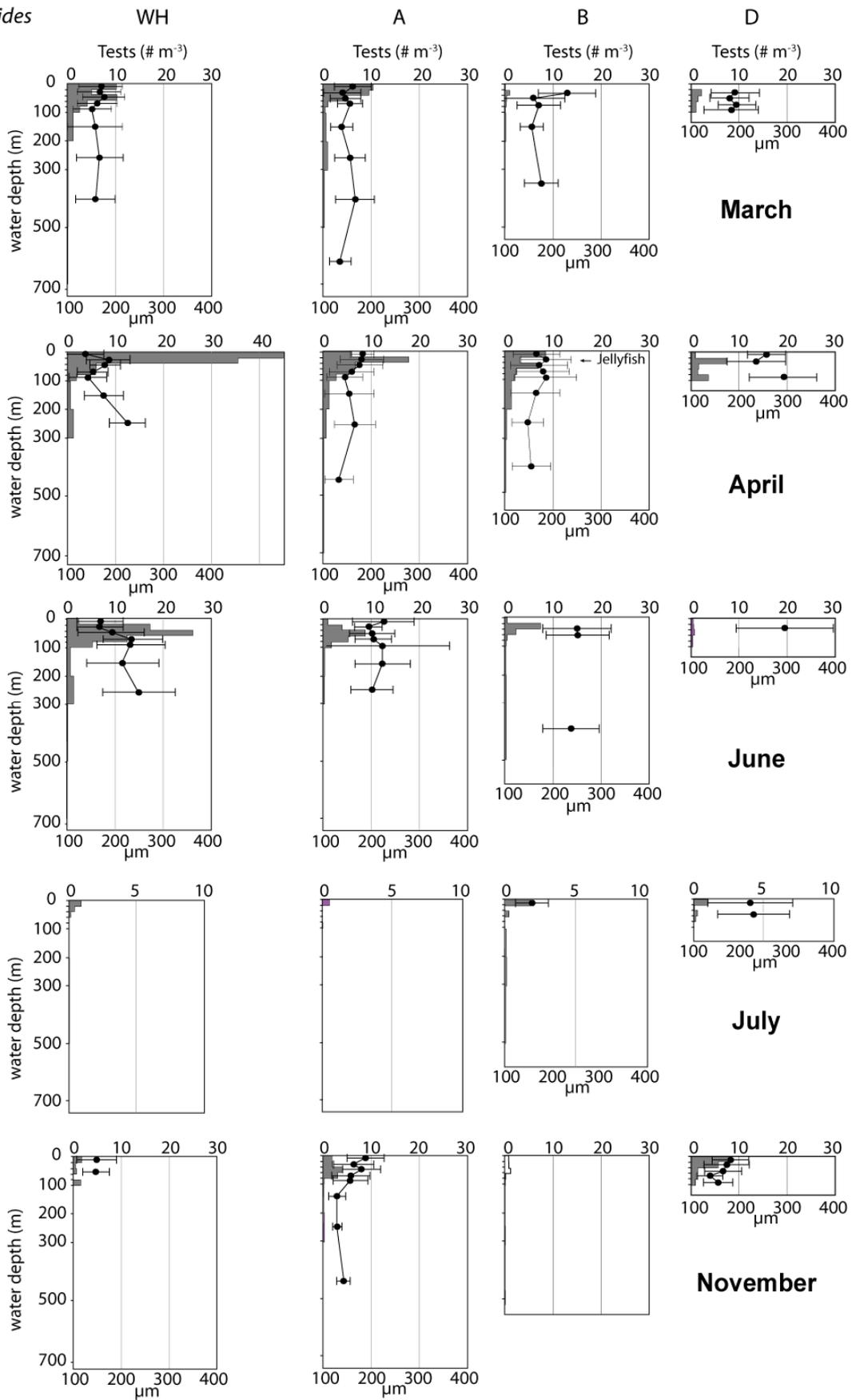


Figure III-28: Distribution verticale des tailles de *G. bulloides* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en sp.m⁻³).

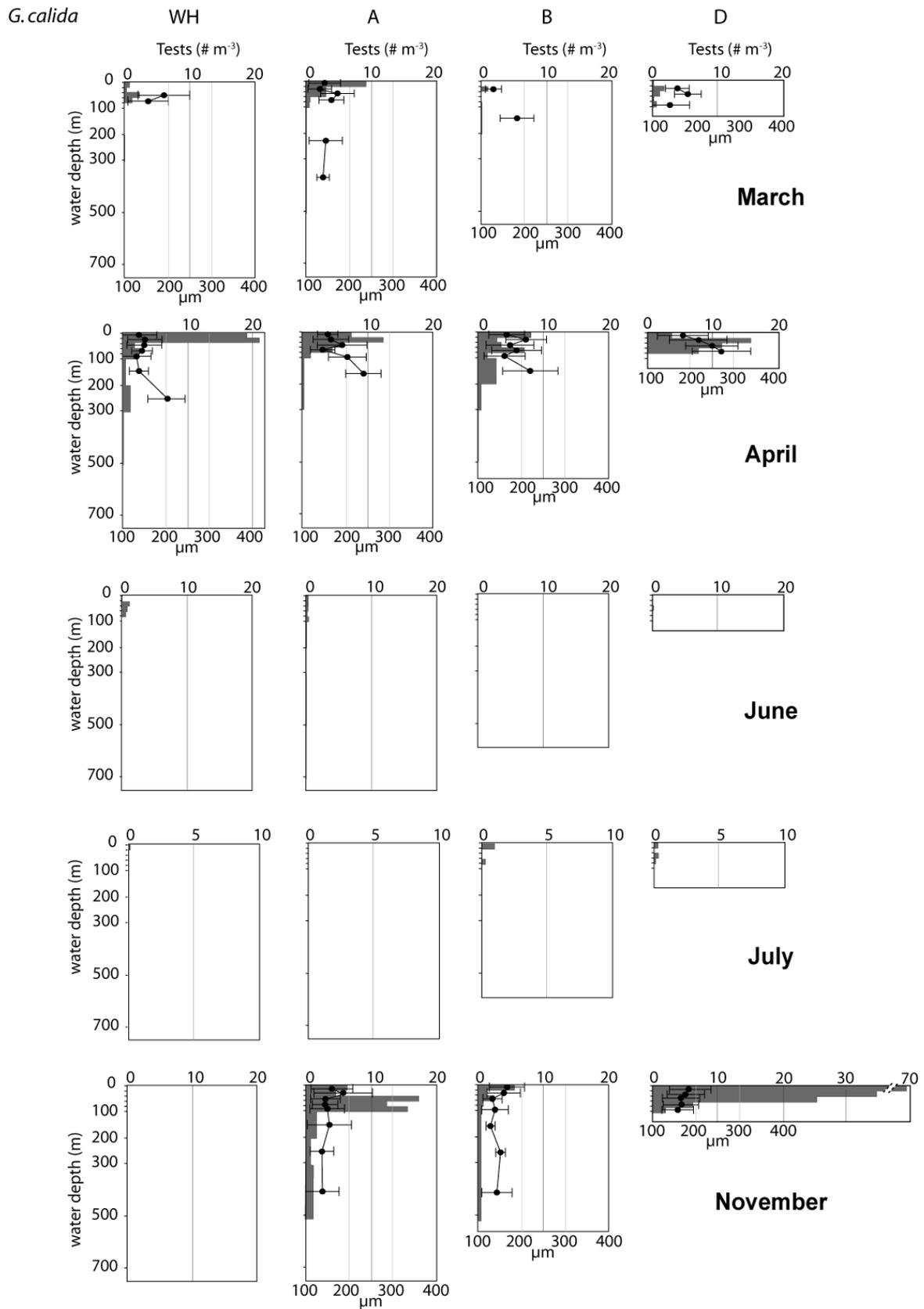


Figure III-29: Distribution verticale des tailles de *G. calida* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en $sp.m^{-3}$).

N. pachyderma dextral

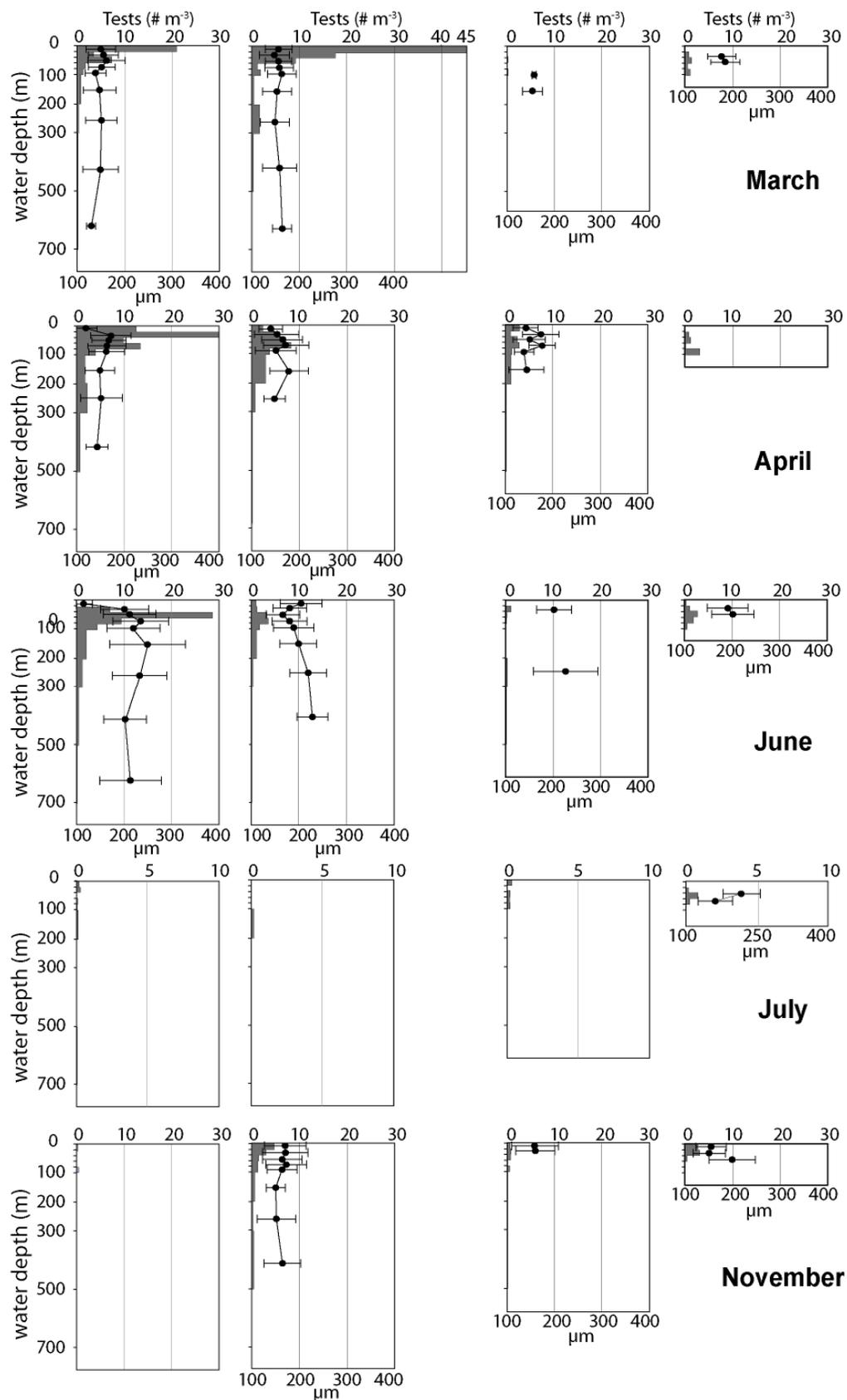


Figure III-30: Distribution verticale des tailles de *N. pachyderma dextre* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en $sp.m^{-3}$).

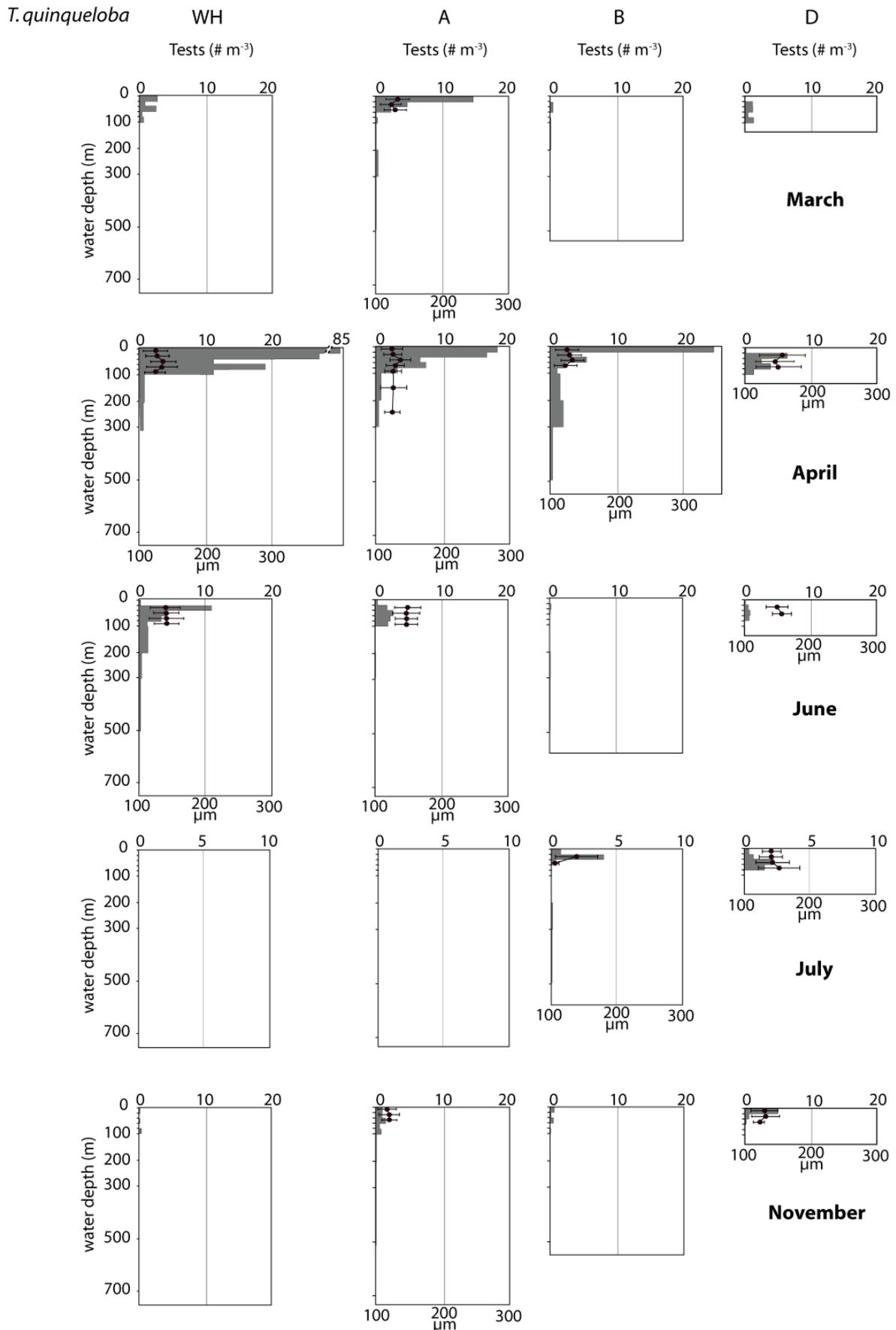


Figure III-31 : Distribution verticale des tailles de *T. quinqueloba* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en $sp.m^{-3}$).

G. inflata

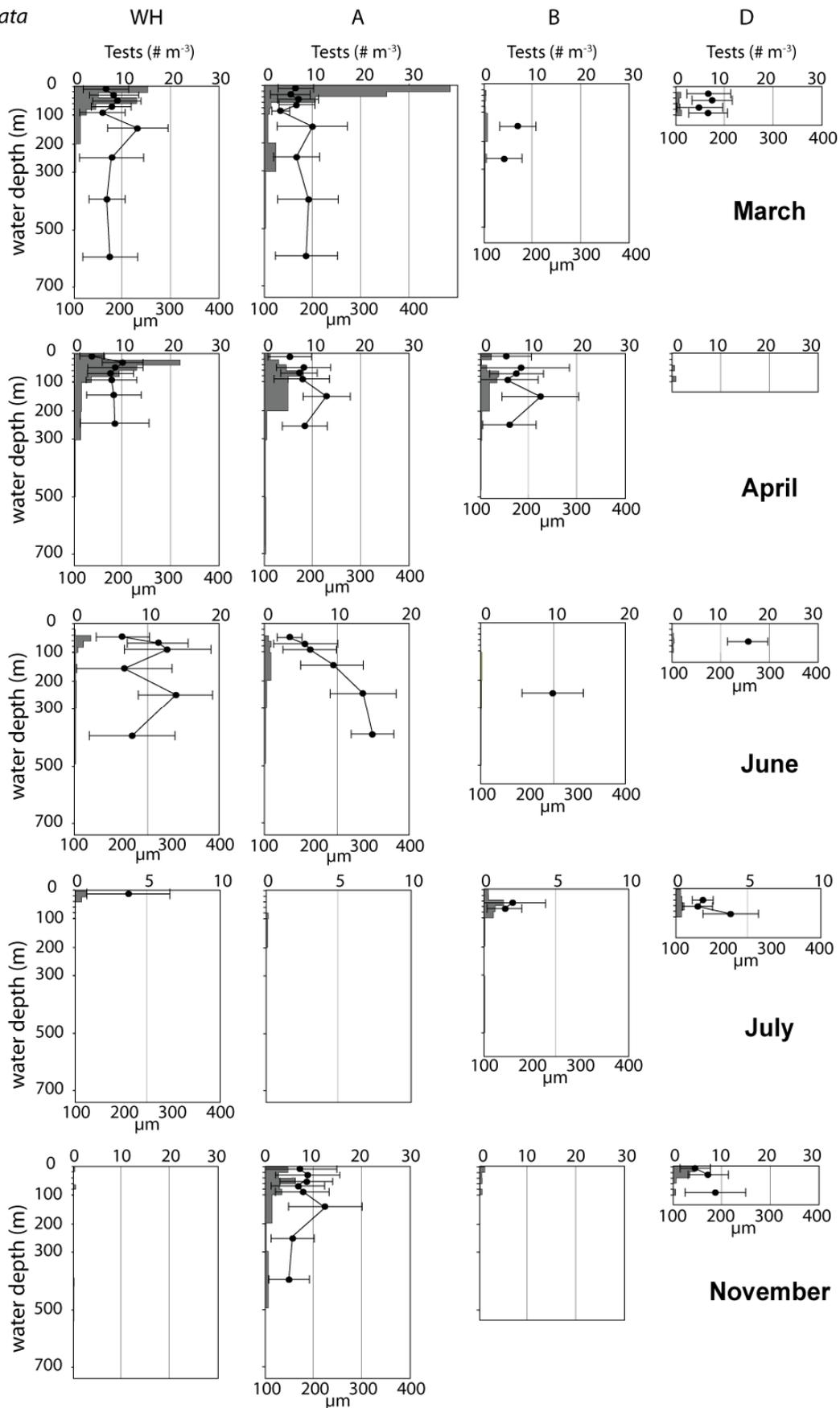


Figure III-32 : Distribution verticale des tailles de *G. inflata* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en $sp.m^{-3}$).

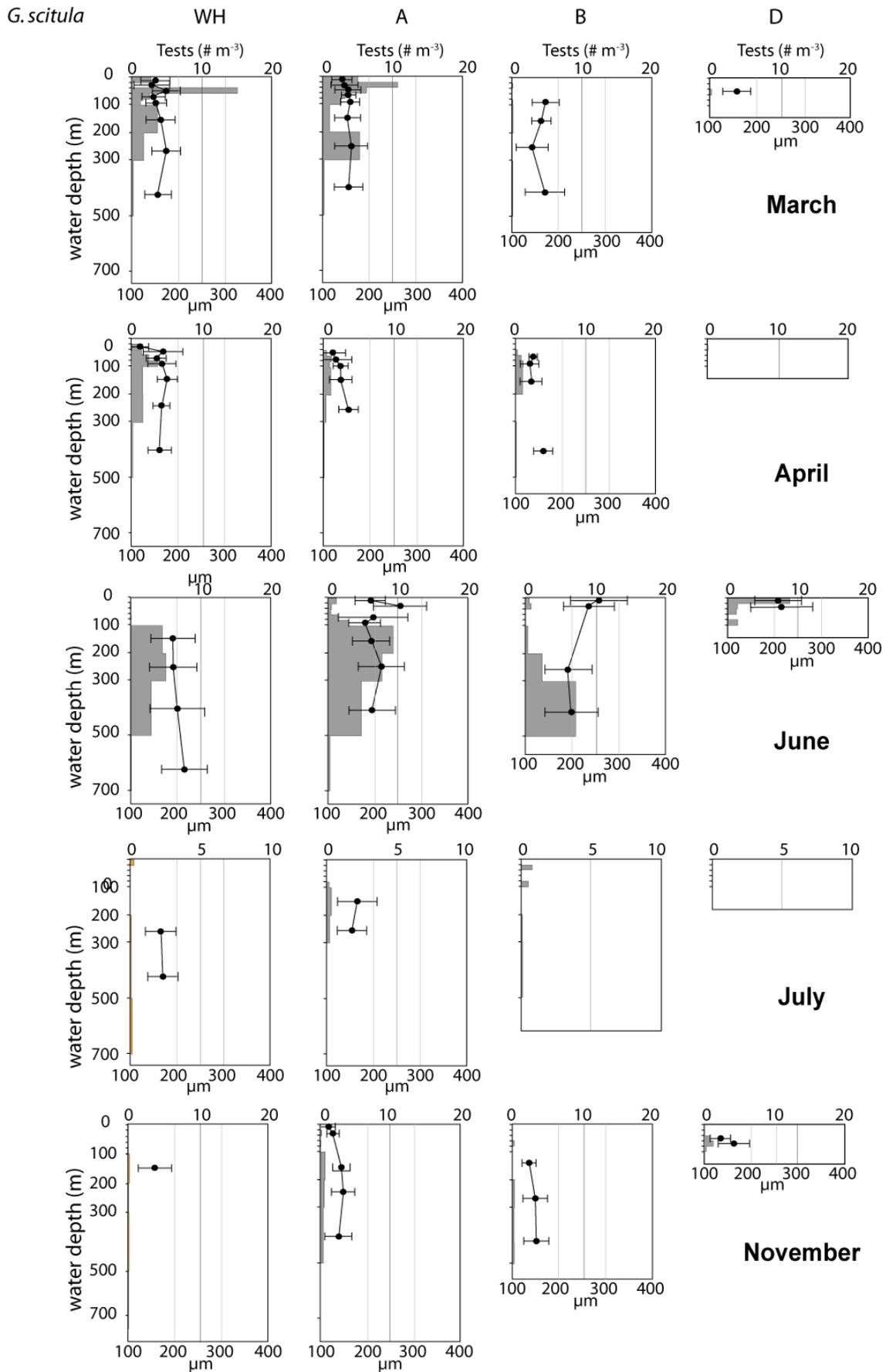


Figure III-33: Distribution verticale des tailles de *G. scitula* aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en $sp.m^{-3}$).

4. Relations avec les paramètres environnementaux

4.1. Influence de la température

La température est considérée comme l'un des facteurs majeurs influençant la taille et la croissance des foraminifères planctoniques (Hecht, 1976; Bijma et al., 1990 ; Schmidt et al., 2004 et 2006). Les plus grands spécimens furent trouvés en Juin 2006 alors que les températures de surface étaient d'environ 21°C (Figure III-34).

Mais les foraminifères planctoniques retrouvés à cette période ne sont que peu présents en surface et sont essentiellement présents à la base de la thermocline, où les températures ont été mesurées entre 11 et 15°C (Chapitre II). Ces températures sont équivalentes aux températures printanières de surface où des plus petits spécimens ont été récoltés. La température ne semble donc pas le facteur majeur influençant les tailles de foraminifères planctoniques, comme le supposait la littérature (e.g. Schmidt et al., 2004 et 2006).

4.2. Influence de la disponibilité en nourriture

Les espèces abondantes en Avril sont essentiellement composées d'espèces de petites tailles, telles que *T. quinqueloba*, *G. uvula* et *G. glutinata*. De plus, les espèces *N. pachyderma* dextre, *G. bulloides* et *G. inflata* sont significativement de plus petites tailles dans les premiers 20 m des Stations WH, où le maximum d'abondance en foraminifères planctoniques a été observée (205 sp.m⁻³) et où *T. quinqueloba*, *G. uvula* et *G. glutinata* sont les plus abondantes, révélant un caractère opportuniste.

On peut alors supposer que la période d'Avril, qui est la période de production maximale de phytoplancton en surface (e.g. Beaufort et Heussner, 1999 ; Lampert, 2001), correspond à une période de reproduction intense des foraminifères planctoniques avec la production d'un grand nombre de jeunes individus de petites tailles.

Par conséquent, la disponibilité en nourriture serait un des facteurs principaux contrôlant leur reproductivité et donc la taille des individus.

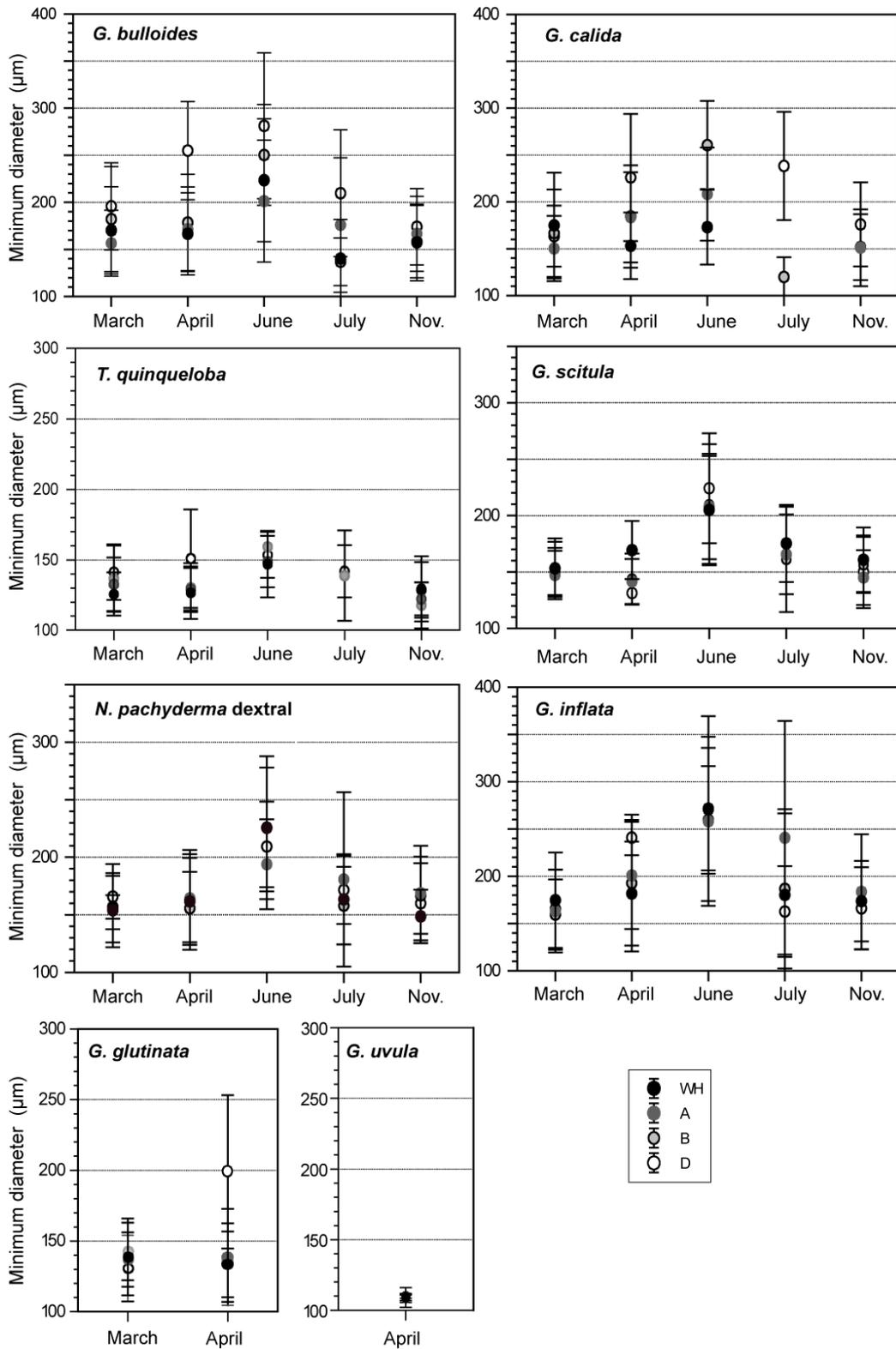


Figure III-34 : Diamètre minimum moyen (µm) et écart type, de Mars à Novembre, pour *G. bulloides*, *G. calida*, *T. quinqueloba*, *N. pachyderma dextral*, *G. inflata*, *G. scitula*, *G. glutinata* et *G. uvula*, pour les quatre Stations WH, A, B and D.

4.3. Etude statistique des relations taille / paramètres hydrologiques

Par manque de temps, cette étude statistique n'a porté que sur l'espèce *G. bulloides* qui a été conduite avec le concours précieux d'O. Pays. Elle nous a servi de test avant de reproduire la méthode sur les autres espèces (travail en cours).

Afin de tester l'effet de la température, la salinité, l'oxygène et la fluorescence sur la taille moyenne de *G. bulloides*, les scores moyens des individus sur les axes 1 et 2 d'une ACP normée (i.e. PC1 et PC2) et la densité des foraminifères ont été analysés par tranche de profondeurs.

Il a fallu trouver une méthode statistique qui prenne en compte la structure particulière du jeu de données. En effet, les données sont structurées dans le temps et l'espace, i.e. échantillonnages sur plusieurs stations (WH, A, B, D), sur plusieurs dates (5 missions) et hiérarchisées (i.e. car plusieurs stations ont été échantillonnées le même jour). Ainsi un modèle linéaire à effets mixtes (LME model), incluant deux effets aléatoires emboîtés (station incluse dans les dates), a été utilisé. Pour satisfaire les conditions d'application des tests paramétriques (normalité et homogénéité des variances) les variables dépendantes précédemment citées (taille, PC1, PC2 et densité) ont été ln-transformées (ln = logarithme népérien).

Pour résumer, les modèles complets incluaient donc comme variables à effets fixes (i.e. variables indépendantes) la température, la salinité, l'oxygène et la fluorescence ; comme variables à effets aléatoires, les stations et comme variable dépendante, l'une des quatre parmi la taille moyenne, PC1 moyen, PC2 moyen et la densité moyenne des foraminifères. Comme il y a quatre variables dépendantes, quatre procédures indépendantes ont été réalisées.

Pour tester l'effet de la température, la salinité, l'oxygène et la fluorescence sur la taille, PC1, PC2 et densité, nous avons utilisé la sélection descendante (backward selection) en retirant au cours de la procédure de sélection, la variable la moins significative de toutes au dessus du seuil $\alpha = 0,05$. Ainsi, les modèles minimaux sélectionnés ne contiennent que les variables ayant un effet significatif. Les tests statistiques ont été réalisés sur R version 2.7.0 (R Development Core Team[®]).

Grâce au modèle statistique linéaire mixte (LME), nous avons pu analyser les corrélations entre le diamètre minimum des spécimens de *G. bulloides* et les paramètres hydrologiques. Comme les données sont normalisées, ici c'est le ln de la taille qui varie et non pas la taille directement, mais les tendances sont identiques. Le tableau ci-dessous indique les indices de Fisher, les degrés de liberté (df1, df2) et le coefficient de corrélation (P-value).

$\alpha = 0.005$ (significatif)

Paramètre	Fisher	df1	df2	P-value
Fluorescence	0.147	1	92	0.702
Oxygène	0.235	1	93	0.629
Température	1.087	1	94	0.299
Salinité	11.791	1	106	<0.001

En calculant la moyenne des valeurs de PC1 pour chaque échantillon, pour cette espèce, nous pouvons analyser les corrélations entre les paramètres de tailles (PC1) de *G. bulloides* et les paramètres hydrologiques. Nous obtenons les données suivantes.

$\alpha = 0.005$ (significatif)

Paramètre	Fisher	df1	df2	P-value
Fluorescence	0.017	1	87	0.0896
Oxygène	0.202	1	88	0.655
Température	2.095	1	99	0.151
Salinité	11.432	1	100	0.001

Donc la salinité est significativement corrélée avec les paramètres de taille (PC1) de *G. bulloides*, alors que les autres paramètres ne montrent pas de corrélation significative. Le coefficient de la salinité est : -0.214 ± 0.062 donc la corrélation est négative. Par conséquent, *G. bulloides* montre une augmentation des paramètres de taille en relation avec une diminution de salinité.

Cette étude se heurte au fait que les variables Fluorescence, Oxygène et Température ne sont pas des paramètres indépendants. La méthode statistique utilisée ici devra donc être perfectionnée avant que l'on puisse étendre son champ d'application et développer un modèle plus complexe que linéaire.

4.4. Influence des apports fluviaux

En Avril, Juin et Juillet, des tailles plus grandes sont remarquées pour les spécimens de *G. bulloides*, *G. calida*, *T. quinqueloba*, *G. inflata* et *G. glutinata* à la Station D. Deux hypothèses peuvent être proposées :

- 1) Les assemblages retrouvés à la Station proximale D, sont des assemblages expatriés d'adultes provenant du large, pouvant supporter un environnement défavorable sous influence continentale avec des variations de salinités et turbidités plus importantes dues aux apports fluviaux (Arnold et Parker, 1999). Dans ce cas, les populations de chacune des espèces observées devraient être de tailles plus importantes, ce qui n'a pas été observé de façon manifeste pour toutes les espèces et à toutes les périodes. Seules les espèces *G. bulloides*, *G. glutinata*, *T. quinqueloba* ont été reconnues comme ayant de plus grands spécimens en Station D en Avril, alors que les plus faibles salinités observées en surface y ont été enregistrées.
- 2) Ces spécimens, vivants dans un environnement sous influence du panache d'un fleuve, ne se reproduiraient pas à la même fréquence que les individus situés dans des eaux plus marines. De plus grands spécimens (>200 µm) avaient déjà été remarqués par Lidz (1966) en zone sous influence d'un fleuve (Fleuve Santa Ana, Californie). Les plumes fluviales sont chargées de particules sédimentaires et de matière organique continentale, perturbent ponctuellement l'écosystème marin, et pourraient notamment déstabiliser le cycle de reproduction des foraminifères planctoniques, en faisant continuer leur croissance.

L'observation de ces grandes tailles en Station D, sous le stress écologique d'une influence continentale, fait penser que les foraminifères planctoniques sont capables de moduler la durée de leurs cycles de reproduction en périodes de forte perturbation, comme une forte turbidité et/ou faible salinité, attendant des conditions meilleures pour se reproduire.

5. Conclusion

La taille des foraminifères planctoniques semble réagir fortement à la disponibilité en nourriture et dans une moindre mesure à la salinité, mais ne semble pas réagir à la température de façon directe.

Comme le remarque Bé et al. en 1973, les tests les plus grands n'indiquent pas nécessairement un environnement optimal et Hecht (1976) précise que c'est le maximum d'abondance spécifique qui indique un environnement optimal.

En effet, une augmentation de taille peut être interprétée de deux façons en fonction de la signification que l'on donne à la taille. Lorsque la population d'une espèce grandit en taille, soit on considère que les individus sont dans un environnement optimal et grossissent, soit qu'ils évoluent dans un environnement hostile à la reproduction et la population vieillit donc grossit. La taille ne peut donc être considérée de façon isolée comme un paramètre indicatif de conditions favorables ou non de l'environnement.

CHAPITRE IV

Composition et distribution des espèces de foraminifères planctoniques morts des filets à plancton

1. Introduction

La production de carbonate marin et son accumulation sont liés aux cycles biogéochimiques globaux, de l'échelle des saisons aux millénaires (e.g. Barker et Elderfield, 2002; Zeebe et Ridgwell, 2005; Zachos et al., 2005). La production, le flux et l'accumulation de carbonates pélagiques ou profonds agissent différemment sur le budget carbonate avec des incertitudes inhérentes (e.g. Milliman et Doxler, 1996). Dans les environnements marginaux, la production de carbonate et l'accumulation sont peu connues.

Il a été démontré par le passé que la pression partielle de CO₂ atmosphérique est l'un des facteurs majeurs des changements climatiques globaux. L'augmentation rapide du CO₂ atmosphérique liée aux activités anthropiques (4^{ème} IPCC Report, 2007) fait qu'il est nécessaire de mieux comprendre le cycle du carbone et donc des carbonates.

Les organismes formant des tests en carbonate de calcium, tels que les foraminifères planctoniques (Protistes) et les coccolithophoridés (algues brunes) peuvent être des contributeurs majeurs à la sédimentation carbonatée des zones marginales océaniques (Schiebel et Hemleben, 2000 ; Schiebel, 2002 ; Fabry et al., 2008).

Alors que les coccolithes ont une production massive (bloom d'*Emiliana huxleyi*) dans les mers continentales (e.g., Rees et al., 2002), les foraminifères planctoniques ne peupleraient que faiblement les océans côtiers (Boltovskoy et Wright, 1976 ; Hemleben et al., 1989). Les tests de foraminifères planctoniques sont présents dans des sédiments d'eau peu profondes cependant certains chercheurs pensent qu'il s'agirait de spécimens expatriés de leur habitat par des courants (cf. Arnold et Parker, 1999).

De récentes études ont prouvé qu'en milieu hémipélagique, le long du plateau continental, les foraminifères sont encore abondants (e.g. Boltovskoy, 1970 ; Ortiz et al., 1995 ; Retailleau et al., 2009). Par conséquent, les foraminifères planctoniques peuvent être des contributeurs majeurs à la sédimentation carbonatée des zones marginales océaniques (Schiebel et Hemleben, 2000).

Afin de mieux comprendre la progression des foraminifères planctoniques vers les fonds marins après leur mort, les foraminifères planctoniques identifiés comme morts (non colorés au Rose Bengal) des 154 filets à plancton (>100 µm) des Stations WH, A, B et D sont ici analysés. Ils seront comparés avec les spécimens vivants, du point de vue spécifique, morphométrique et leur répartition sera analysée en lien avec l'hydrologie.

L'étude des assemblages des spécimens morts provenant de filets à planctons ne sont qu'une vision instantanée de ces flux. Le but de ce chapitre consiste donc en un travail préliminaire sur les variations des flux de foraminifères planctoniques et donc leurs importances dans le flux de carbone vers les fonds océaniques. L'étude de deux pièges à sédiments déployés de Juin 2006 à Juillet 2008 en Station WH à 800 et 1700 m de profondeur, permettra une plus large connaissance du flux des foraminifères planctoniques vers le fond. Ces données de pièges sont en cours d'investigation (Kuhnt et al., 2009).

2. Analyse des résultats

2.1. Distribution globale des tests de foraminifères morts

Ces données de distribution globale de la faune morte ont été brièvement décrites dans le chapitre II (Retailleau et al., 2009). Nous les complétons ici en plus grand détail.

La distribution spatiale et temporelle des tests vides calquent en général la distribution des stocks de foraminifères vivants :

1) Les plus grandes concentrations de foraminifères morts ont été enregistrées en Avril à toutes les stations prélevées avec un maximum à la Station WH de 23 sp.m⁻³ (Figure IV-1A). Cependant, les concentrations de tests vides étaient deux à cinq fois inférieures au nombre d'individus vivants en Avril, et 28 fois inférieurs en Juin à la Station WH.

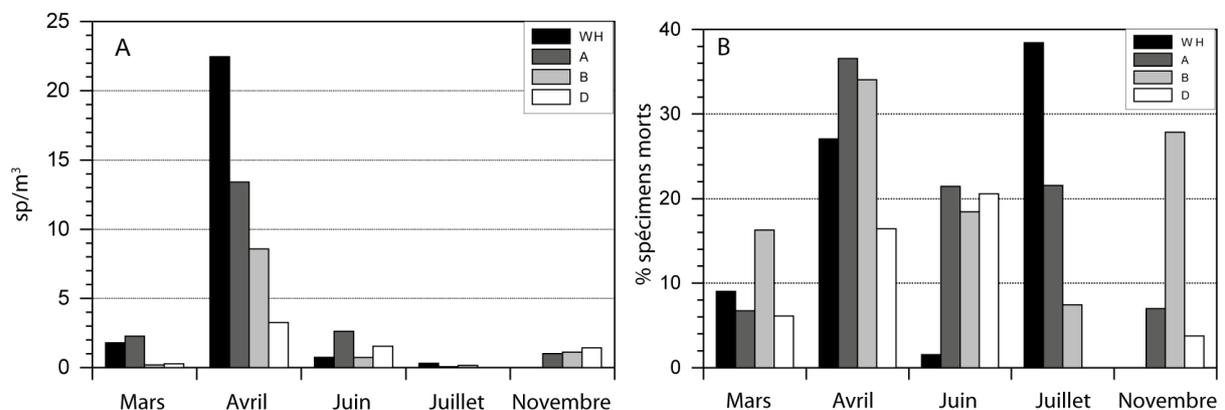


Figure IV-1: Concentrations moyennes de foraminifères planctoniques morts aux Stations WH, A, B and D, de Mars à Novembre : A. en spécimens par mètre cube ; B. en pourcentage par rapport à la faune totale (spécimens morts + spécimens vivants).

2) Les concentrations de tests vides diminuent vers la côte en Mars et Avril (Figure IV-1A), suivant la distribution de la faune vivante (Figure III-1)

La distribution verticale des spécimens morts de foraminifères planctoniques a été présentée sur la Figure II-7. Elle est rappelée ici pour un confort de lecture (Figure IV-2) et analysée en détails. Les tests vides ont été trouvés à travers toute la colonne d'eau, de la surface à 700 m de profondeur.

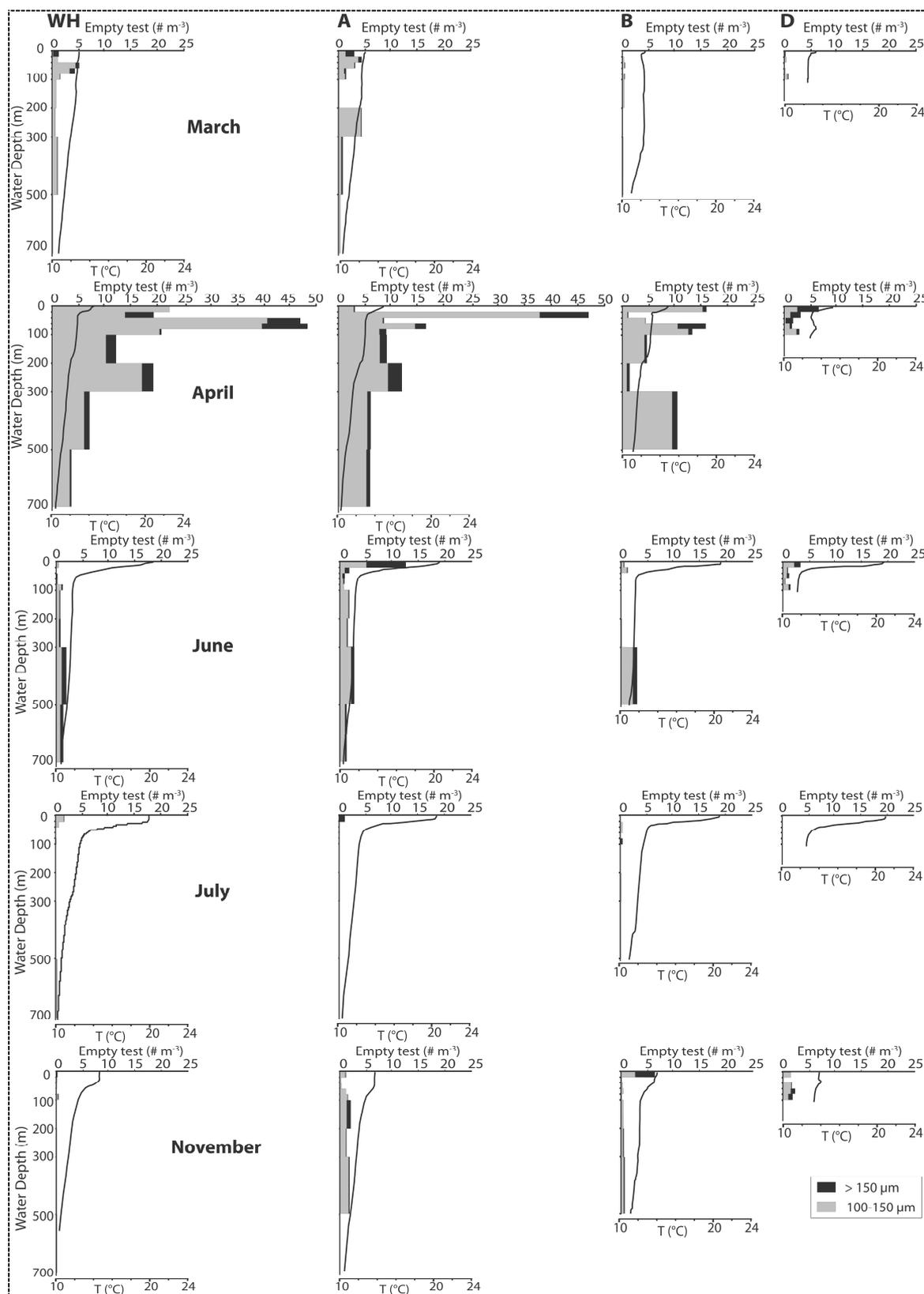


Figure IV-2: Rappel de la Figure 7 Chapitre II – Nombre de foraminifères planctoniques morts en nombre de spécimens par mètre cube d’eau de mer échantillonnée (noir : fraction de taille >150 μm ; gris : fraction de taille entre 100-150μm) aux Stations WH, A, B et D, de Mars à Novembre. Le profile de température (°C) est ici figurée par une ligne noire.

En Mars, les spécimens morts sont essentiellement dans les Stations WH et A (Figure IV-1A), concentrés dans les 100 premiers mètres (Figure IV-2), représentant environ 9 % de la faune totale (c'est-à-dire spécimens morts + spécimens vivants), avec des concentrations maximums d'environ 5 sp.m⁻³ (Figure IV-1B). Un second pic de concentration à 4 sp.m⁻³ apparaît entre 200 et 300 m à la Station A.

En Avril, la faune morte est la plus abondante sur l'ensemble de la zone d'étude et constitue ainsi de 16 à 37 % de la faune totale (Figure IV-1B). Les maxima de concentrations se dispersent entre 0 et 80 m, atteignant jusqu'à 49 sp.m⁻³ entre 60 et 80 m à la Station WH et 47 sp.m⁻³ entre 20 et 40 m à la Station A (Figure IV-2). Un second pic de concentration entre 12 et 19 sp.m⁻³ apparaît entre 200 et 300 m aux Stations WH et A, et entre 300 et 500 m de 10 sp.m⁻³ en Station B (Figure IV-2, Tableau IV-1).

En Juin, les spécimens morts sont essentiellement trouvés à la Station B, avec un maximum en surface de 12 sp.m⁻³. Aux Stations WH, A et B, une légère augmentation de concentration apparaît entre 300 et 500 m de profondeur (Figure IV-2, Tableau IV-1).

Juillet est pauvre aussi bien en foraminifères morts que vivants. Près de 38% de la faune totale en Station WH est composée d'individus morts (Figure IV-1).

En Novembre, les spécimens morts sont essentiellement trouvés en surface à la Station B, avec un maximum de 6 sp.m⁻³ et en Stations A et D, avec ~ 2 sp.m⁻³.

2.2. Répartition spécifique des tests de foraminifères morts

Toutes les espèces reconnues dans la faune vivante ont été reconnues dans la faune morte. Le comptage par espèces des individus morts est présenté en nombre de spécimen par m³ par profondeur, station et saison en Annexe A.

Les espèces majeures de la faune vivante sont aussi les espèces principales retrouvées dans la faune morte. Il s'agit de *Globigerina bulloides*, *Turborotalia quinqueloba*, *Neogloboquadrina pachyderma* dextre, *Globigerinella calida*, *Globorotalia scitula* et *inflata*, composant de 83% à 100% la faune morte. Les espèces mineures de la faune vivante sont absentes ou rarement retrouvées dans la faune morte.

En Avril, l'assemblage de la faune morte est beaucoup plus diversifié avec quelques spécimens de *Globigerinita glutinata*, *Globigerinita uvula*, *Turborotalita humilis* ou *Orcadia riedeli*.

En Novembre, les spécimens morts sont rares à la Station WH.

T. quinqueloba est l'espèce la plus abondante de la faune morte. Elle partage la dominance des faunes mortes avec *G. bulloides*, et est considérablement abondante en Avril représentant 24 à 60% des assemblages ($> 25 \text{ sp.m}^{-3}$ entre 40 et 80 m en WH, et entre 20 et 40 m en Station A ; 10 sp.m^{-3} en surface en B et 2 sp.m^{-3} à 100 m en D). *T. quinqueloba* est toujours bien représentée en Juin (27-37%), est peu présente en Novembre et Juillet, et absente aux Stations du large WH et A en Mars.

G. bulloides est présente toute l'année sur toutes les stations, avec une abondance maximale en Avril où elle se répartit plutôt entre 20 et 80 m à la Station WH ($4-5 \text{ sp.m}^{-3}$), elle se concentre à 20-40 m à la Station A ($10,7 \text{ sp.m}^{-3}$), à 60-80 m à la Station B ($6,7 \text{ sp.m}^{-3}$) et en surface à la Station D ($2,6 \text{ sp.m}^{-3}$). En Mars, elle se retrouve surtout dans les stations du large, WH et A et en Juin, à la Station A seulement en surface. *G. bulloides* est relativement rare en Juillet et Novembre (max 1 sp.m^{-3} en Juillet à WH).

N. pachyderma dextre est trouvée à toutes les périodes d'échantillonnage, représentant 2 à 29% de la faune morte. Les plus grandes concentrations sont observées en Avril, avec 8 sp.m^{-3} en Station WH. Sa quantité décroît de 10% à 4% de la faune morte, de la Station WH à la Station B. Elle est aussi présente en Mars dans les stations du large, WH et A (max $1,5 \text{ sp.m}^{-3}$ à 40-80 m en WH).

G. calida est présente en abondance en Avril à toutes les stations (4 sp.m^{-3} à 20-40 m en Station A), exceptée à la Station la plus côtière, D. Inversement en Novembre, où elle est remarquablement abondante en Station D et absente de la Station WH. Elle constitue environ 50% de la faune morte aux Stations A et B (maximum de 3 sp.m^{-3} en surface de la Station B) et jusqu'à 86% à la Station côtière D (maximum de $2,1 \text{ sp.m}^{-3}$ à 60-80 m) en Novembre.

G. inflata se trouve essentiellement en Avril dans les Stations offshores WH et A, sous 20 m de profondeur, avec un maximum de $2,6 \text{ sp.m}^{-3}$ à 60-80 m en WH.

G. scitula est trouvée en petite quantité en Avril à 40-60 m à la Station WH ($< 1 \text{ sp.m}^{-3}$) et en Juin en surface à la Station A, représentant 15% de l'assemblage ($< 1,8 \text{ sp.m}^{-3}$).

On remarque une variation saisonnière des espèces des faunes mortes. En Mars, les faunes sont essentiellement composées de *G. bulloides* et *N. pachyderma* dextre, mais aussi de *G. inflata*. Avril est la période ayant la plus grande diversité d'espèces dans sa faune morte, avec de nombreuses *N. pachyderma* dextre et *G. bulloides*, avec une dominance de *T. quinqueloba* qui constitue entre 24 et 60% de la faune morte.

En Juin, *G. bulloides* et *T. quinqueloba* dominent l'assemblage dans toute la colonne d'eau, il faut signaler à cette période une quantité relativement forte de *G. scitula*.

Les pics profonds de concentration sont essentiellement constitués de spécimens de *G. bulloides* et de *T. quinqueloba* (en Mars, Avril, Juin). En Juillet, les rares spécimens rencontrés sont des espèces *G. bulloides* et *T. quinqueloba*.

A la différence des autres périodes, *G. calida* domine la faune morte en Novembre, représentant jusqu'à 86% des individus morts à la Station D.

2.3. Taille des individus – Comparaison avec les spécimens vivants

Les abondances de foraminifères planctoniques en Mars, Avril, Juin et Novembre nous permettent de comparer les tailles des spécimens vivants et morts pour les espèces majeures des assemblages morts : *G. bulloides*, *T. quinqueloba*, *N. pachyderma* dextre, *G. calida*, *G. scitula* et *G. inflata*. L'étude sur la taille des spécimens morts a été menée de la même façon que celle des spécimens vivants et prend en compte les moyennes des diamètres minimaux des individus (Figure IV-3).

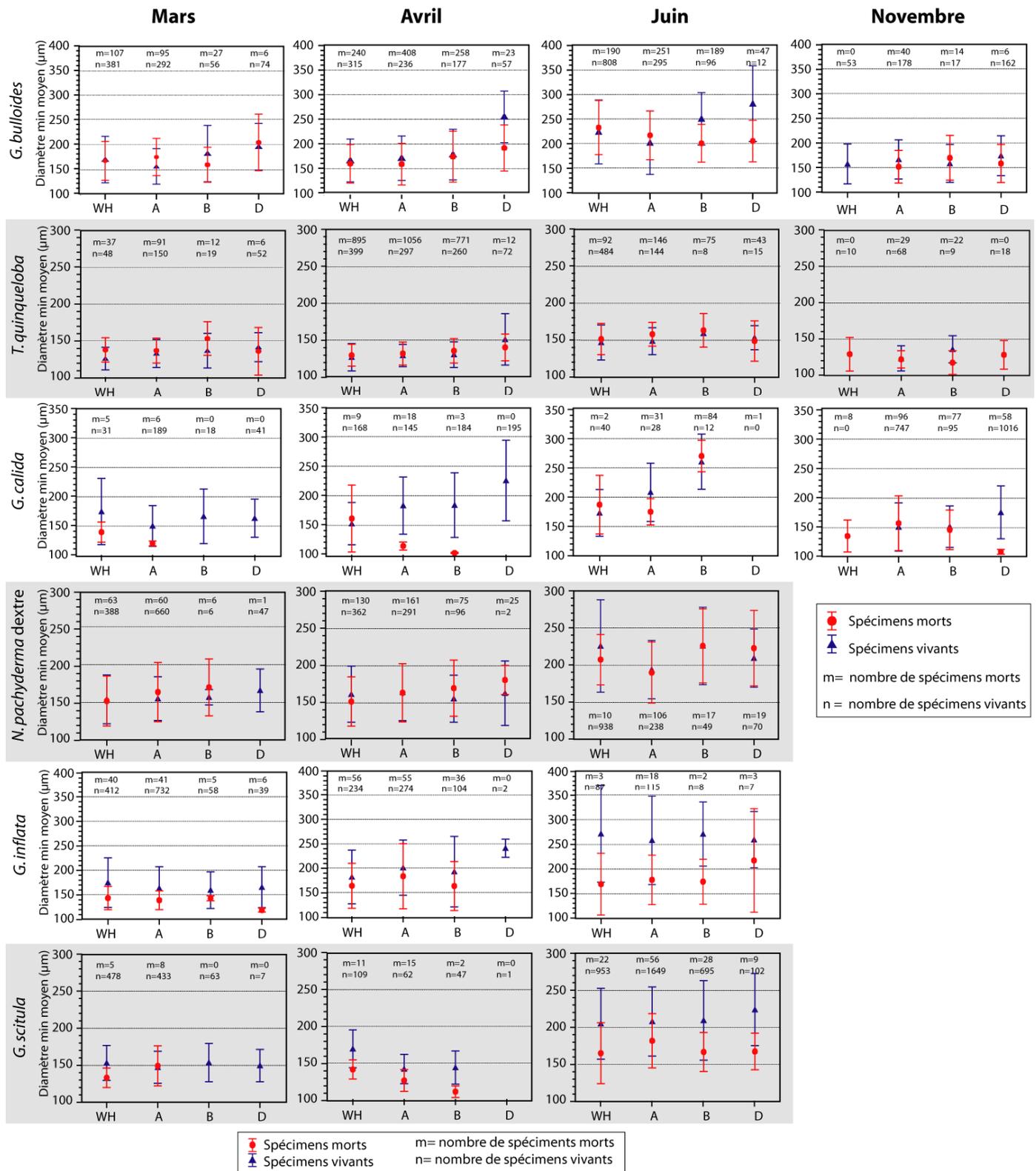


Figure IV-3: Diamètre minimum moyen (μm) et écart type des spécimens morts et vivants pour les espèces *G. bulloides*, *T. quinqueloba*, *G. calida*, en Mars, Avril, Juin et Novembre, et *N. pachyderma dextre*, *G. calida*, *G. inflata* et *G. scitula*, en Mars, Avril et Juin.

Les tailles moyennes des spécimens de *T. quinqueloba* et de *N. pachyderma* dextre sont similaires entre spécimens morts et vivants, quels que soient les lieux ou la période de prélèvement.

Aux quatre périodes d'échantillonnages, les spécimens morts de *G. inflata* et de *G. scitula* sont retrouvés plus petits que les spécimens vivants, jusqu'à environ 50 μm de moyenne en Juin sur toutes les stations.

Les tests vides de *G. bulloides* retrouvés en Avril en Station D et en Juin aux Stations B et D, ont des tailles significativement inférieures aux tailles moyennes des individus vivants.

3. Discussion

3.1. Distribution globale

Au cours des 5 périodes étudiées, les plus grandes abondances de foraminifères planctoniques morts sont observées au printemps (Avril). Les nombres de tests vides en Juin, Juillet, et Novembre sont faibles. Le nombre d'individus morts décroît du large vers la côte. Cette répartition spatiale et temporelle reflète fidèlement la répartition des stocks d'individus vivants.

L'abondance maximale en Avril correspond au maximum de production de foraminifères planctoniques, retrouvées au large, liés au bloom phytoplanctonique printanier.

L'essentiel des flux de tests vers le fond serait par conséquent plus important au printemps et situé au large dans le Golfe de Gascogne.

Si dans les grandes lignes, les espèces retrouvées dans les assemblages des morts calquent les assemblages des vivants, il faut rappeler que le nombre d'individus morts présents dans la colonne d'eau à un instant t (celui du prélèvement) est inférieur au stock de vivants (de 2 à 28 fois).

A la différence des modèles proposés par Berger et Piper (1971), les quantités de foraminifères planctoniques morts ne suivent pas une distribution verticale homogène (Berger, 1971 ; Boltovskoy et Wright, 1976), mais s'organisent en nuages. En Juin, par exemple, entre 300 et 500 m de profondeur, aux Stations WH, A et B, des concentrations plus importantes ont été observées. Cette profondeur correspond à un fort gradient de salinité lié à la veine d'eau Méditerranéenne (MOW) sous-jacente. Lors de leur chute vers les fonds marins, les spécimens pourraient s'accumuler le long de ce front océanique, lié à un

changement de densité des eaux. Ces accumulations sur des fronts océaniques augmentent le temps de résidence des spécimens dans l'eau, et augmentent leur chance d'être transportés latéralement.

3.2. Distribution spécifique

Les six mêmes espèces majeures ont été reconnues dans les faunes mortes et vivantes.

Les espèces majeures retrouvées dans les spécimens morts sont essentiellement *G. bulloides*, *T. quinqueloba*, *N. pachyderma* dextre et dans une moindre mesure *G. inflata* au cours de toutes les périodes étudiées, formant 70 à 95% des assemblages, excepté en Novembre où la faune morte est représentée essentiellement par *G. calida*.

Les alternances de prédominance entre les différentes périodes sont intimement liées à leur dominance dans la faune vivante. En Novembre, *G. calida* est prédominante, tant dans la faune vivante que morte. En Avril, *T. quinqueloba* est très abondante ainsi que *G. bulloides* et *N. pachyderma* dextre (Chapitre III). Les occurrences de *G. scitula* dans les assemblages morts correspondent aux périodes d'abondance de cette espèce dans la faune vivante, c'est-à-dire Mars et Juin (Chapitre III).

Les espèces telles que *G. bulloides*, *T. quinqueloba*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* sont souvent surreprésentées dans la faune morte. *G. bulloides* et *T. quinqueloba* sont très abondantes en Avril et représentent environ 70% de l'assemblage des morts et seulement 44% dans la faune vivante. *T. quinqueloba* est la seule espèce montrant, à toutes les périodes, une plus grande abondance dans la faune morte, jusqu'à 27 fois plus abondante dans les morts par rapport aux vivants. *G. inflata* jusqu'à 13 fois plus représentée dans la faune morte, *G. calida* jusqu'à 9 fois, *G. bulloides* jusqu'à 5 fois et *N. pachyderma* dextre jusqu'à 4 fois. Ces surreprésentations dans les assemblages de spécimens morts pourraient être liées à leurs faibles masse volumique et donc à leur lente chute vers le fond (Berger, 1971 ; Schiebel et Hemleben, 2000). La petite taille et le faible poids de *T. quinqueloba*, ainsi que le rapport poids/taille de *N. pachyderma* dextre, *G. bulloides*, *G. inflata* et *G. calida* (Schiebel et Hemleben, 2000) expliqueraient un temps de chute des tests morts vers les fonds plus long et donc la surreprésentation de ces espèces dans l'assemblage morts (Schiebel et al., 2001).

3.3. Distribution des tailles

La taille des spécimens morts de *G. bulloides*, *G. inflata* et *G. scitula* sont parfois significativement plus faibles que celle des spécimens vivants (Figure IV-3).

Pour *G. inflata* et *G. scitula*, ces différences s'observent sur tout le transect étudié. En revanche, les tailles des spécimens morts de *G. bulloides* sont inférieures aux tailles des vivants en Avril et Juin, uniquement aux stations côtières. A ces deux périodes, les Stations B et D sont influencées par le panache de la rivière Adour. Dans le chapitre précédent, nous avons remarqué à ces mêmes périodes des tailles de population de *G. bulloides* significativement plus grandes aux Stations B et D par rapport aux stations offshore, proposant une perturbation de leur cycle de reproduction et leur continuité de croissance liée à l'influence du panache de la rivière. Ces tailles significativement différentes entre les spécimens morts et vivants pourraient étayer cette hypothèse par l'avènement d'une génération plus grande que les précédentes. En revanche, cette hypothèse n'explique pas les différences observées pour *G. inflata* et *G. scitula* tout le long du transect.

Une autre hypothèse est celle de la ségrégation des spécimens dans la colonne d'eau par la taille, et donc leur poids. Il y aurait une fuite des spécimens les plus gros vers le fond (Berger, 1971 ; Schiebel et al., 2001). Les tailles comparées des spécimens morts et vivants seraient ainsi biaisées par la perte des spécimens les plus lourds, expliquant ces différences de tailles observées entre les vivants et les morts. Cependant, on devrait alors observer une différence systématique, or ce n'est pas le cas.

4. Conclusion

Cette étude des organismes morts retrouvés dans la colonne d'eau au cours de 5 missions est un premier pas vers la connaissance des flux de tests vers le fond. Il est en effet important de pouvoir quantifier les flux de carbonate exporté dus à la production de foraminifères planctoniques, et leur vitesse de chute. Il s'agit également de mieux comprendre l'enregistrement des foraminifères planctoniques dans les sédiments par rapport à la dynamique réelle de la population, notamment pour les études de paléoclimatologie.

Cette étude a permis de vérifier qu'au point de vue de la quantité globale, les tendances du signal mort (dans la colonne d'eau) sont les mêmes que celles de la production, avec un facteur quantitatif correctif qui peut être important (2 à 28 fois). Au moment de la production maximale (printemps), qui va être le signal majeur enregistré sur le fond, les quantités dans la

colonne d'eau sont diminuées d'un facteur 2 à 5 par rapport à la production, du large vers la côte.

La distribution spécifique des tests vides semble être biaisée par une ségrégation par la taille (et donc de poids) qui s'opère au sein des espèces avec la fuite rapide des spécimens de tailles plus importantes vers le planché océanique. Il semble aussi qu'en fonction des conditions océanographiques particulières (ex. gradient de salinité), certaines espèces légères et ou petites voient leur chute vers le fond freinée au niveau de fronts entre masses d'eau. Ces deux processus maintiennent donc les individus, notamment les plus petits, plus longtemps dans la colonne d'eau, ce qui augmente leur potentialité à être transportés latéralement. Les faunes retrouvées sur le fond risque alors d'être amputées de ces populations petites (petits individus et /ou petites espèces).

Afin de progresser dans la connaissance des flux de foraminifères planctoniques, des déploiements à long terme de pièges à sédiments ont permis d'observer des variations interannuelles et saisonnières du flux de populations et d'espèces (e.g. Deuser et al., 1981 ; Thunell, 1983 ; Deuser, 1986 ; Sautter et Sancetta, 1992 ; Schiebel et Hemleben, 2000 ; Kawahata et al., 2002).

Concernant notre zone d'étude, un mouillage de deux pièges à sédiments a été déployé en Station WH, l'un à 800 m, l'autre à 1700 m. Ces pièges ont été programmés pour obtenir un échantillonnage tous les 5 à 12 jours pendant 2 ans, entre Juin 2006 et Juillet 2008. Les premiers résultats de l'étude de ces échantillons (Kunht et al., 2009) confirment que la période du printemps est le moment de flux maximum, mais qu'il y a une deuxième période de flux abondant, en décembre, que nous ne pouvons pas voir dans notre étude. Le flux de foraminifères est dominé par les espèces *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre, *G. inflata* et *Orbulina universa*, accompagnées d'espèces relativement moins abondantes comme *G. calida*, *G. glutinata*, et *G. scitula*. Parmi ces espèces trouvées dans les pièges, deux espèces ne se retrouvent pas en aussi grande quantité dans la colonne d'eau supérieure échantillonnée par les filets à plancton ; il s'agit de *Orbulina universa* et *Globigerinita glutinata*. Une comparaison plus précise entre les échantillonnages des pièges et des filets s'impose. Enfin une étude des populations de foraminifères conservées dans les sédiments océaniques est en cours, qui révélera la part du signal qui restera enregistrée.

CHAPITRE V

Comparaison des distributions des foraminifères planctoniques vivants entre des stations situées dans le canyon de Cap Breton et les stations du Plateau des Landes

1. Introduction

Les talus du plateau de nombreuses marges continentales sont souvent interrompus, à intervalles irréguliers, par des canyons sous-marins. Il s'agit d'entailles profondes d'origine tectonique dont certaines ont une extrémité proche du littoral.

Les canyons jouent un rôle important dans l'écosystème à l'échelle régionale. Une quantité d'informations convergent sur le fait que les canyons sont des régions de grandes diversités spécifiques et de productivité biologique importante (Hickey, 1997) attirant les activités de pêche commerciale.

Leur position géographique et leur morphologie confèrent aux canyons la capacité de pièges à sédiments, et donc à nutriments. Les fortes pentes des canyons sous-marins ainsi que leur étroitesse permettent la chenalisation de courants forts, soit descendants entraînant des sédiments (coulées turbiditiques), soit ascendants correspondant à des événements d'upwelling initiés par des processus d'ondes internes au moment de fortes marées (e.g. Hickey, 1997 ; Viana et al., 1998 ; Mulder et al., 2001 ; Kunze et al., 2002 ; Rennie et al., 2009). Cette circulation complexe peut ramener en surface des nutriments et par conséquent favoriser la production de phytoplancton et entraîner une augmentation de la diversité du zooplancton (Hickey, 1997). Leur étroite morphologie font des canyons l'une des zones les plus difficiles à étudier dans les océans, expliquant les rares études hydrologiques conduites dans ces zones. Néanmoins ces zones sont surtout étudiées pour les écoulements gravitaires s'y déroulant, tels que les événements turbiditiques (e.g. Mulder et al., 2001).

Le canyon de Cap Breton (Figure V-1) est l'un des plus grands canyons sous-marins d'Europe, situé au Sud Est du Golfe de Gascogne, positionné entre 43°34'N et 43°42'N, avec une longueur de 300 km et une largeur maximale de 32 km (Mulder et al., 2001 ; Hess et Jorissen, 2009). Il prend naissance à 250 m de profondeur, à quelques kilomètres au large de la côte Sud Landaise. L'analyse géomorphologique de ce canyon a montré que la genèse de ce canyon s'est effectuée en continuité du fleuve Adour lors d'un bas niveau marin, sous l'effet de courants gravitaires (Cirac et al., 2001). Le tracé du canyon de Cap Breton reprend le système de la Faille Nord Pyrénéenne (Boillot, 1979). Depuis 1310 ans A.D., le jeu d'une faille a détourné le cours de l'Adour le faisant déboucher à 15 km au sud de la tête du canyon, position toujours actuelle (Mulder et al., 2001). Les études de morphologie et sédimentologie du canyon s'accordent sur la présence de dépôts turbiditiques Holocènes et récents (Mulder et

al., 2001 ; Cirac et al., 2001 ; Gaudin et al., 2006). Le Canyon peut donc être considéré comme actuellement actif, avec de nombreux dépôts gravitaires.

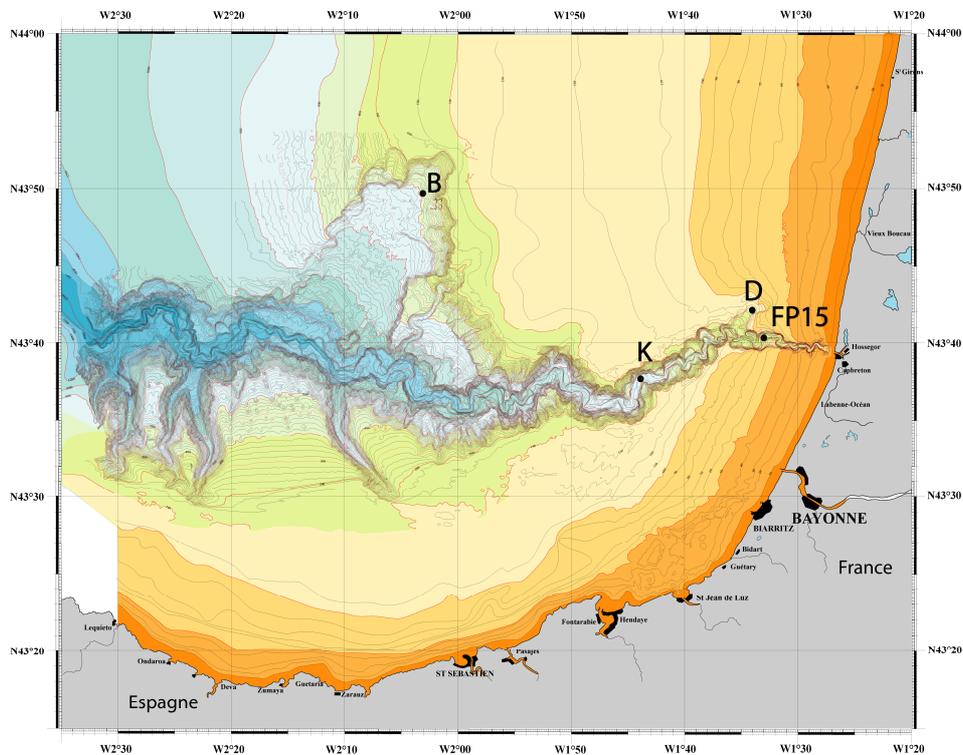


Figure V-1: Situation des stations dans le Sud Est du Golfe de Gascogne. Il est rappelé ici les positions des Stations B et D décrites dans les chapitres précédents (Fonds bathymétriques de P. Cirac, Université de Bordeaux 1, EPOC).

La même stratégie d'échantillonnage, de traitement et d'analyse a été appliquée pour l'étude des foraminifères planctoniques du canyon de Cap Breton que pour celle des faunes du Plateau des Landes. Les faunes du canyon font l'objet d'un chapitre particulier, car notre base de données est beaucoup moins complète. En effet, pour des questions d'attribution de temps de bateau océanographique et de météorologie, nous n'avons pu échantillonner que 2 stations, FP15 et K, au cours de 3 missions : en Novembre 2007 (PECH 4), Mars 2008 (PECH 5) et Juillet 2008 (PECH 6). De plus, le Canyon de Cap Breton est fortement exploité par la pêche et le déploiement permanent de filets de fond (-200 m) nous a empêché à plusieurs reprises de réaliser l'échantillonnage prévu. La Station FP15 est située à la tête du canyon à 250 m de fond et la Station K, plus en aval dans l'axe du canyon à 650 m de profondeur.

Le but de ce chapitre est d'identifier une possible influence du canyon sur la faune des foraminifères planctoniques, ou une influence côtière en comparant les Stations D, FP15 et K, aux stations plus au large, situées sur le Plateau des Landes, WH, A et B (Tableau V-1). La

Station D, située sur le bord du plateau, avec 145 m de fond est séparée de seulement 2 km de la Station FP15.

Station	WH	A	B	D	K	FP15
Latitude	44° 33' N	44° 10' N	43° 50' N	43° 42' N	43°38'N	43°40,4'N
Longitude	2° 45' W	2° 20' W	2° 03' W	1° 34' W	1°43W	1°32,8W
Profondeur (m)	2000	1000	550	145	650	250
Distance à la côte (km)	115	79	52	12	11.5	8
Distance au talus (km)	50	23	2	-1	/	/
Distance au canyon (km)	92	59	19	3	--	--
PECH 4	25- 28/11/2007	28/11/2007	29/11/2007	29/11/2007	29/11/2007	29/11/2007
PECH 5	2/03/2008	2/03/2008	3/03/2008	3/03/2008	6/03/2008	6/03/2008
PECH 6	8/07/2008	9/07/2008	10/07/2008	11/07/2008	12/07/2008	12/07/2008

Tableau V-1: Coordonnées, profondeurs, distances par rapport à la côte, au talus et au canyon de Cap Breton, des Stations de Canyon FP15 et K, ainsi que des Stations WH, A, B et D et dates de prélèvement des échantillons.

2. Analyses des données hydrologiques

2.1. Hydrologie du canyon

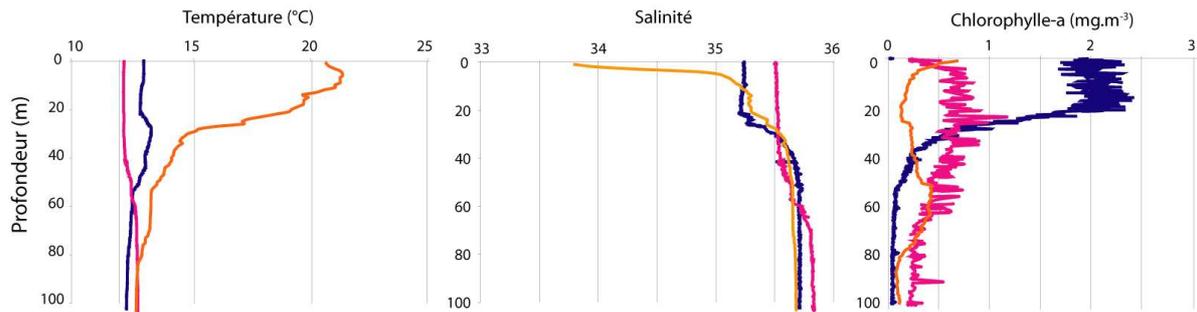
Les données des capteurs de la CTD (Température, Salinité et Chlorophylle-*a*), mesurées pendant les trois missions océanographiques aux Stations FP15 et K, sont présentées sur la Figure V-2.

Au début de l'hiver ou fin d'automne (Novembre), la **Station FP15**, station la plus proche de la côte, est caractérisée par une température homogène de 13°C entre 0 et 100 m. Les 20 premiers mètres de la colonne d'eau sont bien mélangés avec une eau de salinité 35,2 qui augmente pour se stabiliser à 35,6 vers 50 m de profondeur. Dans les 20 premiers mètres, une forte concentration en chlorophylle-*a* apparaît à plus de 2 mg.m⁻³, puis la concentration décroît brutalement jusqu'à être quasi nulle sous 60 m.

A la fin de l'hiver, début du printemps (Mars) les températures des eaux sont homogènes entre 12 et 13°C. La couche de mélange occupe les 50 premiers mètres, formée d'eaux faiblement dessalées (35,5) ayant une concentration homogène de chlorophylle-*a* de 0,6 mg.m⁻³.

En Juillet, une thermocline est en place entre 10 et 30 m. La température varie de 21°C en surface à 13.5°C en profondeur. Dans les premiers mètres, une faible salinité à 33,8 se retrouve en surface puis augmente à 35,6 vers 35 m. La chlorophylle-*a* forme un premier pic de concentration en surface à 0,6 mg.m⁻³ et un second large pic de chlorophylle-*a* se forme entre 50 et 70 m d'environ 0,3 mg.m⁻³.

Station FP15



Station K

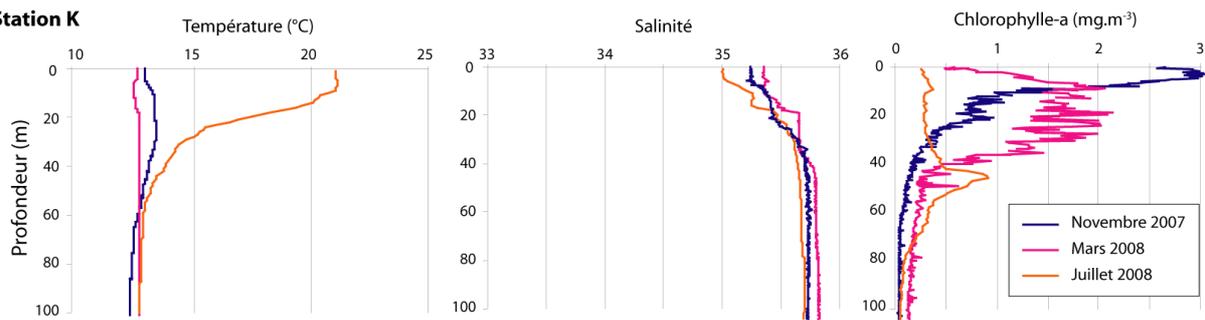


Figure V-2 : Profils de température (°C), salinité (PSU) et chlorophylle-*a* (mg.m⁻³) aux Stations FP15 et K en Novembre 2007, Mars 2008 et Juillet 2008 dans les 100 premiers mètres.

En Novembre et Mars, la **Station K**, station plus en aval dans le canyon de Cap Breton, a des eaux homogènes entre 12,5 et 13°C dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau. La salinité en Novembre, Mars et Juillet, montre des profils similaires, avec une faible dessalure en surface de (35 à 35,3) et se stabilise vers 35,6 vers 40 m de profondeur. En Novembre, la concentration en chlorophylle-*a* est très forte dans les 10 premiers mètres à 2,8 mg.m⁻³, puis diminue drastiquement jusqu'à presque 0 mg.m⁻³ à 60 m. En Mars, la chlorophylle-*a* est largement distribuée dans les 40 premiers mètres. La moyenne de concentration entre 10 et 30 m est de 2,7 mg.m⁻³. En Juillet, une thermocline est formée entre 10 et 30 m, avec le même gradient que sur le dite précédent. A la base de la thermocline un faible pic de chlorophylle-*a* de 0,9 mg.m⁻³ apparait à 45 m de profondeur.

Pour résumer, les températures sont homogènes et similaires, à environ 12-13°C en Novembre et Mars, une thermocline est en place en Juillet entre 10 et 30 m de profondeur. Une constante dessalure s'observe dans les 20 premiers mètres de chacune des stations et au cours des trois périodes, avec une dessalure plus importante en Juillet à la Station FP15. Les maxima de concentrations en chlorophylle-*a* en Novembre (plus de 2 mg.m⁻³) sont situées dans les 20 premiers mètres de la colonne d'eau, puis les concentrations en chlorophylle-*a* décroissent de façon exponentielle jusqu'à être nulle vers 100 m de profondeur. En Mars, les concentrations en chlorophylle sont plus faibles, avec 0,7 mg.m⁻³ en FP15, alors que les concentrations en Station K, plus au large, montrent un pic étalé dans les 50 premiers mètres à 1,7 mg.m⁻³.

2.2. Comparaison avec l'hydrologie du Plateau des Landes

En Novembre, les stations situées sur le Plateau de Landes ont des températures homogènes dans les 50 premiers mètres entre 13-14°C, soit légèrement plus chaudes qu'aux stations de canyon, et décroissent de moins de 2°C dans les 100 premiers mètres. Les stations du Plateau des Landes contiennent des eaux dessalées dans les 20 à 50 premiers mètres, comme aux stations de canyon, allant de 35,2 à 35,4 et augmentent jusqu'à rester stable sous 100 m à 35,6. Les concentrations de chlorophylle sont très importantes à la Station D, proche de la côte avec plus de 1,7 mg m⁻³, inférieures à celles observées aux stations de canyon (2-2,8 mg m⁻³), mais toujours très importantes par rapport aux stations plus au large qui n'excèdent pas 0,3 mg m⁻³.

En Mars, les températures sont relativement homogènes, entre 12 et 13°C, dans les 100 premiers mètres des stations du Plateau des Landes. En surface, les Stations hémipélagiques WH et A ont une salinité constante à 35,6 dans les 600 premiers mètres de la colonne d'eau et seules les Stations B et D connaissent une dessalure dans les 20 premiers mètres allant de 34,8 en Station B à 33,2 en Station D (la plus côtière) alors que les stations de canyon ont une dessalure n'excédant pas 35. En Mars, le maximum de chlorophylle-*a* est observé dans les 15 premiers mètres de la Station D avec une concentration supérieure à 1,7 mg m⁻³. On remarque des concentrations similaires à la Station K, mais s'étalant sur les 10 à 30 premiers mètres, et sont supérieures à celles observées en Station FP15. Les Stations plus au large, WH et A, ont des concentrations en chlorophylle-*a* entre 0,5 et 0,8 mg m⁻³.

En Juillet, les eaux de surface sont aussi stratifiées sur le Plateau des Landes, avec une température de surface allant de 20 à 21°C, et décroissent d'environ 7 à 9,5°C dans les

premiers 100 m de la colonne d'eau. Comme aux stations de canyon, les stations du Plateau des Landes montrent des eaux de faibles salinités en surface, de 34,7 aux Stations B et A, 34,9 à la Station D et moindre à la Station la plus au large, WH, avec 35,4. Les pics de chlorophylle-*a* se concentrent entre 20 et 60 m à près de 1 mg m⁻³, aux Stations WH, A et B. En revanche, la Station D, comme à la Station FP15, présente un pic de chlorophylle-*a* entre 40 et 80 m de profondeur de près de 0,5 mg m⁻³ et un faible pic en surface.

En résumé, sur tout le domaine, les eaux sont complètement mélangées et froides à la fin de l'hiver, puis une thermocline estivale s'installe entre 10 et 30-50 m avec un gradient de température de ~9°C. A la fin de l'automne, la stratification thermique est complètement détruite dans la zone de canyon, alors qu'une faible thermocline perdure au dessus du Plateau des Landes.

A toutes les périodes étudiées, on constate des dessalures de surface, plus ou moins importantes dans la zone du canyon. Au large, ces dessalures ne sont pas notées au printemps.

Concernant la chlorophylle-*a*, les eaux du canyon sont toujours beaucoup plus riches que les eaux du Plateau des Landes, en automne et fin d'hiver. Le contraste est particulièrement fort en Novembre où les eaux encore stratifiées du large sont très pauvres en chlorophylle-*a*, alors que les eaux du canyon présentent des concentrations très fortes dans les 40-50 premiers mètres. L'ensemble de la zone est relativement homogène en été, présentant un pic de concentration profond (sous la thermocline à ≈ 50 m) à $\approx 0,8$ mg m⁻³.

3. Abondance de la faune totale de foraminifères planctoniques vivants

Les concentrations des foraminifères planctoniques aux stations de canyon varient au cours des trois périodes d'échantillonnage. Afin de mieux comparer les stations de canyon aux stations du Plateau des Landes, les concentrations moyennes des foraminifères planctoniques vivants pour toutes les stations sont représentées en Figure V-3. Les distributions verticales des concentrations, ainsi qu'en rappel celles des stations du Plateau des Landes, sont reportées sur les Figures V-4, 5 et 6.

3.1. Distribution de la faune totale

Aux Stations FP15 et K, et près de la côte, les plus grandes abondances de foraminifères planctoniques s'observent en Novembre : de 36 sp.m⁻³ en Station D, 52 sp.m⁻³ en FP15 et 44 sp.m⁻³ en K. Pour rappel, les stations du Plateau montrent des concentrations n'excédant pas 15 sp.m⁻³ (Station A).

Mars présente de faibles concentrations < 6 sp.m⁻³ alors qu'on trouve jusqu'à 32 sp.m⁻³ plus au large, en Station A.

En Juillet, bien que les concentrations moyennes soient faibles, ce sont les trois stations les plus côtières qui concentrent le plus de foraminifères planctoniques, jusqu'à 6 sp.m⁻³ en Station FP15.

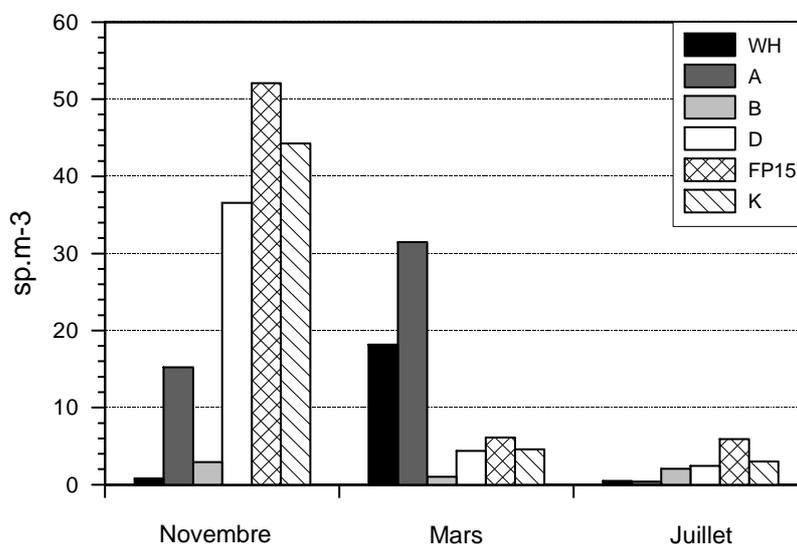


Figure V-3 : Moyennes sur toute la colonne d'eau des concentrations de foraminifères planctoniques vivants aux Stations de Plateau WH, A, B et D, ainsi qu'aux Stations de canyon K et FP15, pour Novembre, Mars et Juillet.

Dans les chapitres précédents (Chapitres II et III), nous avons remarqué un gradient de concentration diminuant vers la côte de Mars à Juin et inversement en Novembre. Les observations aux stations de canyon confirment cette distribution. On confirme aussi une légère augmentation du large vers la côte en été.

3.2. Distribution verticale des faunes

En Novembre (Figure V-4), les 40 premiers mètres des Stations FP15 et K présentent des concentrations de foraminifères planctoniques supérieures à 100 sp.m⁻³. La concentration est maximale à la Station K de 143 sp.m⁻³ dans les 20 premiers mètres. Les concentrations décroissent alors très rapidement, jusqu'à 3 sp.m⁻³ entre 100 et 200 m. En Station FP15, les concentrations atteignent 114 sp.m⁻³ entre la surface et 20 m, pour diminuer jusqu'à 6 sp.m⁻³ entre 80 et 100 m, puis augmente à nouveau à 10 sp.m⁻³ entre 100 et 200 m.

En comparaison, les stations du Plateau sont pauvres foraminifères, notamment la plus au large WH. La Station côtière D montre la même tendance que FP15 et K, avec une moindre intensité.

Novembre

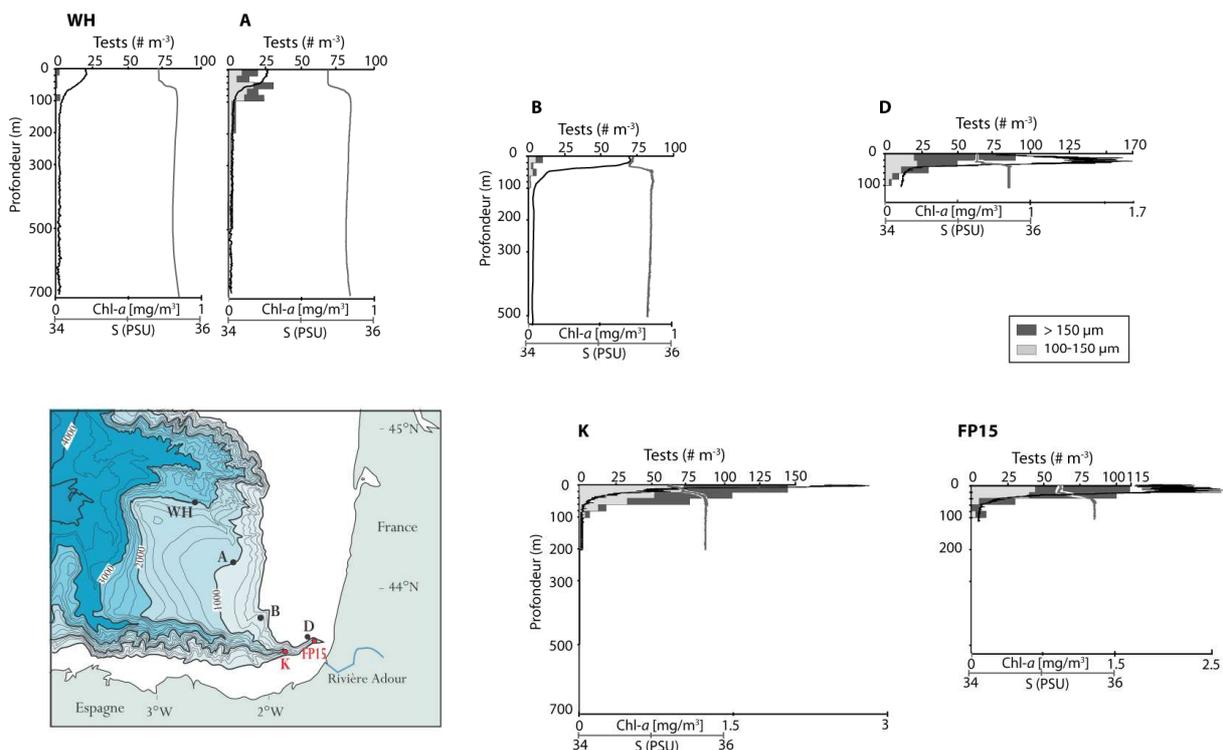


Figure V-4: Distribution verticale des concentrations (sp.m⁻³) de foraminifères planctoniques vivants en Novembre 2007, aux Stations de canyon, K et FP15, ainsi que le rappel des concentrations des Stations WH, A, B et D présentées dans le chapitre II, et les profils de chlorophylle-a et salinité.

En Mars (Figure V-5), la distribution verticale des foraminifères planctoniques vivants ne présente pas de maximum d'abondance clair aux Stations B, K, D et FP15. Entre 0 et 200 m, les valeurs de concentrations sont comprises entre 1 et 5 sp.m⁻³. En Station FP15, les 40 premiers mètres de la colonne d'eau sont pauvres en foraminifères planctoniques avec une

concentration de moins d'un spécimen par mètre cube. La Station B est la plus pauvre avec une moyenne de 1 sp.m⁻³. Les concentrations sont beaucoup plus importantes aux Stations offshore WH et A, avec une concentration supérieure à 125 sp.m⁻³ dans les 20 premiers mètres de la Station A.

Mars

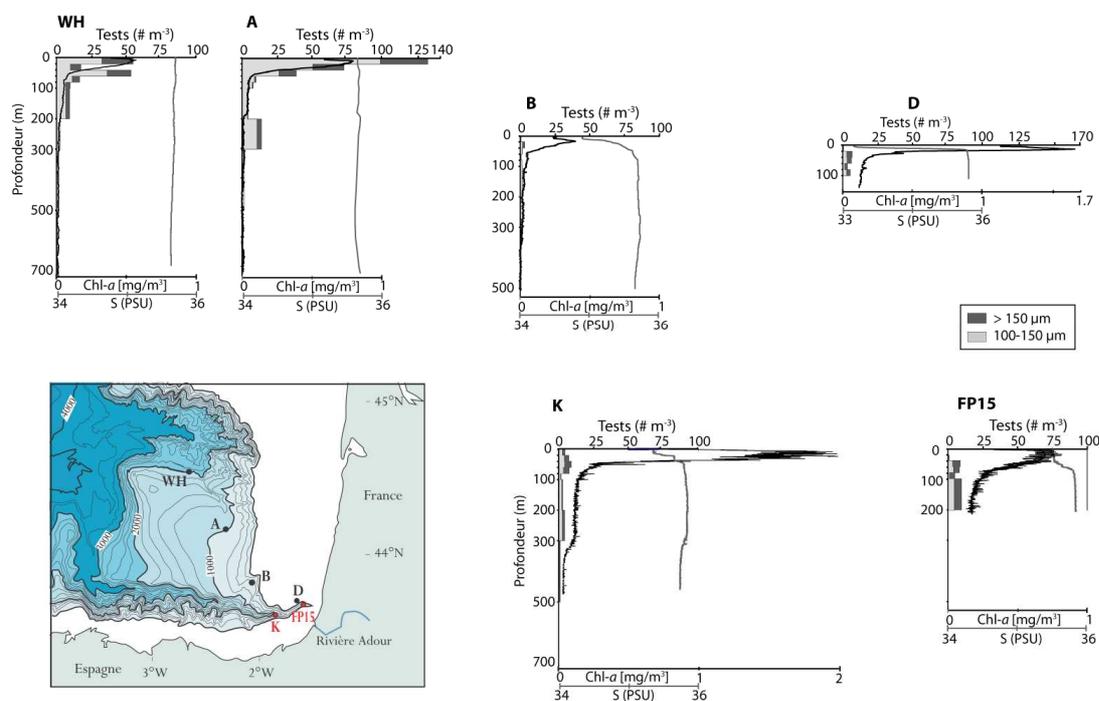


Figure V-5: Distribution verticale des concentrations (sp.m⁻³) de foraminifères planctoniques vivants en Mars 2008, aux Stations de canyon, K et FP15, ainsi que le rappel des concentrations des Stations WH, A, B et D présentées dans le chapitre II, et les profils de chlorophylle-a et salinité.

En Juillet (Figure V-6), la densité des foraminifères planctoniques est basse sur l'ensemble de la zone d'étude. Néanmoins, les Stations situées dans le canyon sous marin montrent de plus grandes abondances, avec une concentration maximale de 15 sp.m⁻³ dans les 20 premiers mètres de la station FP15. Les foraminifères deviennent rares sous 100 m de profondeur.

Juillet

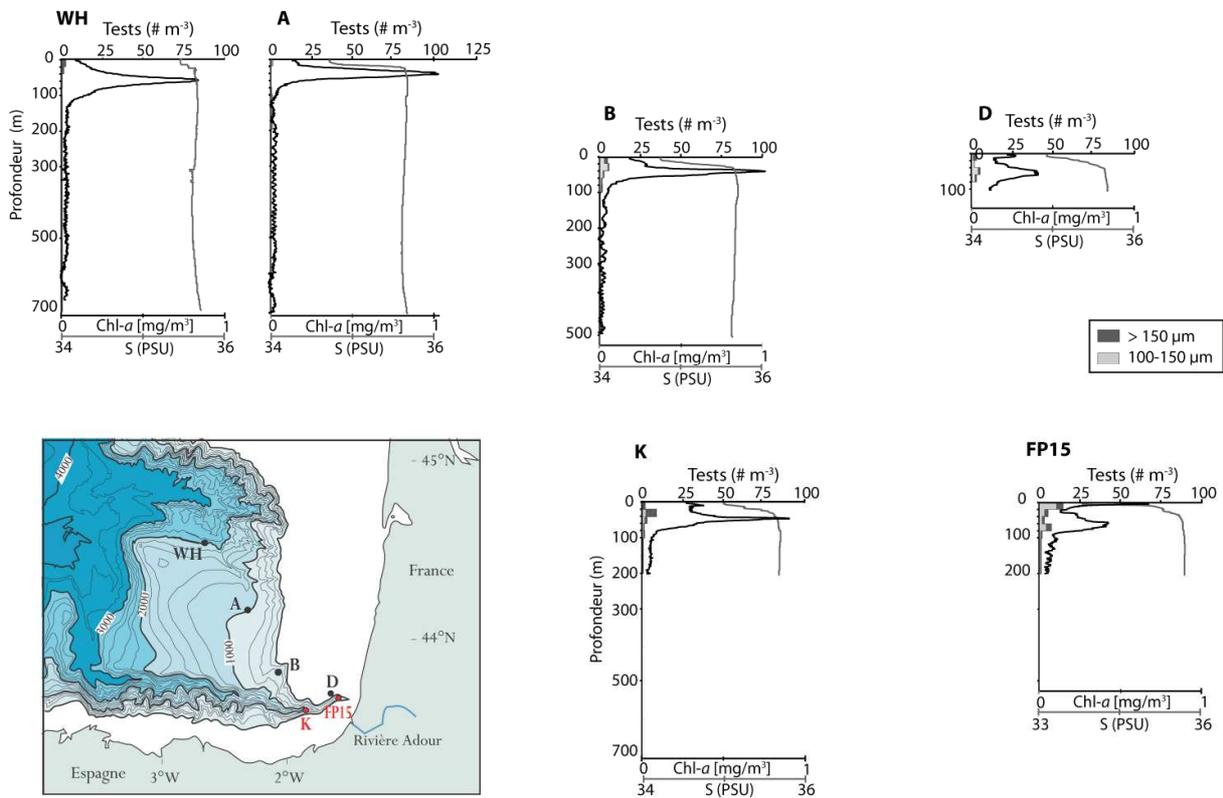


Figure V-6 : Distribution verticale des concentrations ($sp.m^{-3}$) de foraminifères planctoniques vivants en Juillet 2008, aux Stations de canyon, K et FP15, ainsi que le rappel des concentrations des Stations WH, A, B et D présentées dans le chapitre II, et les profils de chlorophylle-a et salinité.

Concernant la répartition des tailles de la faune vivante, le pourcentage de foraminifères dans la fraction 100-150 μm oscille de 36 à 66%. La plus faible proportion (36%) est en Station FP15 en Novembre et la plus forte (66%), toujours en FP15, en Juillet. Aux stations du Plateau des Landes, les pourcentages de spécimens de la fraction 100-150 μm sont similaires à ceux observés aux stations de canyon, entre 35% et 72% (Figure II-6).

4. Distribution des espèces

4.1. dans le canyon

15 espèces ont été reconnues dans les assemblages de foraminifères planctoniques aux stations de canyon sur toute la colonne d'eau au cours de ces trois périodes d'échantillonnage. Les comptages par espèce et par station sont présentés en Annexe A.

Les indices de diversité spécifique (S), de Shannon-Wiener (H') et d'équitabilité (E) ont été calculés sur les 100 m supérieurs de la colonne d'eau aux Stations K et FP15, et sont figurés dans le Tableau V-2.

Stations	Novembre		Mars		Juillet	
	K	FP15	K	FP15	K	FP15
Nombre d'espèces (S)	11	10	13	12	7	8
Indice de Shannon-Wiener (H')	0.856	0.727	2.040	1.918	1.200	1.444
Equitabilité (E)	0.214	0.207	0.570	0.567	0.474	0.529

Tableau V-2 : Nombre d'espèces (S), indice de Shannon et Wiener H' et Equitabilité (E) pour les 100 premiers mètres des stations de canyon.

En Novembre 2007 (Figure V-7), *Globigerinella calida* domine largement la faune de foraminifères planctoniques vivants aussi bien à la Station FP15 (84 %), qu'à la Station K (80%), avec une moyenne de concentration dans la colonne d'eau de 35 à 47 sp.m⁻³, induisant un faible indice de Shannon-Wiener de 0,73 et 0,86 respectivement (Tableau V-2). *G. calida* est très abondante en surface, avec une concentration supérieure à 100 sp.m⁻³ et est présente jusqu'à 200 m de profondeur. Les autres espèces principalement retrouvées sont *Globorotalia inflata*, *Turborotalita quinqueloba*, *Neogloboquadrina pachyderma* dextre et *Globigerina bulloides*. Quelques rares *Globigerinita glutinata*, *Orbulina universa* et *Globigerinita uvula* ont été retrouvées dans les premiers 80 m essentiellement, ainsi que quelques *Globorotalia scitula* sous 20 m de profondeur jusqu'à 200 m. Notons la présence de quelques spécimens de *Globigerinoides trilobus* en Station K dans les premiers 20 m.

En Mars 2008 (Figure V-7), les assemblages sont très équilibrés, avec un indice de Shannon-Wiener proche de 2,0 et une équitabilité supérieure à 0,5 (Tableau V-2). Entre 81 à 91,5% des assemblages se distribuent entre cinq espèces : *G. inflata*, *G. calida*, *N. pachyderma* dextre, *T. quinqueloba* et *G. bulloides*. Elles se répartissent dans la colonne d'eau de la manière suivante : *G. inflata* et *T. quinqueloba* sont abondantes entre 20 et 80 m de profondeur, entre 1 à 2.5 sp.m⁻³. *N. pachyderma* dextre est abondante dans les 80 premiers mètres. *G. bulloides* et *G. calida* sont abondantes de 40 à 80 m de profondeur en Station K, et de 40 à 200 m en Station FP15.

La Station K a une plus grande abondance en *G. scitula* que la Station FP15, 14% contre 2%. Parmi les espèces mineures, seule *G. glutinata* est bien représentée, les autres espèces sont rares, telles que *G. uvula*, *O. universa* et *G. hirsuta*.

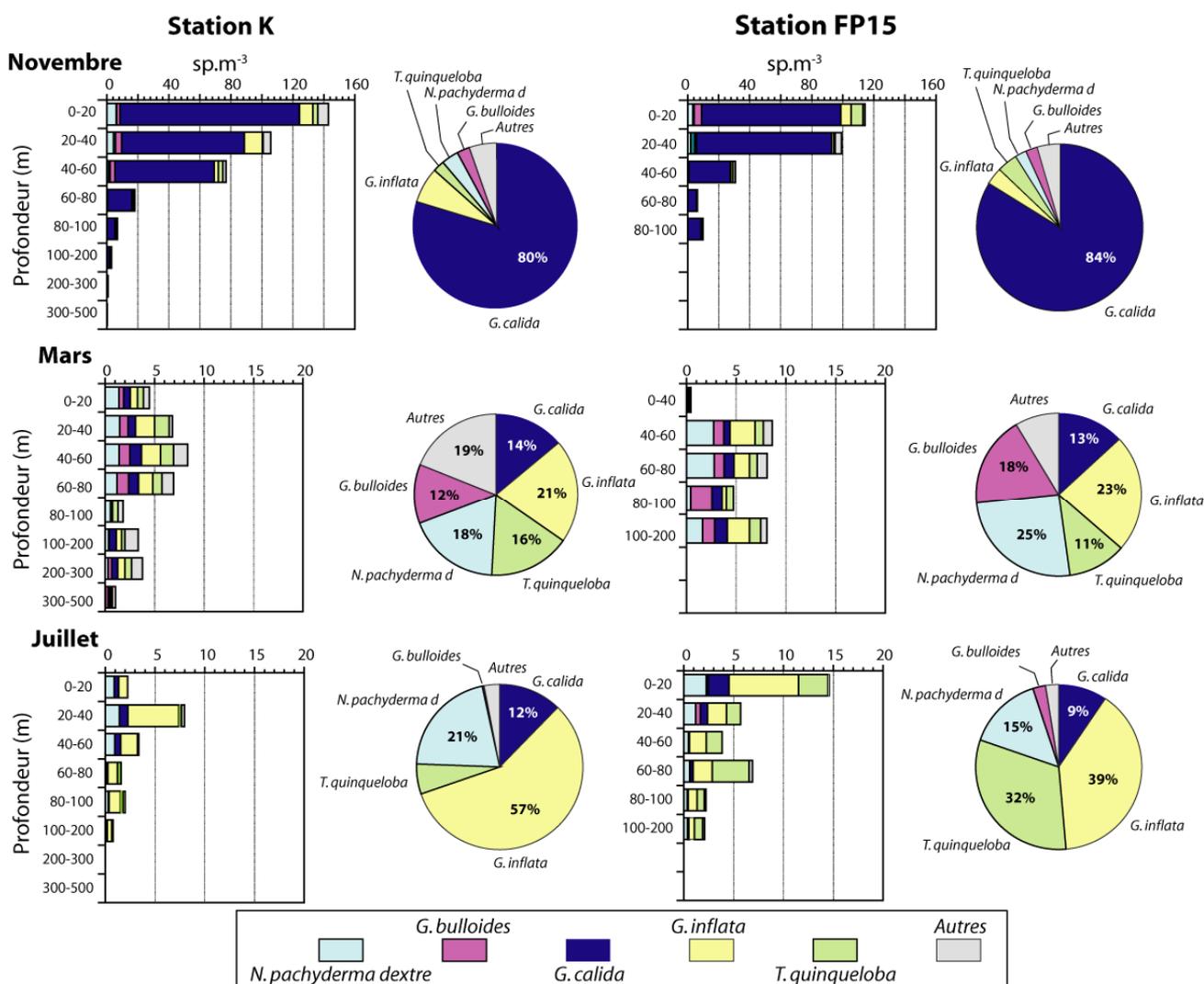


Figure V-7 : Distribution verticale des espèces majeures de foraminifères planctoniques vivants (>100µm) et proportion des espèces sur la faune totale de la colonne d'eau aux Stations K et FP15, en Novembre 2007, Mars 2008 et Juillet 2008.

En Juillet (Figure V-7), en Station FP15, l'assemblage est composé de *G. inflata* (39%), allant jusqu'à 7 sp.m⁻³ dans les 20 premiers mètres, de *T. quinqueloba* (32%), *N. pachyderma dextre* et *G. calida* (15 et 9%), avec quelques *G. bulloides*. Quelques rares *G. scitula*, *O. universa* ont été observés en Station FP15 sous 60 m de profondeur. L'assemblage en Station K est largement dominé par *G. inflata* à 57%, avec une concentration maximale de 5 sp.m⁻³ entre 20 et 40 mètres, complété par *N. pachyderma dextre* (22%) et *G. calida* (12%). Seules ces trois espèces sont présentes dans les 20 premiers mètres. En dessous apparaissent les espèces *T. quinqueloba* et *O. universa*, représentant respectivement 6 et 2%. Quelques rares spécimens de *G. bulloides* et *G. scitula* apparaissent sous 100 m.

4.2. Comparaison avec les distributions du Plateau des Landes

Les espèces les plus abondantes retrouvées dans le canyon sont *G. bulloides*, *G. calida*, *N. pachyderma* dextre, *T. quinqueloba*, *G. inflata*, représentant plus de 80% des assemblages. *G. scitula*, espèce majeure du Plateau est moins présente dans le canyon.

On retrouve aussi moins d'espèces mineures dans le canyon. Les espèces non observées en Novembre, Mars et Juillet dans les stations de canyon sont *G. truncatulinoides*, *O. riedeli*, *G. siphonifera*, *H. digitata*, *G. digitata* et *N. incompta*.

L'espèce *G. uvula*, cas particulier, est reconnue en Novembre et Mars aux Stations K et FP15, alors qu'elle n'est présente qu'en Avril aux Stations WH, A, B et D. Précédemment reconnue comme une espèce pouvant révéler des conditions riches en nutriments et d'eaux fraîches (chapitre III), sa présence dans le canyon, zone de productivité biologique importante, confirme cette proposition.

La Figure V-8 représente les proportions des principales espèces de foraminifères par rapport à la faune totale présente dans la colonne d'eau échantillonnée, aux stations du Plateau des Landes. La figure V-9, représente l'évolution des poids relatifs entre les quatre plus abondantes espèces ; *G. calida*, *G. inflata*, *T. quinqueloba* et *N. pachyderma* dextre dans deux diagrammes ternaires.

En Novembre, les concentrations de foraminifères planctoniques vivants diffèrent entre les stations situées au large, pauvres en foraminifères, et les stations proches de la côte. La distribution des espèces est néanmoins similaire, avec une très large dominance de *G. calida* (Figure V-8). On observe un gradient de concentration et de proportion de *G. calida* du large vers la côte, de 18 sp.m⁻³ en Station A, constituant 50% des individus, de 6 sp.m⁻³ (53%) en B et 68 sp.m⁻³ en Station D (75%) et jusqu'à plus de 90 sp.m⁻³ (>80%) aux Stations situées dans le canyon. A la différence des Stations B, D, K et FP15 où ces maxima sont dans les 20 premiers mètres, le maximum de concentration de *G. calida* en Station A est entre 40 et 60m de profondeur. *G. calida* est absente en Station WH où les quantités de foraminifères prélevés sont très faibles (Chapitre III, Annexe A).

G. bulloides, dominante au large, devient rare dans le canyon.

Quelques spécimens de *G. trilobus* ont été retrouvés en surface à la Station K en Novembre, observés également aux Stations D, B et A à cette même période.

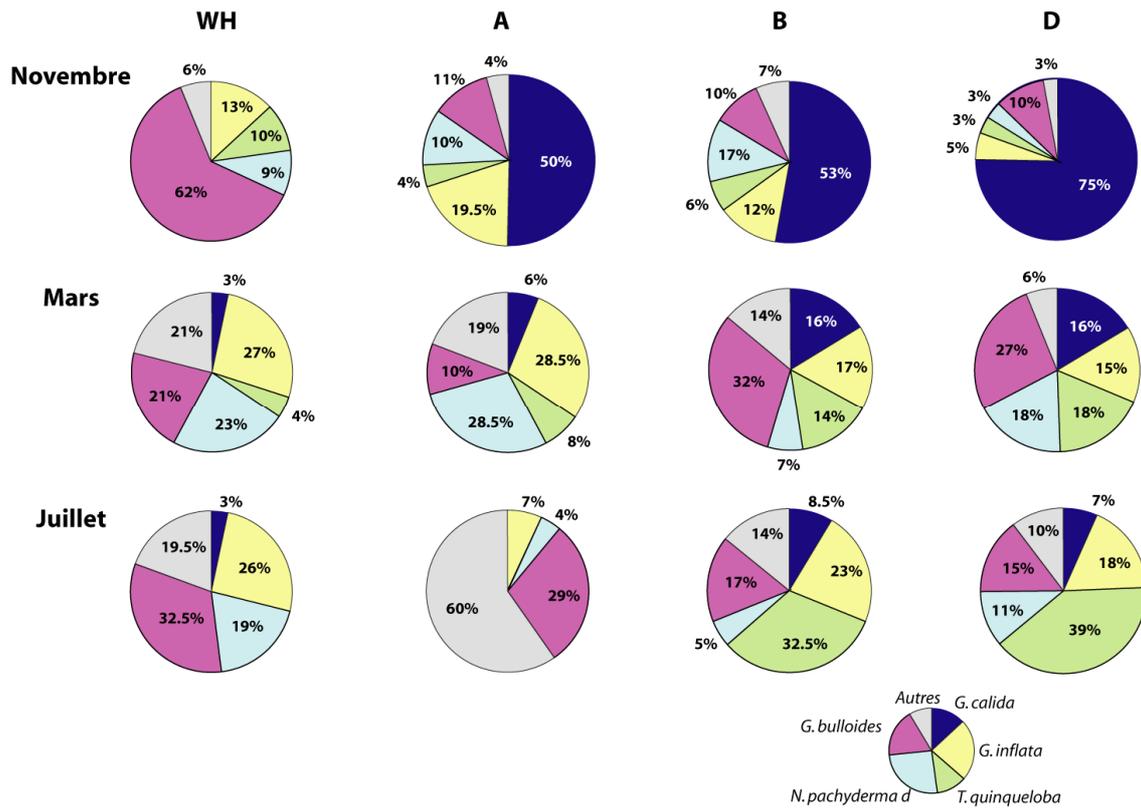


Figure V-8 : Distribution en proportion des principales espèces de foraminifères planctoniques vivants (>100µm) dans les assemblages des stations du Plateau des Landes et la Station D.

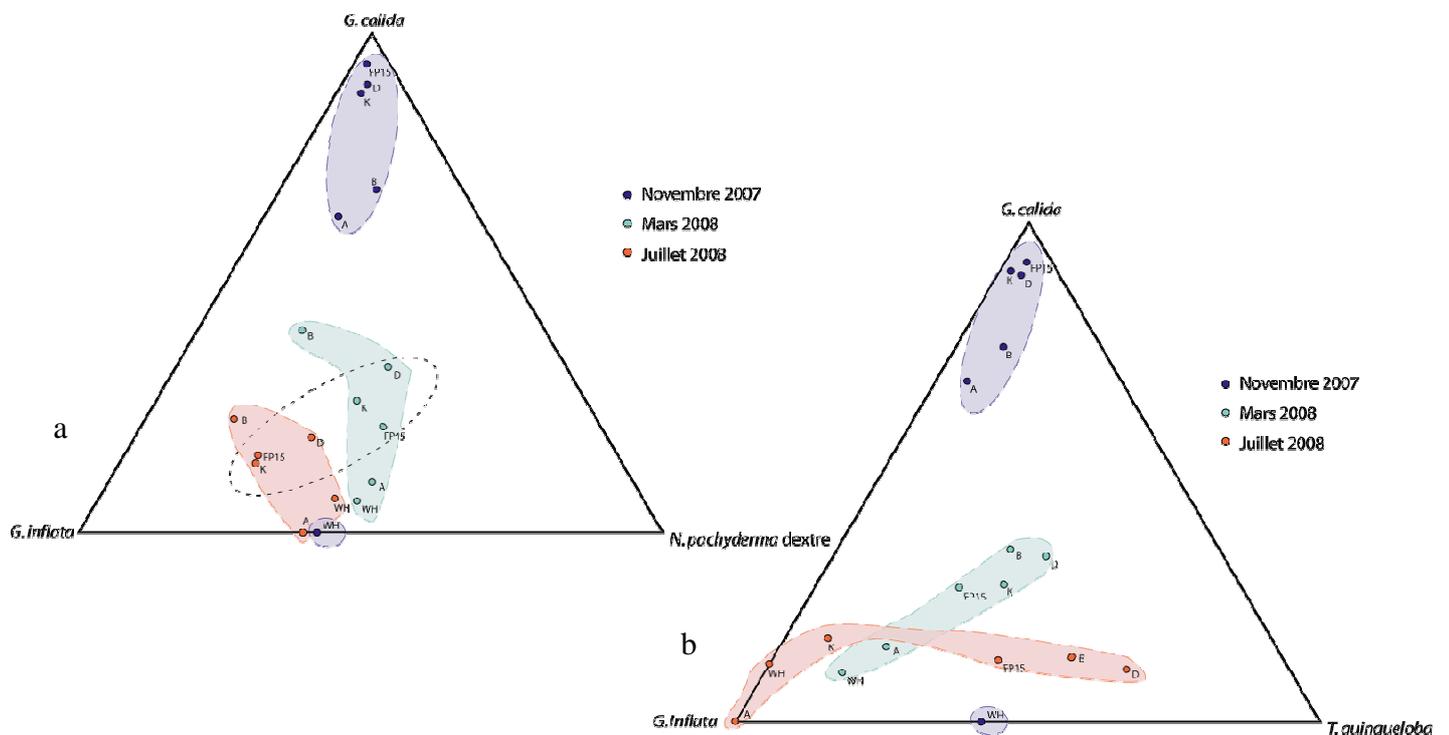


Figure V-9: Diagrammes ternaires entre les espèces a. *G. calida*, *G. inflata* et *N. pachyderma d* et b. *G. calida*, *G. inflata* et *T. quinqueloba* pour toutes les Stations K, FP15, WH, A, B et D pour les périodes d'échantillonnage: Novembre 2007, Mars 2008 et Juillet 2008.

En Mars, les stations les plus au large (WH et A) sont plus riches en foraminifères planctoniques que les stations plus côtières (Figure V-3). Les assemblages sont diversifiés et équilibrés, avec un indice de Shannon-Wiener de 1,7 à 1,8 aux stations du Plateau des Landes et de 2 à 1,9 aux stations de canyon (Tableau V-2). Les assemblages sont constitués principalement des cinq mêmes espèces majeures ; *G. inflata*, *N. pachyderma* dextre, *G. bulloides*, *G. calida* et *T. quinqueloba*, mais en des proportions différentes (Figures V-7, 8 et 9). Les Stations les plus côtières D, FP15 et K ont des proportions similaires dans leurs assemblages (Figure V-8). Ces trois stations sont riches en *G. calida* et *T. quinqueloba* par rapport aux stations situées plus au large. On remarque une augmentation des proportions de *G. inflata* vers le large (Figures V-8 et 9). Les individus de *G. bulloides* sont essentiellement présents aux Stations B et D. Les proportions des autres espèces augmentent aux Stations WH, A et K et sont essentiellement représentées par l'espèce *G. scitula* de 13 à 17%. Quelques spécimens de *G. hirsuta* et *G. glutinata* ont été retrouvés à toutes les stations prélevées. En revanche, les quelques spécimens de *G. uvula* ne sont présents qu'aux stations de canyon.

En Juillet, les concentrations sont très faibles surtout aux stations au large, notamment en Station A. Les assemblages des Stations B, D et FP15 sont relativement analogues et notamment riche en *T. quinqueloba* (Figure V-8). La proportion de l'espèce *G. bulloides* diminue du large vers la côte, alors que *G. inflata* est particulièrement bien représentée aux stations de canyon. Aucun spécimen de *H. pelagica* n'a été observé aux stations de canyon en Juillet, à la différence des Stations WH, A et B.

5. Relations entre les distributions spatiales des foraminifères planctoniques vivants avec les paramètres environnementaux

De par leur position géographique, les Stations D, FP15 et K, peuvent être sous influence continentale. En effet, ces stations côtières sont situées dans la zone d'influence du panache de l'Adour qui déverse des eaux douces chargées en sédiments, nutriments, bactéries et planctons d'origine continentale le long des côtes. Cette influence se traduit par des dessalures plus ou moins importantes mesurées en surface des Stations D, K, FP15 et jusqu'à la Station B.

Mais elles peuvent être aussi sous l'influence de l'hydrologie complexe du canyon sous-marin de Cap Breton que l'on sait actif et situé dans une zone de fortes marées. On trouve dans ce

canyon des traces de coulées turbiditiques récentes (Mulder et al., 2001) et il est susceptible d'être le lieu d'upwelling.

Le canyon de Cap Breton est ainsi une zone qui peut concentrer les nutriments apportés par le fleuve Adour et/ou par les upwellings du canyon. Ceci se vérifie par nos mesures CTD avec des valeurs maximales de chlorophylle-*a* de 1,2 mg.m⁻³ sur le Plateau des Landes alors qu'elles sont couramment de 2 mg.m⁻³ et atteignent presque 3 mg.m⁻³ dans la zone du canyon.

En Novembre, de fortes abondances de foraminifères sont mesurées aux stations de canyon FP15 et K et à la Station D, avec 145 à 90 sp.m⁻³ récoltés dans les 20 premiers mètres (Figure V-4), alors que les stations plus au large sont pauvres en foraminifères (Figures V-3 et 4).

A cette période, on a mesuré les plus fortes concentrations de chlorophylle-*a* (>1,7 mg.m⁻³) dans la zone du canyon. De fortes concentrations de surface en chlorophylle-*a* se remarquent aussi sur les images satellites SeaWiFs[®] (Figure V-10), en face du canyon de Cap Breton, mais aussi du canyon de Cap Ferret situé plus au nord.

Les dessalures relativement faibles retrouvées en surface des six stations (~35,2 aux stations côtières et ~35,4 aux stations de Plateau des Landes) et les faibles débits des fleuves en cette fin d'automne (Bulletin hydrologiques Midi Pyrénées ; <http://www.midi-pyrenees.ecologie.gouv.fr/>) font douter de l'impact de l'Adour sur ces riches concentrations côtières en chlorophylle-*a*. Des évènements d'upwelling pourraient s'être produits aux têtes de canyon au Sud Est du Golfe de Gascogne au cours de cette fin Novembre 2007, qui aurait induit un bloom automnal du phytoplancton et donc une prolifération dans ces zones de foraminifères planctoniques parmi le zooplancton. On ne peut malgré tout pas exclure une influence des fleuves sur l'apport de nutriments sur le plateau continental.

En Mars, les deux stations les plus au large, WH et A, montrent une forte abondance en foraminifères planctoniques (Figure V-5), alors que les Stations B, D, FP15 et K ont des concentrations faibles et similaires. Les 20 premiers mètres des Stations B, D et FP15 sont particulièrement pauvres en foraminifères planctoniques. Cette distribution pourrait s'expliquer par un début du bloom printanier du phytoplancton au large. Mais les maxima de concentrations en chlorophylle-*a* sont moins importants aux Stations WH et A (entre 0,5 et 0,8 mg.m⁻³) qu'aux stations plus côtières (>1,5 mg.m⁻³). De plus, sur les images satellite SeaWiFs[®] du 5 Mars 2008, les fortes concentrations de chlorophylle-*a* de surface sont concentrées le long des côtes françaises. Les Stations B, D, K et FP15 indiquent de faibles

salinités en surface, particulièrement importantes aux Stations B et D (34,8 et 33,2 respectivement). Les stations du large présentent une eau marine de salinité normale. Ceci pourrait indiquer un étalage du panache de l'Adour vers le Nord. Au début du printemps, les fleuves en crue sont chargés en sédiments, induisant un panache de faible salinité mais aussi à forte turbidité. Cela pourrait expliquer les faibles concentrations des foraminifères planctoniques en surface des stations influencées par le panache de l'Adour. La réapparition de spécimens de foraminifères planctoniques en surface à la Station K pourrait indiquer une diminution de la turbidité du panache vers l'Ouest et confirmer son étalement vers le Nord. Les faunes de foraminifères du large commenceraient à réagir au redoux printanier et aux premières productions de surface associées, alors que les faunes côtières sont perturbées par le panache turbide du fleuve en crue.

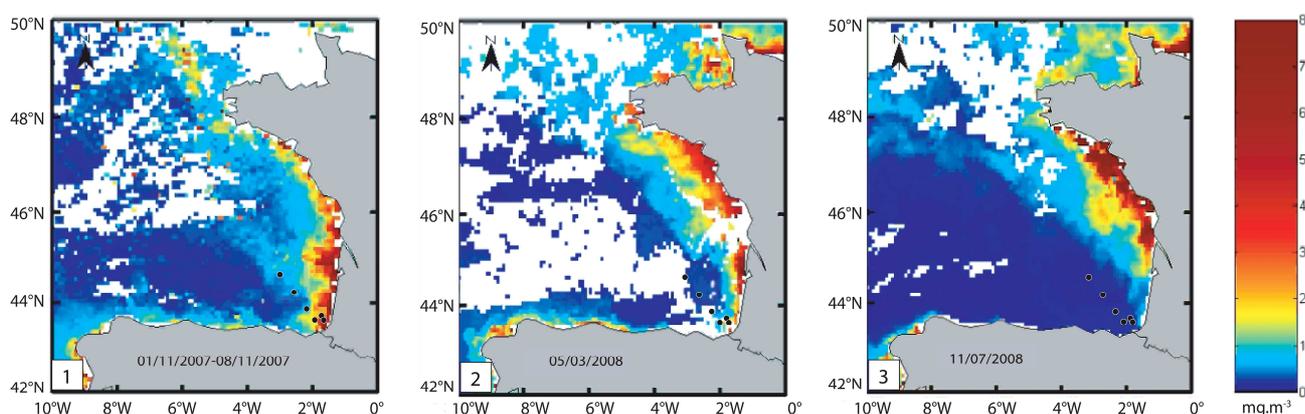


Figure V-10: Images satellite SeaWiFs[®] de la concentration en chlorophylle-a (mg.m^{-3}) en surface du Golfe de Gascogne en Novembre 2007(1), Mars 2008 (2) et Juillet 2008 (3). Les points noirs représentent les 6 stations de cette étude.

Dans les eaux stratifiées de Juillet 2008, les concentrations en foraminifères planctoniques vivants sont faibles (Figure V-3). Les stations les plus côtières sont relativement plus riches que les stations du Plateau. Le maximum de concentration en foraminifères est observé en surface de la Station FP15 avec 15 sp.m^{-3} . Les faibles concentrations de foraminifères planctoniques sur tout le domaine s'expliquent par des pics de chlorophylle-a profonds, sous la thermocline, et une quasi absence en surface (Figure V-10). Les relatives abondances côtières pourraient être reliées à l'influence des apports de nutriments par les décharges fluviales. En effet, les Stations B, D et FP15 ont des eaux de surface de faibles salinités (34,7- 33,8) pouvant provenir de l'Adour. A cette période estivale, les précipitations et l'érosion sur les bassins versants sont faibles. Ainsi à la différence des apports fluviaux printaniers, ces eaux fluviales estivales sont faiblement turbides. Ce qui permettrait aux

foraminifères planctoniques de profiter du foisonnement du phytoplancton lié à ces apports de nutriments et expliquerait ces abondances aux stations proches de la côte. Cependant la Station A a la plus faible abondance en foraminifères alors qu'elle présente, comme la Station B une faible salinité en surface de 34,7. On peut supposer que la distance parcourue par le panache jusqu'à la Station A aurait épuisé le contenu nutritif ou phytoplanctonique et ne serait donc plus qu'une loupe d'eau dessalée aux effets moins perturbant pour les foraminifères, corroborant les observations de Bijma et al. (1990a).

Une autre hypothèse pourrait expliquer ces abondances en milieu côtier. Au niveau des reliefs sous marins abrupts (ex. talus continentaux) et par forts coefficients de marées, des ondes internes peuvent provoquer des ondulations de la thermocline permettant des injections d'eaux profondes riches en nutriments vers les couches de surface, stimulant ainsi la production primaire sur le talus et la bordure interne du plateau continental (Pingree et Mardell, 1981; Holligan et al., 1985 ; Lampert, 2001 ; Puillat et al., 2004 ; Albaina et Irigoien, 2007). Les coefficients de marée étaient faibles le jour du prélèvement (12 Juillet 2008), de 44 et 43. Néanmoins, 8 jours auparavant les coefficients étaient de 100. Bien que les nutriments, qui auraient pu être impulsés quelques jours auparavant, aient pu créer un pulse de phytoplancton, seules les faibles salinités mesurées en surface des stations côtières sont avérées, et nous amènent à préférer l'hypothèse d'une influence du panache de l'Adour à un pulse de nutriments induit par des ondes internes pour expliquer les abondances des foraminifères planctoniques.

Pour chacune de ces trois périodes d'échantillonnage, il est difficile de découpler pour les stations proches de la côte, l'influence du panache du fleuve à celle du canyon. De plus, l'influence de ces eaux dessalées en surface pourrait avoir plusieurs effets distincts sur l'assemblage des foraminifères planctoniques, dépendant des paramètres covariants avec la salinité (Ufkes et al., 1998), comme les concentrations en nutriments ou la turbidité. Trois cas de figures ressortent de nos données :

- 1) Dans un premier cas, en période de début de printemps, les apports fluviaux affectant les stations côtières seraient chargés en sédiments et donc turbides. Les dessalures (inférieures à 34,8) et cette turbidité expliqueraient les faibles abondances de foraminifères planctoniques dans les premiers niveaux de ces stations (Schmucker et Schiebel, 2002), pourtant corrélé à une forte abondance en chlorophylle-*a* en Station D.

- 2) Dans un second cas, illustré par nos conditions estivales, l'arrivée d'eaux continentales faiblement turbides et contenant des nutriments dans des eaux marines stratifiées et relativement pauvres en nutriments, pourrait réenclencher, par le biais de pulses de phytoplancton, la production de foraminifères planctoniques, alors tolérants aux faibles salinités (~ 34).

- 3) Dans une troisième configuration, représentée par la situation de Novembre, les eaux continentales sont faiblement turbides. Les concentrations en chlorophylle-*a* sont importantes dans les stations côtières (>1,7 mg.m⁻³) et les eaux sont faiblement dessalées en surface (> 35). Les foraminifères planctoniques ne semblent pas affectés par ces dessalures et profitent des pulses de phytoplancton en montrant des fortes abondances supérieures à 90 sp.m⁻³ dans les 20 premiers mètres.

Notons qu'en Mars, les 40 premiers mètres de la Station FP15 sont extrêmement pauvres en foraminifères planctoniques alors qu'aucune anomalie hydrologique ne semble affecter cette station lors du prélèvement. De nombreux pellets, copépodes et larves de lamellibranches ont été retrouvés dans cet échantillon. On peut penser à une compétition ou à une prédation entre les larves de lamellibranches et les foraminifères planctoniques, les larves de lamellibranches étant plus actives.

En Mars, les stations au large montrent de plus grandes abondances. Les proportions des assemblages diffèrent légèrement entre les stations du Plateau des Landes et les stations plus côtières. Les stations du Plateau des Landes sont plus abondantes en *G. inflata* et *N. pachyderma* dextre et les stations côtières sont riches en *T. quinqueloba* et *G. calida*. Ce premier couple d'espèces est considéré comme des espèces préférant ingérer du phytoplancton à la différence de *G. calida*, qui pourrait avoir, par assimilation avec *G. bulloides* et *G. siphonifera*, un régime alimentaire favorisant les protéines et donc le zooplancton (Anderson et al., 1979). Ces distributions spatiales pourraient donc refléter des eaux de qualité de plancton différentes.

En Novembre, les richesses en *G. calida* dans les stations proches de la côte observées dans le chapitre III sont ici confirmées. De plus, l'occurrence de spécimens de *G. trilobus* dans les stations de canyon en Novembre, confirme leurs présences dans ces eaux fraîches, décrites dans le chapitre III.

Aux abords du Plateau, des eaux peu salées et riches en nutriments provenant des décharges saisonnières des fleuves peuvent influencer les foraminifères planctoniques et favoriser la sélection d'espèces plus adaptées à ce type d'environnement, telles que *T. quinqueloba* et *G. calida*. Une forte abondance de *T. quinqueloba* est communément admise comme marqueuse d'upwelling ou d'environnements riches en nutriments dans les moyennes à hautes latitudes (Bé et Tolderlund, 1971 ; Giraudeau, 1993 ; Boltovskoy et al., 2000), mais serait capable de survivre dans des conditions de faibles concentrations de nourriture, grâce à sa capacité de se mettre en symbiose (Ortiz et al., 1995 ; Schiebel et al., 2000). Cette espèce est fréquemment retrouvée dans les stations influencées en surface par des eaux dessalées et faiblement turbides telles que les Stations B, D et FP15 en Juillet et la Station D en Mars et Avril (Figure V-8 et Chapitre III). Cette espèce serait donc capable de se nourrir de planctons ou bactéries provenant des eaux continentales et de proliférer, ce qui révélerait un caractère opportuniste, confirmant nos précédentes observations aux stations du Plateau.

Au large, les eaux ne sont plus sous l'influence du littoral et seraient relativement riches en plancton exclusivement marin, milieu qui serait plus favorable aux régimes des espèces *G. inflata* et *N. pachyderma* dextre qui connaissent leur maximum d'abondance en Mars.

6. Conclusion

Il est généralement admis que les foraminifères planctoniques ne sont pas présents, ou en faibles quantités dans les environnements littoraux. Rares sont les études réalisées dans des environnements marginaux.

Les précédentes observations faites dans le Chapitre II, sur une décroissance des concentrations en foraminifères planctoniques vers la côte en Mars et inversement en Novembre sont confirmés ici, avec les concentrations des stations du canyon.

Mais les apports saisonniers de nutriments par les fleuves, ainsi que l'influence hydrologique d'un canyon sous marin peuvent contrarier ce gradient. Il est difficile dans les données décrites ici de découpler l'influence du canyon de l'influence des fleuves aux stations côtières. De plus larges études, dans une zone sans influence de canyon sous marin doivent donc être envisagées, encadrant le panache d'un fleuve et ce sur plusieurs saisons. En parallèle, il serait intéressant de faire un transect le long du canyon de Cap Breton en portant une attention particulière au choix des stations afin de rester éloigné de l'influence de fleuves espagnols.

CHAPITRE VI

Impact d'une tempête sur la faune des foraminifères planctoniques

1. Introduction

Nous avons pu confirmer que les foraminifères planctoniques montrent de grandes variations saisonnières de leur densité et de leur composition spécifique dans la colonne d'eau (Bé, 1960; Tolderlund et Bé, 1971; Deuser et al., 1981; Deuser, 1986; Deuser et Ross, 1989). Ces variations sont étroitement liées à la qualité et à la quantité des nutriments disponibles et aux conditions hydrologiques de la colonne d'eau (Anderson et al., 1979 ; Fairbanks et Wiebe, 1980 ; Schiebel et al., 2001). A une échelle inférieure à la saison, les tempêtes mélangent les eaux de surface, entraînant généralement une redistribution de la chlorophylle-*a* et des nutriments, ceci accélérerait ponctuellement la croissance et augmenterait le nombre de grands individus des foraminifères planctoniques (Schiebel et al., 1995). Dans les eaux du Golfe de Gascogne, il peut se développer une forte turbidité sur la colonne d'eau, suite aux tempêtes, entraînant une faible concentration en chlorophylle en surface (Prévimer, IFREMER, <http://www.previmer.org>).

Le but de ce chapitre est d'analyser l'impact d'une tempête sur la faune de foraminifères planctoniques, à la Station B (Figure VI-1), grâce à un échantillonnage effectué avant et après une tempête, en Mars 2008.

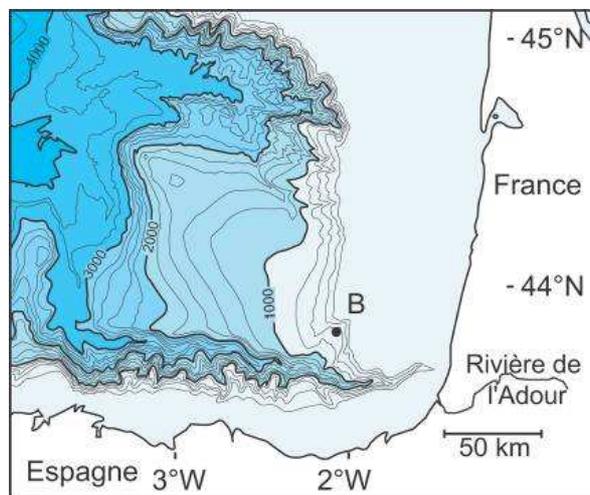


Figure VI-1: Rappel de la localisation de la Station B (43°50N, 2°03W).

Lors de la mission océanographique PECH 5, deux échantillonnages de la Station B ont été réalisés à cinq jours d'intervalle : le 3 Mars et le 7 Mars. Les 100 premiers mètres ont été prélevés en 5 tranches de 20 m, en pêche verticale, grâce au multinet HydroBios®. Le traitement des échantillons a bord, en laboratoire ou en analyse de résultats a été identique aux études précédentes.

2. Conditions météorologiques de début Mars 2008

Toutes les informations indiquées dans ce chapitre proviennent essentiellement du site internet de prévisions à court terme de l'environnement côtier PREVIMER (<http://www.previmer.org>). Le projet PREVIMER est coordonné par l'Ifremer qui reçoit le soutien de partenaires financiers, scientifiques et techniques, industriels et de fournisseurs de données. Il est cofinancé par l'Union Européenne.

Le mois de Mars 2008 a été un mois très venteux avec deux grosses tempêtes (Figure VI-2). Une première tempête eu lieu le 4 Mars avec une houle qui a atteint 9 m à l'entrée du Golfe de Gascogne (Figure VI-3). Une seconde tempête beaucoup plus importante, entra dans le Golfe le 10 Mars et resta jusqu'au 12 Mars, avec la houle maximale de 12 m enregistrée au Sud de Ouessant (Bouée des Pierres Noires).

C'est la première tempête qui a contraint le NO Côte de la Manche à se réfugier au port de Bayonne entre le 4 et 6 Mars, après avoir échantillonné la Station B le 3 Mars, et la fenêtre météo entre les 2 tempêtes nous a donné l'opportunité de ré-échantillonner la Station B le 7 Mars, avant la deuxième tempête.

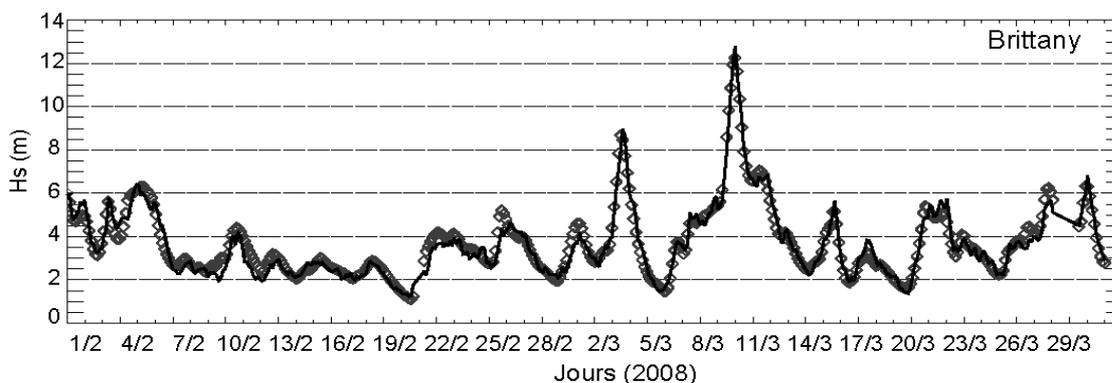


Figure VI-2 : Hauteurs des vagues observées (courbe continue) et calculées (point) à la bouée Brittany (Ouest Finistère). Extrait du Bulletin d'information de PREVIMER – Février-Mars 2008 – n°1 (http://www.previmer.org/newsletter/bulletin_d_informations_de_previmer/bulletin_previmer_n_1_fevrier_Mars_2008).

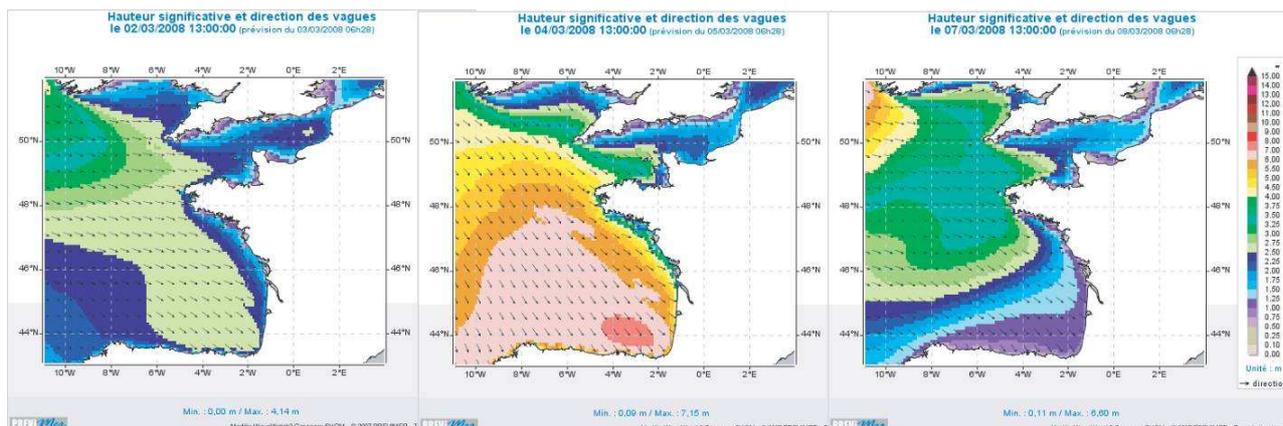


Figure VI-3: Hauteur significative et direction des vagues avant la tempête (2/03/2008), pendant (4/03/2008) et après la tempête (7/03/2008) dans le Golfe de Gascogne (<http://www.previmer.org/previsions/vagues>).

La Figure VI-3 montre la répartition géographique des vagues au 2, 4 et 7 Mars 2008 avec 7 m de hauteur significative le 4 Mars au Sud du Golfe, dans notre zone d'étude.

Les concentrations de chlorophylle-*a* observées par satellite (bulletin internet, PREVIMER n°1) entre les deux périodes d'échantillonnage montrent que les concentrations les plus importantes sont situées au Sud du Golfe et au large le 2 Mars et se retrouvent sur le plateau continental français le 7 Mars (Figure VI-4).

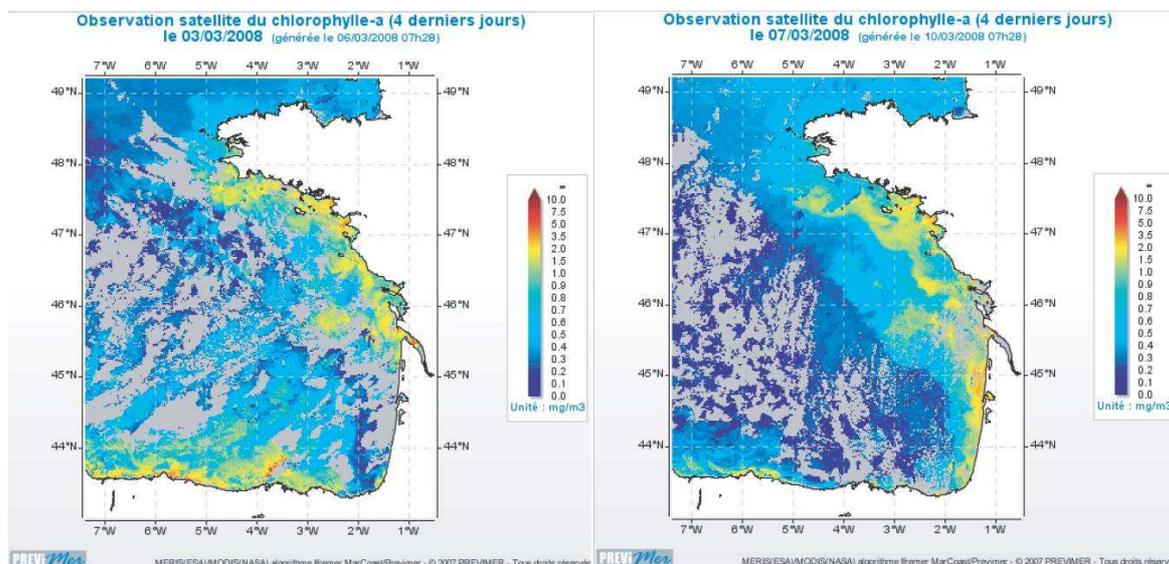


Figure VI-4: Observation satellite de la Chlorophylle-*a*, calculée sur les 4 derniers jours le 3 Mars 2008 et le 7 Mars 2008 (source : PREVIMER; http://www.previmer.org/previsions/production_primaire/modele_eco_mars3d_gascogne).

Les débits des fleuves Gironde et Adour au début Mars 2008 sont encore faibles et les crues qui auront lieu fin Mars-début Avril, ne sont pas encore amorcées (Figure VI-5).

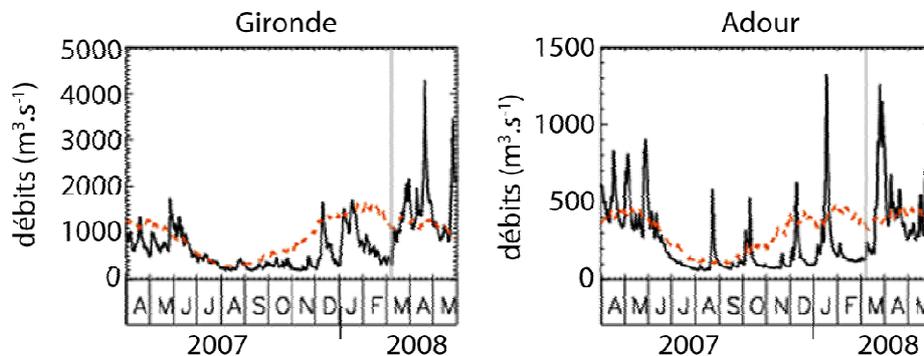


Figure VI-5: Débits des principaux fleuves d'Avril 2007 à Mai 2008. Courbe continue : année en cours, courbe pointillée : moyenne sur les 50 dernières années. La zone en gris indique la période d'échantillonnage. Extrait du Bulletin d'information de PREVIMER – Février-Mars 2008 n°1 (http://www.previmer.org/newsletter/bulletin_d_informations_de_previmer/bulletin_previmer_n_1_fevrier_mars_2008)

Les archives météorologiques (<http://www.infoclimat.fr/archives/>) de la station de Biarritz-Anglet signalent une forte nébulosité les 3 et 4 Mars 2008 avec des averses de pluies et de grêle (Couvert nuageux de 7/8 à 8/8). Des éclaircies ont eu lieu l'après midi du 5 Mars et le 6 Mars au matin (Couvert nuageux de 1/8 à 3/8). Le temps est devenu très couvert l'après midi du 6 Mars et le 7 Mars (Couvert nuageux de 7/8 à 8/8).

3. Données hydrologiques à la Station B

Les mesures de températures, salinité et fluorescence sont présentées sur la Figure VI-6 avec les concentrations des foraminifères en fonction de la profondeur.

Le 3 Mars 2008, une couche de mélange s'étend sur les 10 premiers mètres de la Station B. La couche de mélange est marquée par une température homogène à 12,7°C et une salinité homogène à 34,85. Sous cette zone, la température diminue vers 12,3°C jusqu'à 16 m puis augmente lentement jusqu'à atteindre 12,6°C à 100 m. La salinité augmente pour se stabiliser vers 80 m de profondeur à 35,66. La chlorophylle-*a* se trouve concentrée dans les 40 premiers mètres, avec un maximum à 15 m de profondeur à environ 1,2 mg/l, situé sous la couche de mélange.

Le 7 Mars 2008, la couche de mélange s'étend jusqu'à 74 m de profondeur. La température et la salinité y sont homogènes à 12,4°C et 35,62, respectivement. La concentration en

chlorophylle-*a* s'étend entre 10 et 75 m de profondeur à une concentration moyenne d'environ 0,9 mg/l.

La courbe d'oxygène montre aussi une stratification avec une couche de surface de 10 m plus riche en oxygène le 3 Mars. Malheureusement, nous n'avons pas de données le 7 Mars, mais nos observations de Novembre, lorsque la couche de mélange est de 60 m montrent bien que l'oxygène est aussi distribué vers le fond en période d'agitation des eaux.

La tempête du 4 Mars a ainsi mélangé les eaux de surface jusqu'à presque 80 m, entraînant une production de chlorophylle-*a*, donc de phytoplancton, dans toute la zone photique.

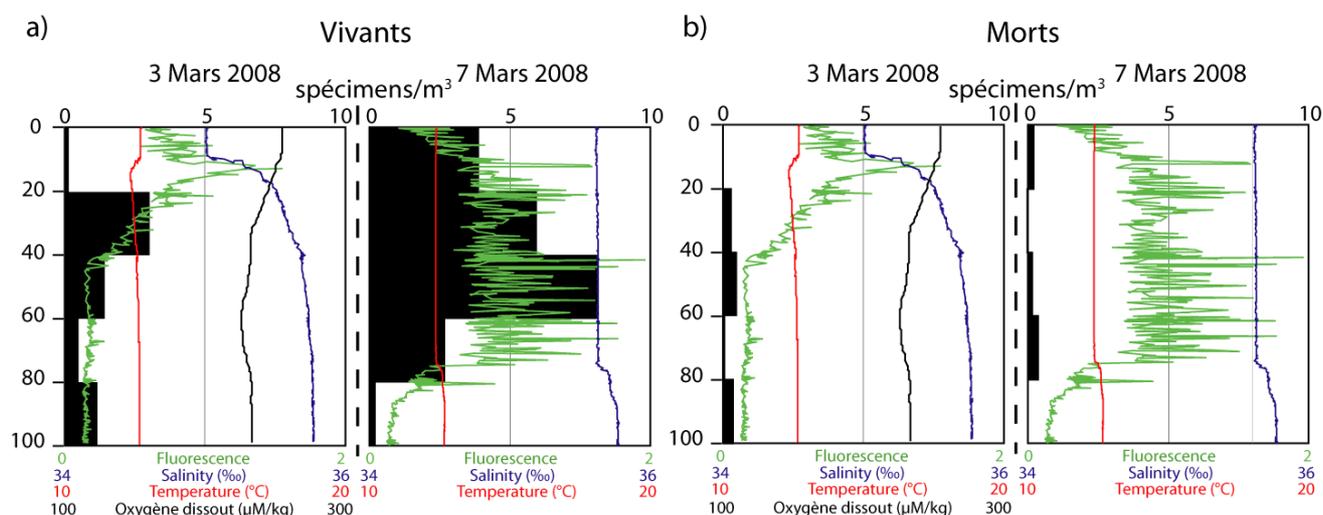


Figure VI-6: Concentrations des foraminifères planctoniques en spécimens ($>100\mu\text{m}$) par m^3 dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau ; a) vivants b) morts ; superposées aux profils de fluorescence (courbe verte), salinité (courbe bleue) température ($^{\circ}\text{C}$) (courbe rouge) et l'oxygène dissout ($\mu\text{M}/\text{kg}$) (courbe noire) aux deux dates d'échantillonnage.

4. Analyse des résultats de la faune de foraminifères planctoniques

4.1. Faune totale de foraminifères planctoniques vivants

En 4 jours, la concentration et la distribution verticale de la faune totale vivante va changer drastiquement (Figure VI-6a, Annexe A).

Le 3 Mars, les foraminifères planctoniques vivants sont absents de la couche de surface, riche en oxygène et en chlorophylle, mais légèrement dessalée. Ils sont présents entre 20 et 100 mètres de profondeur avec un maximum d'abondance entre 20 et 40 m avec $3 \text{ sp.}\cdot\text{m}^{-3}$ (Figure VI-5 et Annexe A).

Le 7 Mars, les foraminifères planctoniques vivants sont présents dans les 80 premiers mètres, avec un maximum entre 40 et 60 m à plus de $8 \text{ sp.}\cdot\text{m}^{-3}$, et de très faibles concentrations entre 80 et 100 m.

En 4 jours, le stock total de foraminifères, vivant dans la colonne d'eau échantillonnée (100 m de hauteur, section de 0,25 m²), passe de 83 à 255 individus. Leur distribution verticale se modifie aussi : les foraminifères planctoniques se trouvent sous la zone du maximum de chlorophylle-*a* le 3 Mars, puis suivent fidèlement cette concentration le 7 Mars.

Les quantités des foraminifères morts diminuent entre les deux dates, mais restent peu abondants (Figure VI-6b). Le 3 Mars, aucun spécimen mort n'a été retrouvé dans les 20 premiers mètres, en dessous, la concentration moyenne est de 0,3 sp.m⁻³. Le 7 Mars, la concentration moyenne était de 0,1 sp.m⁻³.

4.2. Assemblages des foraminifères planctoniques

Les espèces vivantes les plus abondantes à cette période de l'année sont *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre, *T. quinqueloba*, *G. calida*, *G. inflata*, et *G. scitula*.

Le 3 Mars (Figure VI-7a), la communauté des 100 premiers mètres est constituée de 35% de *G. bulloides*, 19% de *G. calida*, 17% de *T. quinqueloba*, 13% de *G. inflata*, 9% de *N. pachyderma* dextre et 6% de *G. scitula*. Seul 1 spécimen de *G. trilobus* fut trouvé et 1 spécimen de *G. glutinata*.

Le 7 Mars (Figure VI-7b), la communauté des 100 premiers mètres est constituée de 20% de *G. bulloides*, 6% de *G. calida*, 16% de *T. quinqueloba*, 20% de *G. inflata*, 29% de *N. pachyderma* dextre et 6% de *G. scitula*. Seul 1 spécimen de *G. uvula* fut trouvé et 8 spécimens de *G. glutinata*.

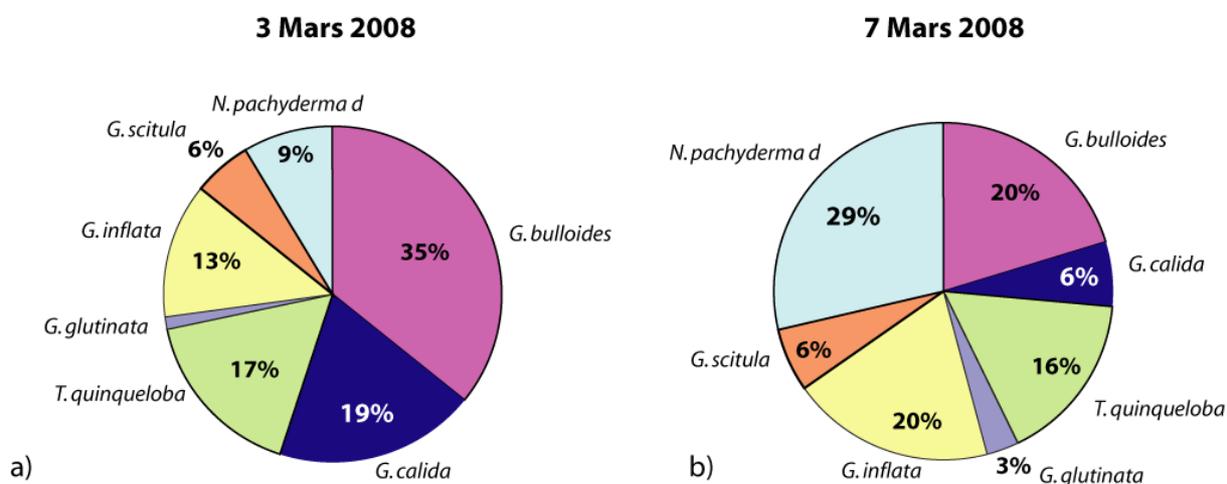


Figure VI-7 : Composition des assemblages de foraminifères vivants dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau ; a) le 3 Mars 2008 ; b) le 7 Mars 2008.

Le 3 Mars, *G. bulloides* est l'espèce la plus abondante, contre *N. pachyderma* dextre le 7 Mars. L'importance de *G. calida* diminue, celle de *G. inflata* augmente légèrement et *G. scitula* reste mineure. La composition de l'assemblage varie donc légèrement. L'indice de Shannon-Wiener est $H'=1,712$ le 3 Mars, contre 1,754 le 7 Mars et l'Équitabilité passe de 0,82 à 0,84, soit des variations peu significatives. La distribution des espèces dans les assemblages est donc relativement homogène.

Ces espèces sont toutes plus abondantes après la tempête (Figure VI-8). En moyenne sur les 100 m, *N. pachyderma* dextre est multipliée par presque 11 (de 0,1 sp.m⁻³ à 1,18 sp.m⁻³), *G. inflata* est multipliée par presque 5 (de 0,16 sp.m⁻³ à 0,8 sp.m⁻³), *T. quinqueloba* et *G. scitula* sont multipliées par plus de 3 (de 0,21 sp.m⁻³ à 0,67 sp.m⁻³) ; par contre *G. bulloides* ne double pas tout à fait sa population (de 0,45 à 0,83 sp.m⁻³) et *G. calida* reste constante (de 0,24 à 0,25 sp.m⁻³). Les espèces ne réagissent donc pas toutes de la même façon à la perturbation de la colonne d'eau due à la tempête, les augmentations variant d'un facteur de 1 à 11.

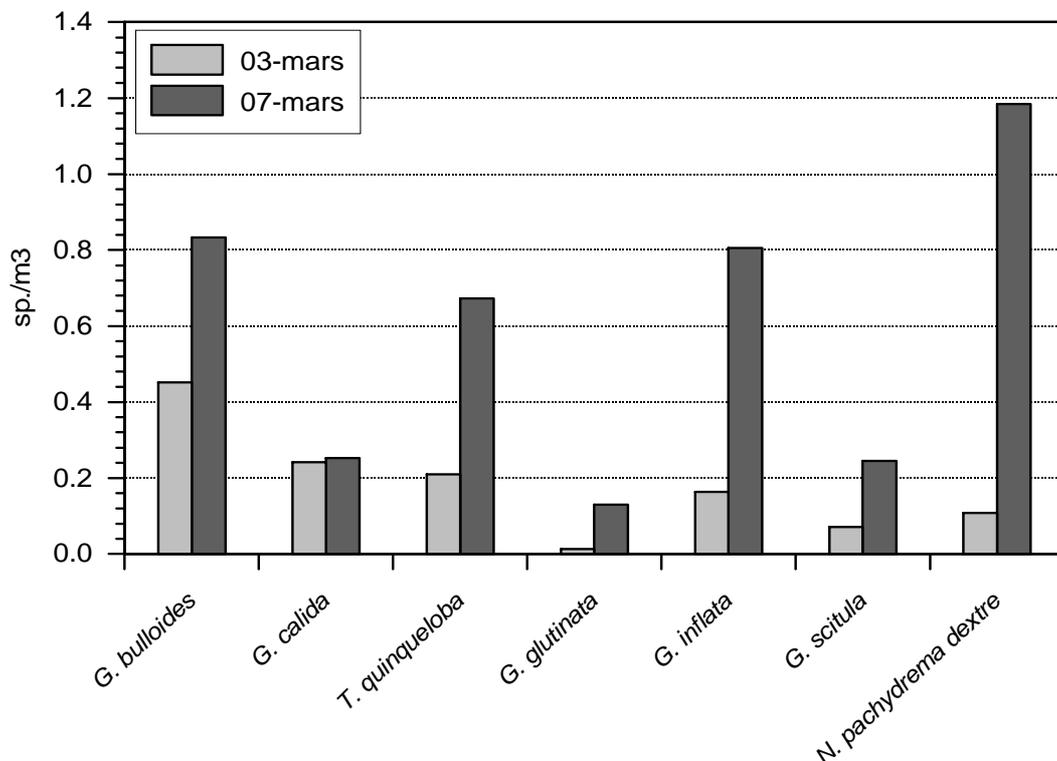


Figure VI-8: Comparaison entre le 3 Mars et le 7 Mars 2008 des concentrations moyennes des espèces dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau.

Les espèces reconnues dans la faune morte sont similaires aux espèces retrouvées dans l'assemblage vivant, comprenant *G. bulloides*, *T. quinqueloba*, *G. calida* et *G. inflata*, à l'exception de *G. truncatulinoïdes*. Avant la tempête, *G. bulloides*, *T. quinqueloba* et *G. truncatulinoïdes* formaient essentiellement la faune morte. Après la tempête, la majorité des spécimens morts appartenait à l'espèce *T. quinqueloba* et seuls quelques spécimens des autres espèces sont retrouvés.

4.3. Distribution verticale des espèces

La distribution verticale des espèces varie aussi entre les 2 périodes (Figure VI-9), mais toutes les espèces principales ont le même comportement. Toutes les espèces présentes le 3 Mars vont se développer de la surface à 80 m de profondeur avec un pic de production entre 40 et 60 m. Par contre, *G. calida* qui n'augmente pas en nombre, s'étale de 0 à 60 m et *G. glutinata* apparaît aussi dans la couche de surface.

Par un calcul des moyennes de vie pondérées des espèces (MDH, cf. Chapitre III), on observe une profondeur moyenne de vie relativement constante entre les deux périodes pour *G. bulloides* et *T. quinqueloba* vers 45 m et *G. calida* vers 35 m. En revanche, *N. pachyderma* dextre, *G. inflata* et *G. scitula* passent de 60-70 m à 35-45 m de profondeurs moyennes de vie.

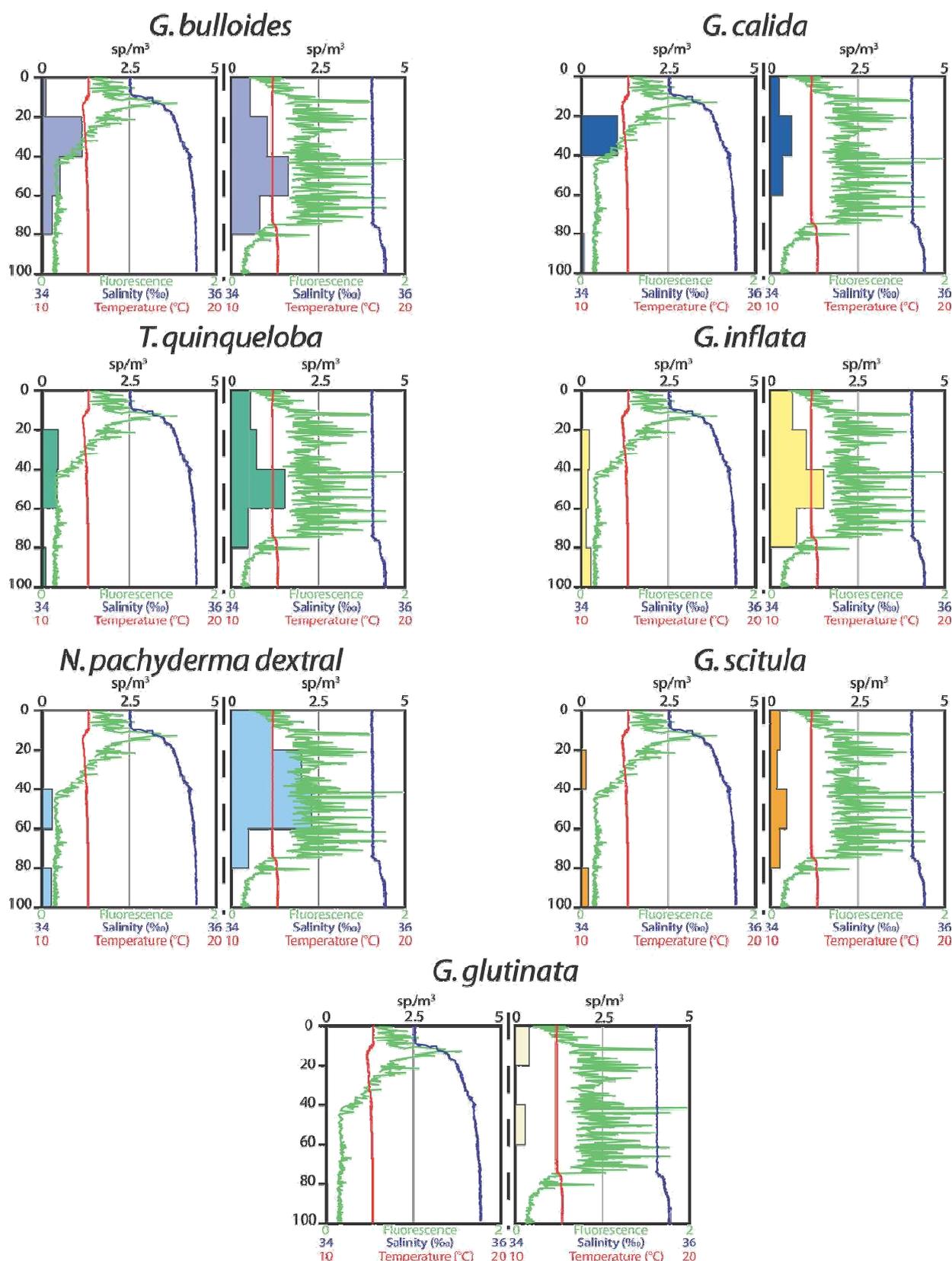


Figure VI-9 : Comparaison entre le 3 Mars et le 7 Mars 2008 des distributions verticales des concentrations des espèces de foraminifères planctoniques ($>100 \mu\text{m}$), en spécimen par m^3 de *G. bulloides*, *G. calida*, *T. quinqueloba*, *N. pachyderma dextral*, *G. inflata*, *G. scitula* et *G. glutinata*.

5. Analyses des tailles de individus

Le foraminifère planctonique ne connaît qu'un seul cycle de reproduction, une fois celui-ci achevé, il meure et plonge vers les fonds marins. L'analyse des distributions des tailles peut donc être un moyen d'appréhender la compréhension des cycles des foraminifères planctoniques et/ou des interactions avec l'hydrologie.

La distribution des tailles de la faune des spécimens vivants diffère entre les 2 périodes d'échantillonnage (Figure VI-10). Sur toute la communauté, les spécimens sont relativement plus petits après la tempête. Les proportions de spécimens inférieurs à 150 μm ne diffèrent pas, en revanche, les diamètres maximaux diminuent, passant de 400 μm maximum au 3 Mars à 325 μm le 7 Mars. Il y a donc eu perte d'une population aux tailles importantes.

L'espèce *G. bulloides* qui devient abondante en spécimens inférieurs à 250 μm (90%) de diamètre minimum après la tempête.

Pour *N. pachyderma* dextre, seuls quatre spécimens sont retrouvés avant la tempête, appartenant tous à la gamme de taille entre 150-175 μm . Après la tempête, la population de *N. pachyderma* dextre a augmenté, les spécimens sont distribués entre 100 et 250 μm , essentiellement compris entre 125 μm et 225 μm (94%).

La population de *G. inflata* est constituée de spécimens entre 100 et 225 μm avant la tempête, contre une population allant jusqu'à 325 μm le 7 Mars.

Le 3 Mars, la population de *G. scitula* se compose de spécimens compris entre 125 μm et 200 μm , et le 7 Mars, la population a une distribution identique avec un gain d'individus uniforme pour toutes les gammes de tailles.

La distribution des tailles de *G. calida* est très largement répartie le 3 Mars, entre 100 et 325 μm . En revanche, bien que la quantité d'individus ne varie pas, la distribution des tailles est beaucoup plus réduite le 7 Mars entre 100 et 225 μm . La population a donc changé entre les deux périodes, entre une population à plusieurs générations, à une population d'une seule et même génération.

Après la tempête, toutes les espèces montrent un pic d'abondance des individus de petite taille (environ 150 μm), ce qui va dans le sens de la production d'une nouvelle génération d'individus.

La distribution des tailles des spécimens morts était de 100-275 μm le 3 Mars et passe de 100-175 μm le 7 Mars (Figure 10b). Il y a donc une perte des spécimens les plus gros, ainsi que dans la fraction 125-150 μm .

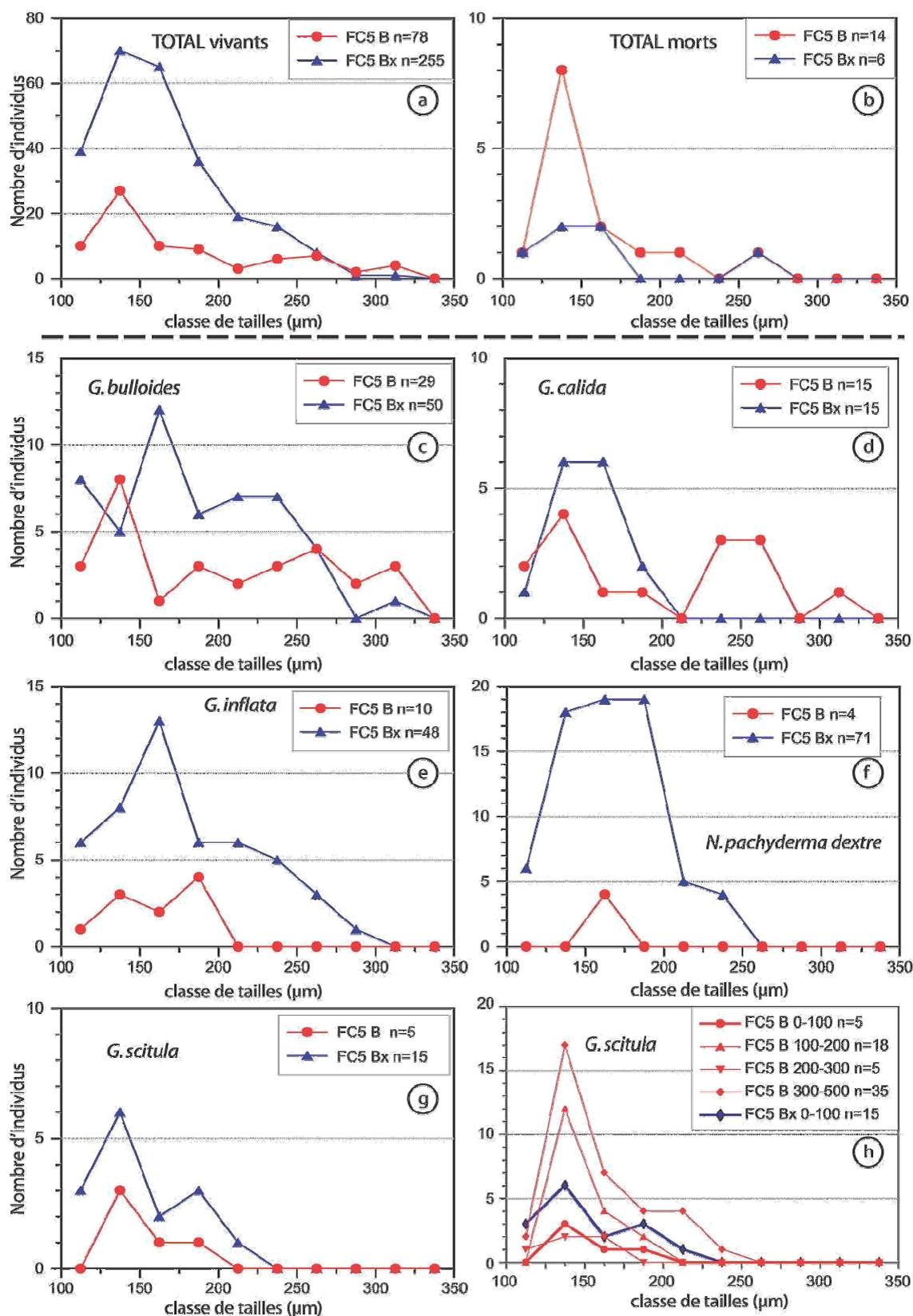


Figure 10 : Diamètres minimum des foraminifères planctoniques (μm), classé par gamme de 25μm de 100 à 350 μm pour les 100 premiers mètres de la Station B au 3 Mars 2008 (FC5 B) et au 7 Mars 2008 (FC5 Bx) ; a) Faune totale, b) spécimens morts, c) *G. bulloides*, d) *G. calida*, e) *G. inflata*, f) *N. pachyderma dextre*, g) *G. scitula*, h) *G. scitula* comparé aux gammes de tailles à 100-200m, 200-300m et 300-500m au 3 Mars 2008.

6. Discussion

Pendant la période analysée, c'est-à-dire encadrant la tempête du 4 Mars 2008, une forte production de chlorophylle a été constatée dans les 80 premiers mètres de la colonne d'eau. Cette production est étroitement liée avec le mélange de la partie supérieure de la colonne d'eau due à l'agitation des vagues. Cette perturbation mécanique amène vers les profondeurs les couches d'eau superficielles avec leur contenu en oxygène dissout et en nutriment. On peut également observer une atténuation de la stratification saline, les eaux de la couche 0-80 m retrouvant une salinité océanique normale.

Durant cette période, les faibles débits des fleuves ne peuvent expliquer l'augmentation en chlorophylle-*a* par un apport en nutriment continental, et les archives météorologiques ne signalent aucune phase d'ensoleillement particulier.

Les foraminifères planctoniques montrent une réponse rapide face aux changements hydrologiques. La quantité de foraminifères planctoniques augmente en quatre jours d'intervalle, passant de 1 sp.m⁻³ à 4 sp.m⁻³ en moyenne dans les 100 premiers mètres. Nos résultats concordent avec les précédentes observations faites par Schiebel et al. (1995) plus au large, en Atlantique Nord, bien que cette augmentation ne soit pas forcément remarquée après chaque tempête (Schiebel et al., 1995).

Avant la tempête, les foraminifères planctoniques sont principalement concentrés de 20 à 100 m et sont relativement peu abondants au niveau correspondant au maximum de chlorophylle-*a*. Après la tempête, ils deviennent abondants dans les 80 premiers mètres de la colonne d'eau, là où s'effectue la production de chlorophylle-*a*, c'est-à-dire une production de phytoplancton frais. Les foraminifères sont donc capables d'avoir une production rapide lorsque de la nourriture fraîche est mise à leur disposition. Ceci corrobore la thèse que les foraminifères planctoniques sont fortement assujettis à la qualité des nutriments (e.g. Fairbanks et Wiebe, 1980; Schiebel et al., 2001; Retailleau et al., 2009 ; Chapitres III et VI).

L'augmentation du nombre d'individus de foraminifères planctoniques ne s'effectue pas de façon homogène au sein des espèces. *N. pachyderma* dextre semble la plus sensible à la qualité de la nourriture produite pendant l'évènement de mélange. En revanche, *G. calida*, ne change pas en quantité dans la colonne d'eau. La réaction de *G. bulloides* semble plus modérée qu'escomptée par la littérature, alors que cette espèce serait marqueuse des zones d'upwelling où de la nourriture fraîche est produite par la résurgence d'eaux profondes en

surface. On peut imaginer que le phytoplancton produit lors de la tempête serait de nature différente que celui produit au niveau des zones d'upwelling, ou bien les spécimens *G. bulloides* réagissent différemment dans le Golfe de Gascogne qu'en milieu d'upwelling.

On peut se demander si les foraminifères vivants sous 100 m de profondeur, le 3 Mars, auraient pu effectuer une migration vers la surface. Les concentrations de *N. pachyderma* dextre, *G. bulloides*, *G. calida* et *G. inflata* sous 100 m de profondeur le 3 Mars en Station B (cf. Chapitre III) sont très faibles, et ne peuvent expliquer, par simple addition, l'augmentation du nombre des individus observés le 7 Mars entre 0 et 100 m. Nous aurions donc bien une production de nouveaux spécimens et donc l'avènement d'une nouvelle génération, dans la limite de nos données >100 µm. En revanche, *G. scitula* a une population plus abondante sous 100 m le 3 Mars (Chapitre III). La distribution de leurs tailles étant identique (Figure 10h), on ne peut rejeter la possibilité d'une migration verticale d'une partie de la faune depuis les eaux profondes (> 100 m) vers les 100 premiers mètres.

Les foraminifères ne produisent qu'un cycle de reproduction dans leur vie et meurent juste après la reproduction (Hemleben et al., 1989). Les spécimens ayant les plus grandes tailles sont donc les spécimens pouvant être amenés à une imminente reproduction et les spécimens de petites tailles des témoins d'une nouvelle génération.

L'analyse de taille nous informe qu'au sein des populations observées, les distributions des tailles varient entre les deux périodes, et que tous les individus ne répondent pas aux mêmes paramètres déclencheurs de reproduction ou de maturation (Bijma et al., 1990b). La faune de foraminifères planctoniques acquiert une plus grande abondance en spécimens inférieurs à 250 µm, allant dans le sens de la production d'une nouvelle génération d'individus, déclenchée par l'évènement de production phytoplanctonique dû au brassage par la tempête. A l'inverse, Schiebel et al. (1995) remarquèrent une augmentation de la taille après les évènements de tempête.

Les facteurs déclenchant la reproduction et la croissance varient selon les espèces. Leur périodicité de reproduction peut avoir des cycles lunaire, semi-lunaires ou annuel (Spindler et al., 1979 ; Hemleben et al., 1989 ; Bijma et al., 1990b ; Schiebel et al., 1997 ; Lončarić et al., 2005). Par exemple, *G. bulloides* aurait une phase de reproduction liée à la pleine Lune (jour de la Lune n°14) (e.g. Bijma et al., 1990b ; Schiebel et al., 1997). Hors au moment de nos échantillonnages, l'âge de la Lune était de 25, le 3 Mars, et 1, le 7 Mars (Nouvelle Lune).

Ceci pourrait expliquer que *G. bulloides* n'augmente pas en nombre d'individus, autant que les autres espèces après la tempête.

A la différence des foraminifères planctoniques vivants, le nombre de spécimens morts diminue après la tempête. Laissant penser à un « lessivage » de la colonne d'eau, c'est-à-dire une chute plus rapide des spécimens vers les fonds marins, lié au mélange des eaux de surface provoqué par la tempête. Leur distribution verticale suit la distribution des foraminifères planctoniques vivants. Néanmoins, les quantités de spécimens morts sont très faibles et statistiquement peu significatives.

7. Conclusion

Cette étude nous permet d'observer une production rapide des foraminifères planctoniques aux changements hydrologiques dus à une tempête. Néanmoins, l'augmentation du nombre d'individus ne se répartie pas de façon homogène entre les espèces. La variation observée semble significative mais les quantités de spécimens prélevés sont trop faibles pour valider statistiquement ces observations. Pour de prochaines campagnes océanographiques, il serait donc nécessaire d'effectuer des prélèvements horizontaux ou de doubler les échantillonnages en dehors des maxima de production de foraminifères, afin d'obtenir des quantités d'individus statistiquement analysables.

CHAPITRE VII

Compositions isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$) de tests de foraminifères planctoniques dans la colonne d'eau

1. Introduction

L'utilisation des rapports entre les isotopes stables des carbonates fossiles comme un outil de reconstruction des changements de températures passées fut suggérée par Urey (1947), qui travailla sur le contrôle thermodynamique de la température sur les fractionnements isotopiques de l'oxygène. Depuis, le rapport isotopique de l'oxygène est devenu l'un des plus importants outils en paléocéanographie et paléoclimatologie. Dans les sédiments marins, la composition isotopique de l'oxygène des foraminifères est principalement utilisée pour reconstituer les températures de surface et les salinités (e.g. Urey, 1947 ; Emiliani, 1954 ; Shackleton, 1974), et les masses d'eaux présentes ainsi que leur stratification (e.g. Duplessy et al., 1991 ; Niebler et al., 1999 ; Cléroux et al., 2007 ; Steph et al., 2009). Cependant, la compréhension des valeurs isotopiques de l'oxygène des foraminifères planctoniques n'est pas évidente, car au moins six importants paramètres déterminent leur composition isotopique :

- 1) La composition isotopique de l'eau de mer ambiante, où le foraminifère sécrète son test en calcite. Le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer est contrôlé par les processus d'évaporation – précipitation et le transport de la vapeur d'eau, ainsi que par le volume de glace stocké sur les continents.
- 2) La température ambiante de la masse d'eau. Beaucoup d'études ont montré que le $\delta^{18}\text{O}$ des foraminifères avait des compositions plus légères en isotopes de l'oxygène pour des eaux plus chaudes, suivant des relations proches de la relation thermodynamique de la calcite inorganique (e.g. Erez et Luz, 1983 ; Bouvier-Soumagnac et Duplessy, 1985 ; Bémis et al., 1998).
- 3) Les variations de la concentration en ion carbonate (Bijma et al., 1999), de l'alcalinité et du pH (Spero et al., 1997 ; Zeebe, 1999 ; Mulitza et al., 2003) peuvent faire varier de $\pm 0,3\%$ le $\delta^{18}\text{O}$ du test du foraminifère (Mulitza et al., 2003).
- 4) les « effets vitaux » (Urey et al., 1951). Les effets ontogéniques ont été reconnus comme entraînant une déviation par rapport aux valeurs isotopiques de la calcite à l'équilibre. Ces effets peuvent être liés au métabolisme, à la croissance, au taux de calcification (Ortiz et al., 1996), aux effets des symbiontes (Bijma et Hemleben, 1994 ; Spero et al., 1996).
- 5) La calcification gamétogénique et la calcification secondaire apportent une calcification additionnelle qui se ferait en profondeur, entraînant une composition isotopique plus positive (Bé, 1980 ; Duplessy et al., 1981). La calcification gamétogénique, consistant à sécrétion additionnelle de calcite avant la gamétogénèse (Bé, 1980), ne s'effectuerait que pour certaines espèces. En revanche, la calcification secondaire pourrait compter pour 20% du poids en carbonate du test du foraminifère et ce quelque soit l'espèce (Lohmann, 1995).
- 6) La dissolution des carbonates, qui semble être sélective en fonction de la structure du test des foraminifères. Certaines

espèces sont résistantes, comme *G. truncatulinoïdes*, d'autres très fragiles et se dissolvent facilement, comme *H. pelagica* (Bé, 1977). Cette dissolution dépend de la profondeur de la lysocline (e.g. Berger et al., 1982 ; de Villiers, 2005).

De plus, les concentrations de foraminifères planctoniques et les assemblages varient en fonction des saisons et des latitudes (Williams et al., 1979 ; Thunnel et Sauter, 1992 ; Curry et al., 1992 ; Conan et Brummer, 2000) comme nous l'avons montré précédemment. De récentes études ont montré que les foraminifères planctoniques ajustent leur profondeur de vie en réponse aux changements hydrographiques saisonniers (Ravelo et Fairbanks, 1992 ; Thunnel et Sautter, 1992 ; Peeters, 2000 ; Schiebel et Hemleben, 2005). C'est aussi ce que nous constatons dans le Golfe de Gascogne. Bien évidemment, de telles migrations verticales devraient également influencer la composition isotopique de leur test.

Après avoir regardé les variations saisonnières des concentrations en foraminifères planctoniques, des assemblages, des profondeurs de vie ainsi que leurs relations avec les paramètres hydrologiques, les tests des foraminifères planctoniques des espèces *G. bulloïdes*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* ont été prélevés pour subir des analyses isotopiques de l'oxygène et du carbone, afin d'essayer de comprendre leur calcification dans la colonne d'eau et connaître les variabilités temporelles et spatiales influençant le $\delta^{18}\text{O}$ des assemblages morts.

2. Matériels et Méthodes – préparation des échantillons et analyses

Provenant de trois missions océanographiques : PECH 1 (Juin 2006) ; PECH 3 (Avril 2007) et PECH 5 (Mars 2008), des tests de foraminifères planctoniques colorés au Rose Bengal des filets à planctons (>100 μm) des Stations WH et A ont été piqués, après comptage et identification, pour des mesures isotopiques de l'oxygène et du carbone. Seuls les spécimens bien colorés au Rose Bengal et aux morphologies non équivoques de *G. bulloïdes*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* ont été piqués, mesurés (diamètre maximum) et classés avec l'aide d'une vis oculaire pour les analyses isotopiques. Nous n'avons pas utilisé de colle sur les cellules Chapman.

Les échantillons préparés pour les isotopes ^{18}O et ^{13}C ont été analysés au LSCE (Laboratoire des Sciences du Climats et de l'Environnement) du CNRS CEA de Gif-sur-Yvette, par Fabien Dewilde, sous la direction d'Elisabeth Michel.

Préalablement aux mesures des rapports isotopiques $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, les spécimens de foraminifères ont été pesés sur une balance Sartorius[®], de précision $\pm 5\mu\text{g}$, puis passés au four

(« grillé ») à 380°C pendant 45 min, afin de détruire la matière organique. Un minimum de poids de 10 à 15 µg fut nécessaire pour chacune des mesures faites avec le spectromètre de masse ISOPRIME[®] et la ligne de préparation CARBOPREP. Les résultats sont exprimés en $\delta = ((R_{\text{échantillon}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}) * 1000$, où R est le rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. La précision analytique des analyses du $\delta^{18}\text{O}$ et du $\delta^{13}\text{C}$ est respectivement de $\pm 0,05\%$ et $\pm 0,03\%$ ($\pm 1\sigma$) relatif au standard Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB). Les standards internationaux utilisés pour la calibration au VPDB sont les standards NBS18 et NBS19. Pour atteindre le poids nécessaire pour les mesures et en fonction des gammes de tailles, un minimum de 25 individus pour la fraction 150-200 µm, entre 10 et 15 individus entre 200-250 µm et 5 à 10 individus entre 250 et 315 µm ont été rassemblés pour 1 mesure.

Les profondeurs indiquées correspondent à la profondeur moyenne de l'échantillon. C'est-à-dire, est affiché à 10 m l'échantillon 0-20 m ; à 30 m sont représentées les données de l'échantillon 20-40 m etc. Lorsque plusieurs mesures ont été réalisées par échantillon, la valeur moyenne \bar{x} est complétée par son écart type.

Afin de déterminer l'incertitude de la composition isotopique pour les différentes espèces, nous avons utilisé la formule de l'erreur type suivante "pooled standard deviation":

$$\text{Incertitude} = \sqrt{\left(\sum_{i,j=1}^{n,m} (x_i - \bar{x}_j)^2 / (n - m) \right)}$$

Où x_i est la valeur isotopique d'une mesure, et \bar{x}_j la moyenne des répliqués pour l'échantillon, n le nombre total de mesures et m le nombre de moyennes \bar{x} reportées.

Les incertitudes entre les répliqués pour *G. bulloides* sont de $\pm 0,11\%$ et $\pm 0,22\%$ pour le $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ respectivement, pour *N. pachyderma* dextre, elles sont de $\pm 0,10\%$ et $\pm 0,13\%$ et *G. inflata* $\pm 0,05\%$ et $\pm 0,1\%$, pour le $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ respectivement. Les incertitudes sur les répliqués sont supérieures ou égales à la précision analytique qui est de $\pm 0,05\%$ et $\pm 0,03\%$ pour les mesures de $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ respectivement.

3. Différence entre les spécimens « grillés » et « non grillés »

Afin de tester les différences isotopiques entre les spécimens passés au four à 380°C pendant 45 min « grillés » et des spécimens non passés au four « non grillés » avant l'analyse au spectromètre de masse des isotopes de l'oxygène et du carbone, quelques tests des espèces *Neogloquadrina pachyderma* dextre et *Globigerina bulloides* ont été analysés dans ces deux conditions de préparation, provenant de la même mission (PECH 1) et de la Station WH.

Afin de tester l'incertitude entre les données des échantillons grillés et non grillés, nous avons utilisé la formule pour l'incertitude suivante :

$$\text{Incertitude} = \sqrt{(\sum ((g - ng)^2 / 2)) / n}$$

g = moyennes des valeurs « grillés » pour chaque niveau et gamme de taille

ng = moyennes des valeurs « non grillés » pour chaque niveau et gamme de taille

n = nombre total de données

Et nous l'avons comparé à l'incertitude des échantillons grillés pour le même jeu de données (pooled standard deviation). Nous n'observons pas d'écart systématique entre les valeurs isotopiques des deux méthodes, puisque la moyenne est plus faible que la précision analytique : 0,03‰ et 0,00‰ d'écart moyen entre les valeurs « grillées » et « non grillées » pour *G. bulloides*, pour les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ respectivement ; pour *N. pachyderma* dextre, l'écart moyen est de 0,03‰ et -0,05‰ pour $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ respectivement.

On peut se demander si l'erreur entre les deux méthodes est plus grande que l'incertitude des grillés sur ce jeu de données.

Bien que le nombre d'échantillons dans ce test soit faible, les reproductibilités des valeurs isotopiques des foraminifères grillés sont de $\pm 0,15\%$ pour le $\delta^{18}\text{O}$ et $\pm 0,33\%$ pour le $\delta^{13}\text{C}$ de *G. bulloides* et de $\pm 0,08\%$ et $\pm 0,08\%$ pour *N. pachyderma* dextre, pour $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ respectivement. Soit supérieures aux incertitudes sur les mesures de $\delta^{18}\text{O}$ de *G. bulloides* ($\pm 0,11\%$ et $\pm 0,22\%$), mais inférieures aux incertitudes sur les mesures de *N. pachyderma* dextre ($\pm 0,10\%$ et $\pm 0,13\%$), pour les $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ respectivement. Par conséquent, l'incertitude augmente quand on compare les foraminifères « grillés » et « non grillés », par rapport à l'incertitude des « grillés » seuls uniquement pour *G. bulloides*. Le passage au four étant communément utilisé nous avons décidé de conserver cette méthode systématiquement, permettant ainsi de rester cohérent avec les bases de données isotopiques.

G. bulloides

depth	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	size fraction
(m)	non grillés	non grillés	
40	0.36	-1.89	200-250 μm
40	0.42	-1.12	250-315 μm
40	0.42	-1.45	>315 μm
60	0.35	-1.38	>315 μm
80	0.14	-1.72	250-315 μm
80	-0.05	-1.70	>315 μm
	grillés	grillés	
40	0.23	-2.27	150-200 μm
40	0.02	-2.35	150-200 μm
40	0.20	-1.78	200-250 μm
40	0.41	-1.86	200-250 μm
40	0.16	-2.10	250-315 μm
40	0.29	-1.05	>315 μm
40	0.04	-1.69	>315 μm
60	0.44	-0.75	>315 μm
60	0.55	-1.27	>315 μm
80	0.34	-1.61	250-315 μm
80	0.14	-1.85	250-315 μm
80	0.61	-1.05	>315 μm
80	0.33	-1.42	>315 μm

N. pachyderma dextre

depth	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	size fraction
(m)	non grillés	non grillés	
40	0.71	0.08	250-315 μm
40	0.63	-0.04	250-315 μm
40	0.68	-0.20	200-250 μm
60	0.48	-0.21	200-250 μm
80	0.77	-0.01	200-250 μm
100	0.71	-0.08	200-250 μm
	grillés	grillés	
40	0.67	-0.31	200-250 μm
40	0.55	-0.30	200-250 μm
60	0.67	-0.25	200-250 μm
60	0.63	-0.20	200-250 μm
80	0.62	-0.18	200-250 μm
80	0.71	-0.19	200-250 μm
40	0.76	0.06	250-315 μm
40	0.67	0.12	250-315 μm
100	0.78	-0.26	200-250 μm
100	0.90	-0.15	200-250 μm

Tableau VII-1 : Résultats des analyses isotopiques des spécimens de *G. bulloides* et de *N. pachyderma dextre* pour les spécimens « grillés » et « non grillés ».

4. Calcul du $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer ($\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$)

Le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau est lié à la salinité, car il dépend des processus d'évaporation et de transport de la vapeur d'eau (Craig et Gordon, 1965). A partir de la base de données, accessible sur internet, des mesures du $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer récoltées à travers le monde (<http://data.giss.nasa.gov/o18data/>), nous avons transféré une partie de la base de données (Schmidt, Bigg et Rohling, 1999 "Global Seawater Oxygen-18 Database") entre les latitudes 30 et 53°N dans l'Atlantique et corrélié le $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ mesuré et la salinité par une équation linéaire.

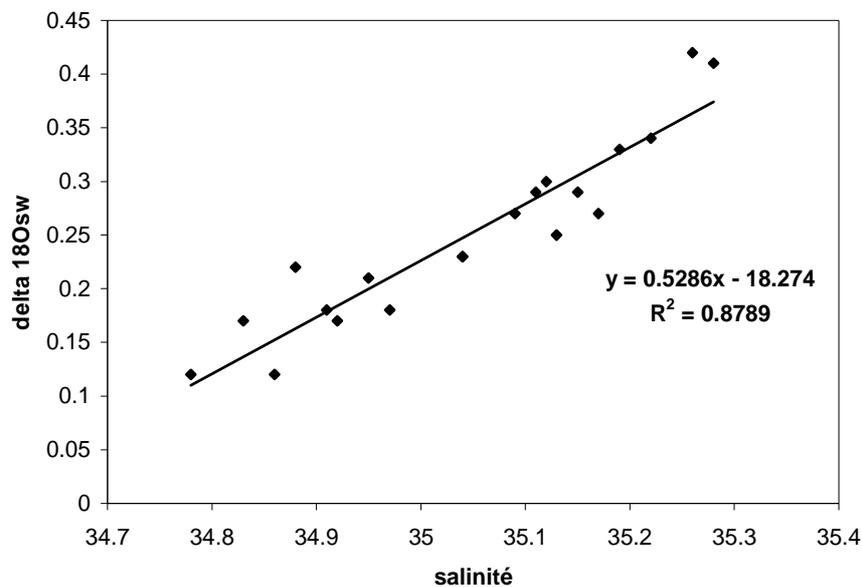


Figure VII-1: Relation entre la salinité et le $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ provenant de la base de données GISS (<http://data.giss.nasa.gov/o18data/>).

Relation linéaire entre la salinité (S) et $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} = 0,5286*S - 18,274 \quad (r^2 = 0,879)$$

La corrélation entre ces données étant très correcte, de plus de 0,87, nous appliquerons cette formule à nos mesures des profils de salinité acquis pour les différentes missions et stations.

On peut comparer cette relation avec celle établie par Le Grande et Schmidt (2006) pour l'Océan Atlantique Nord avec plus de 700 mesures :

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} = 0,55*S - 18,98 \quad (r^2 = 0,951)$$

Les deux équations ont des pentes similaires et ont des coefficients de corrélation important montrant la pertinence de cette corrélation salinité- $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ pour le Golfe de Gascogne.

Malheureusement, nous n'avons pas les valeurs du $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ pour notre zone. Le contexte marginal de nos stations et la saisonnalité des blooms doit influencer fortement le $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ et il n'est pas raisonnable d'extrapoler des valeurs de $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ de l'océan ouvert à notre environnement. Nous utiliserons les données du $\delta^{13}\text{C}$ uniquement pour regarder les effets de tailles sur le fractionnement isotopique.

5. Effet de la taille sur la composition isotopique

Les figures VII-2, VII-3 et VII-4 représentent les $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ pour les tests de *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* en fonction de la profondeur et des gammes de taille des spécimens. Seuls les niveaux de profondeur présentant 3 gammes de tailles différentes ou plus sont représentées ici. Les conditions hydrologiques en Mars et Avril sont relativement similaires entre 40-60 et 60-80 m, nous avons donc réuni certains de ces niveaux afin de représenter un maximum de relation taille – $\delta^{18}\text{O}$.

Les valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ de *G. bulloides* ne montrent pas de variations significatives avec la taille, excepté entre 20 et 40 m en Juin où les rapports isotopiques deviennent plus importants avec la taille. En revanche, les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ se distinguent par une corrélation positive avec l'augmentation de la taille (Figure VII-2).

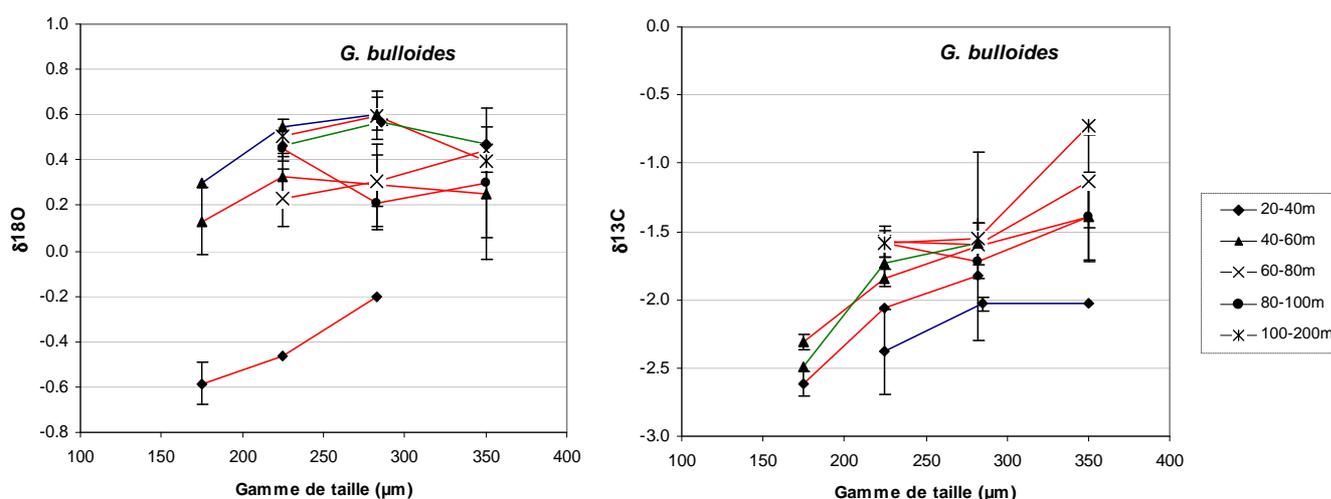


Figure VII-2: Valeurs des isotopes de l'oxygène et du carbone mesurées pour les spécimens de *G. bulloides* en fonction de leur gamme de taille, de la profondeur de prélèvement et de la période d'échantillonnage : lignes rouges : Juin 2006 ; lignes vertes : Avril 2007 ; lignes bleues : Mars 2008.

Nos observations vont à l'encontre des résultats de Spero et Lea (1996) qui proposent une formule de correction entre $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$ et les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ pour prendre en compte un effet de taille pour *G. bulloides* (à 16°C) :

$$\delta^{18}\text{O} = 1,21 - 0,0016 * D \quad (D \text{ étant la taille moyenne du foraminifère})$$

Pour la taille 250 μm , on obtient une correction de -0,7‰ et pour 315 μm une correction de -0,8‰ soit une différence de -0,1‰ (qui est proche de notre incertitude sur les répliqués ($\pm 0,11\%$)) ; décrit plus loin).

Les spécimens de *N. pachyderma* dextre montrent une augmentation des valeurs isotopiques de l'oxygène et du carbone avec l'augmentation de la taille. Cet alourdissement est plus net pour les rapports en isotopes du carbone (Figure VII-3).

L'influence de la taille sur le $\delta^{18}\text{O}_{N. pachyderma}$ serait d'environ +0,2‰ pour 100 μm d'accroissement, et d'environ +0,5‰ $\delta^{13}\text{C}_{N. pachyderma}$ pour 100 μm .

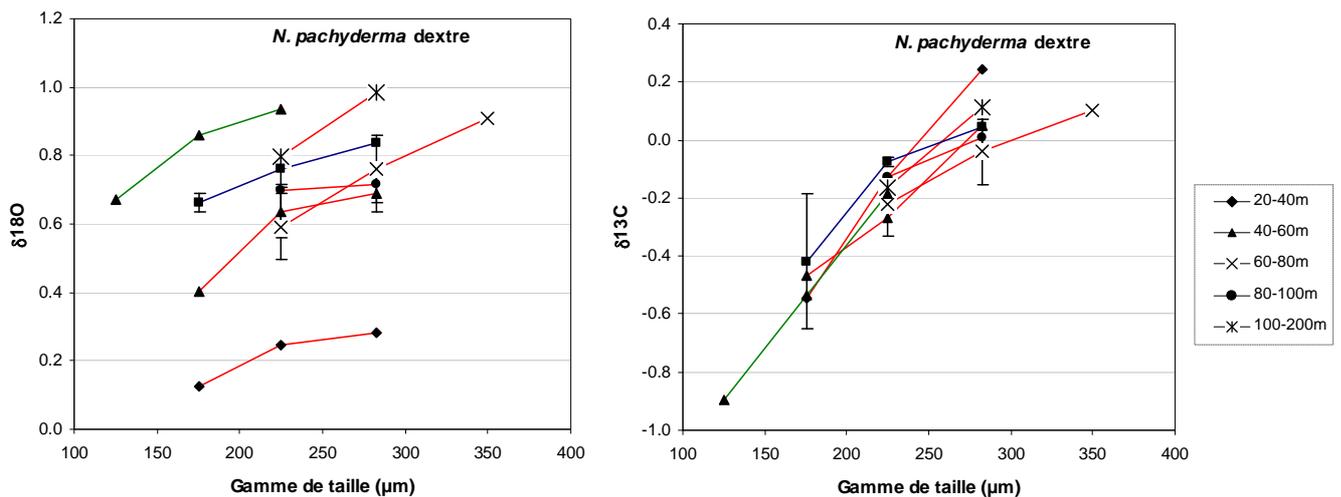


Figure VII-3: Valeurs des isotopes de l'oxygène et du carbone mesurées pour les spécimens de *N. pachyderma* dextre en fonction de leur gamme de taille, de la profondeur de prélèvement et de la période d'échantillonnage : lignes rouges : Juin 2006 ; lignes vertes : Avril 2007 ; lignes bleues : Mars 2008.

On remarque une tendance à l'augmentation des rapports isotopiques de l'oxygène et du carbone avec la taille des spécimens de *G. inflata* (Figure VII-4). La fraction 200-250 μm montre toujours des compositions isotopiques inférieures aux rapports portés par les fractions 250-315 μm et >315 μm .

L'influence de la taille sur le $\delta^{18}\text{O}_{G. inflata}$ serait d'environ +0,15‰ pour 100 μm , et d'environ +0,3‰ $\delta^{13}\text{C}_{G. inflata}$ pour 100 μm .

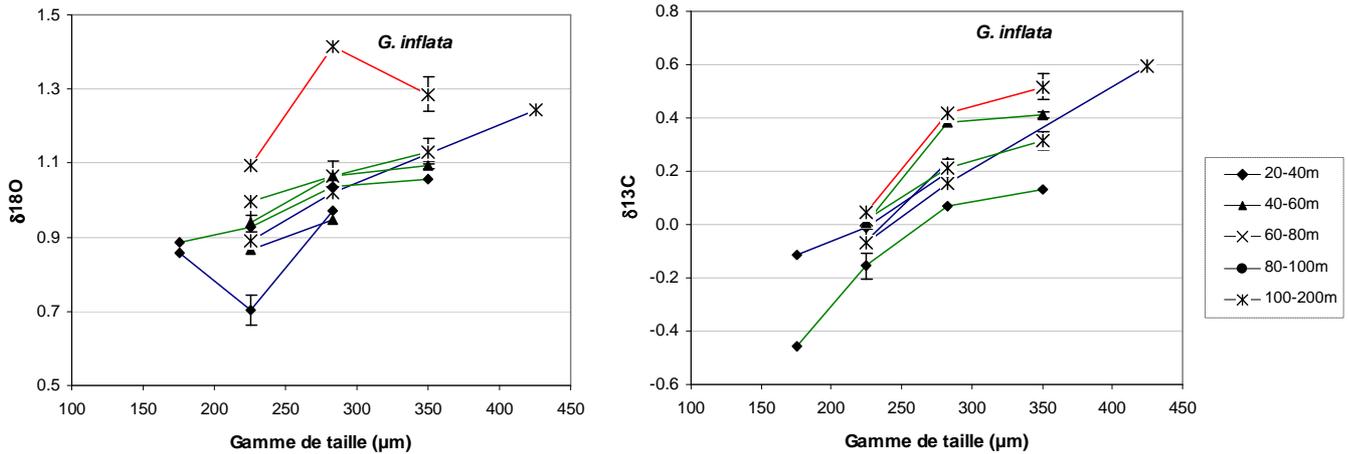


Figure VII-4: Valeurs des isotopes de l’oxygène et du carbone mesurées pour les spécimens de *G. inflata* en fonction de leur gamme de taille, de la profondeur de prélèvement et de la période d’échantillonnage : lignes rouges : Juin 2006 ; lignes vertes : Avril 2007 ; lignes bleues : Mars 2008.

Un effet de taille sur les compositions isotopiques de l’oxygène et du carbone a donc été observé pour les espèces *N. pachyderma* dextre et *G. inflata*. En revanche, *G. bulloides* ne montre pas d’effet de taille dans les compositions isotopiques de l’oxygène, à la différence de ses compositions isotopiques en carbone. Cet effet de taille pourrait indiquer un changement de métabolisme avec la croissance. De plus amples études en culture sont nécessaires, afin de mieux comprendre le métabolisme de ces organismes et leurs enregistrements isotopiques.

6. Compositions isotopiques des foraminifères et de la calcite à l’équilibre

6.1. Choix de l’équation de calibration du $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$

Différentes équations de calibrations du $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite à l’équilibre ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$) ont été proposées (Tableau VII-2) :

Références	Source de calibration	$T(^{\circ}\text{C}) = a + b(\delta^{18}\text{O} - \delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}) + c(\delta^{18}\text{O} - \delta^{18}\text{O}_{\text{sw}})^2$		
		a	b	c
Epstein et al., 1953	Calcite biogénique de mollusques	16.5	-4.3	0.14
Shackleton, 1974	Adaptée de O’Neil et al., 1969 (inorganique) et calibrée avec un foraminifère benthique <i>Uvigerina</i>	16.9	-4.38	0.1
Erez et Luz, 1983	Calcite biogénique de <i>G. sacculifer</i>	17.0	-4.52	0.03
Kim et O’Neil, 1997	Précipitation de calcite inorganique	16.1	-4.64	0.09

Tableau VII-2: Comparaison des quatre équations les plus utilisées pour déterminer les valeurs isotopiques en oxygène de la calcite à l’équilibre.

Nous avons comparé sur la figure VII-5 ces différentes courbes avec un exemple de nos mesures sur des foraminifères prélevés en Mars 2008 en Station WH. L’effet thermodynamique sur la calcite à l’équilibre est semblable pour chacune des équations, on observe des courbes parallèles. Les équations d’Epstein et al. (1953), Shackleton (1974) et

Erez et Luz (1983) sont relativement similaires, avec un écart maximum de $\pm 0,1\%$. En revanche, la relation de Kim et O'Neil (1997) diffère des autres, et montre des rapports plus légers en ^{18}O de la calcite à l'équilibre, inférieurs de $0,4\%$ par rapport aux courbes précédentes.

Par la suite, nous allons discuter sur les écarts entre les rapports isotopiques des différentes espèces par rapport à l'équation d'équilibre isotopique choisie. Ces écarts sont moins importants si l'on choisit l'équation de Kim et O'Neil au lieu de l'une des trois premières équations (Figure VII-5), mais seulement à une constante près, ne modifiant pas les discussions qui se feront sur la variation des écarts entre les données des foraminifères et les courbes de calcite à l'équilibre. De plus les écarts seraient positifs ou négatifs selon les espèces ou profondeurs, par rapport à la courbe de calibration de Kim et O'Neil (1997), perturbant la compréhension. Par conséquent, nous avons choisi de travailler avec l'une des équations les plus couramment utilisées en paléocéanographie, l'équation de Shackleton (1974).

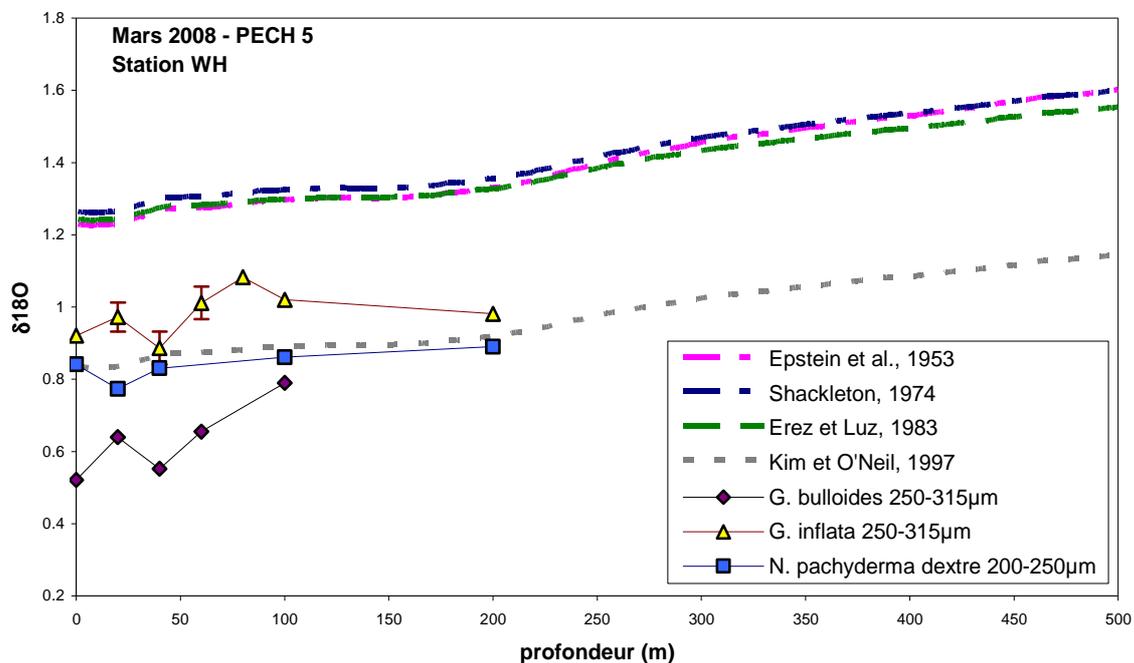


Figure VII-5: Différentes courbes de calibration du $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite à l'équilibre (VPDB) appliquées aux conditions hydrologiques de Mars 2008, ainsi que les valeurs isotopiques mesurées de *G. bulloides*, *G. inflata* et *N. pachyderma dextre* en Mars 2008 à la Station WH.

Les valeurs de l'oxygène isotopique de la calcite à l'équilibre, $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$, peuvent être calculées à partir de la relation de Shackleton (1974), converti du VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) au VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) par soustraction de 0,27‰ :

$$T = 16,9 - 4,38 * (\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} + 0,27) + 0,1 * (\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} + 0,27)^2$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}} = \frac{4,38 - \sqrt{4,38^2 - (0,4 * 16,9) + 0,4 * T}}{0,2} + \delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} - 0,27$$

S étant la salinité et T la température, enregistrées par les CTD.

Les échantillonnages ayant été effectués sur des intervalles de 20 m de profondeur dans les 100 premiers mètres, puis tous les 100 m jusqu'à 300 m, nous avons pu moyenner les $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$ par profondeurs de prélèvement et calculer un écart type.

Nous nous intéresserons donc aux écarts $\Delta\delta^{18}\text{O}$ de la composition isotopique de chaque espèce de foraminifère par rapport aux valeurs de la calcite à l'équilibre, pour les trois espèces définis par :

$$\Delta\delta^{18}\text{O} = \delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$$

6.2. Compositions isotopiques des tests de foraminifères planctoniques vivants

Nous allons présenter les écarts ($\Delta\delta^{18}\text{O}$) entre les compositions isotopiques des foraminifères ($\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$) et les valeurs de la calcite à l'équilibre ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$) et nous obtiendrons des incertitudes sur ces valeurs.

Les spécimens de *G. bulloides* prélevés ne montraient pas d'effet de taille significatif sur le rapport isotopique de l'oxygène, nous avons par conséquent rassemblé les gammes de tailles dans les graphiques de la Figure VII-6. On remarque une variabilité saisonnière des profils de $\delta^{18}\text{O}_{G.bulloides}$ dans la colonne d'eau, suivant les tendances des profils de $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$.

En Mars, les eaux non stratifiées ont des $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$ similaires pour toute la colonne d'eau, s'alourdissant légèrement vers le fond, avec lesquels le $\delta^{18}\text{O}_{G.bulloides}$ présente un écart relativement constant : $\Delta\delta^{18}\text{O}$ de -0,73‰ ($\pm 0,18$) en Station WH et de -0,57‰ ($\pm 0,13$) en Station A.

En Avril, les courbes de $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$ s'infléchissent légèrement en surface vers des valeurs plus légères, conséquence du début de réchauffement saisonnier. Aux 2 stations, l'écart $\Delta\delta^{18}\text{O}$ reste constant d'environ -0,76‰ ($\pm 0,15$) excepté entre 0 et 20 m où l'écart est de -1‰

($\pm 0,13$) en Station WH. Ce niveau de surface correspond aux plus fortes concentrations de foraminifères planctoniques observées, en réponse à l'explosion du bloom phytoplanctonique printanier.

En Juin, les valeurs de $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$ en surface sont plus légères d'environ 2‰, suite à l'installation de la thermocline estivale. Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}_{G.bulloides}$ en Station WH, suivent la tendance des $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$: en surface, $\delta^{18}\text{O}_{G.bulloides}$ est de -1‰, puis augmente à environ -0,3‰ entre 40 et 80 m, puis se stabilise à environ -0,5‰ plus en profondeur. Le $\Delta\delta^{18}\text{O}$ est plus faible en surface (0-20 m) qu'en profondeur. Les spécimens de *G. bulloides* sont essentiellement présents sous la couche de surface, entre 20 et 100 m de profondeur à cette période. En Station A, le $\delta^{18}\text{O}_{G.bulloides}$ de surface semble anormal avec des valeurs plus lourdes de +0,54‰ que le $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$, alors qu'entre 20 et 40 m, les spécimens sont plus légers avec un $\Delta\delta^{18}\text{O}$ de -0,92‰ ($\pm 0,51$).

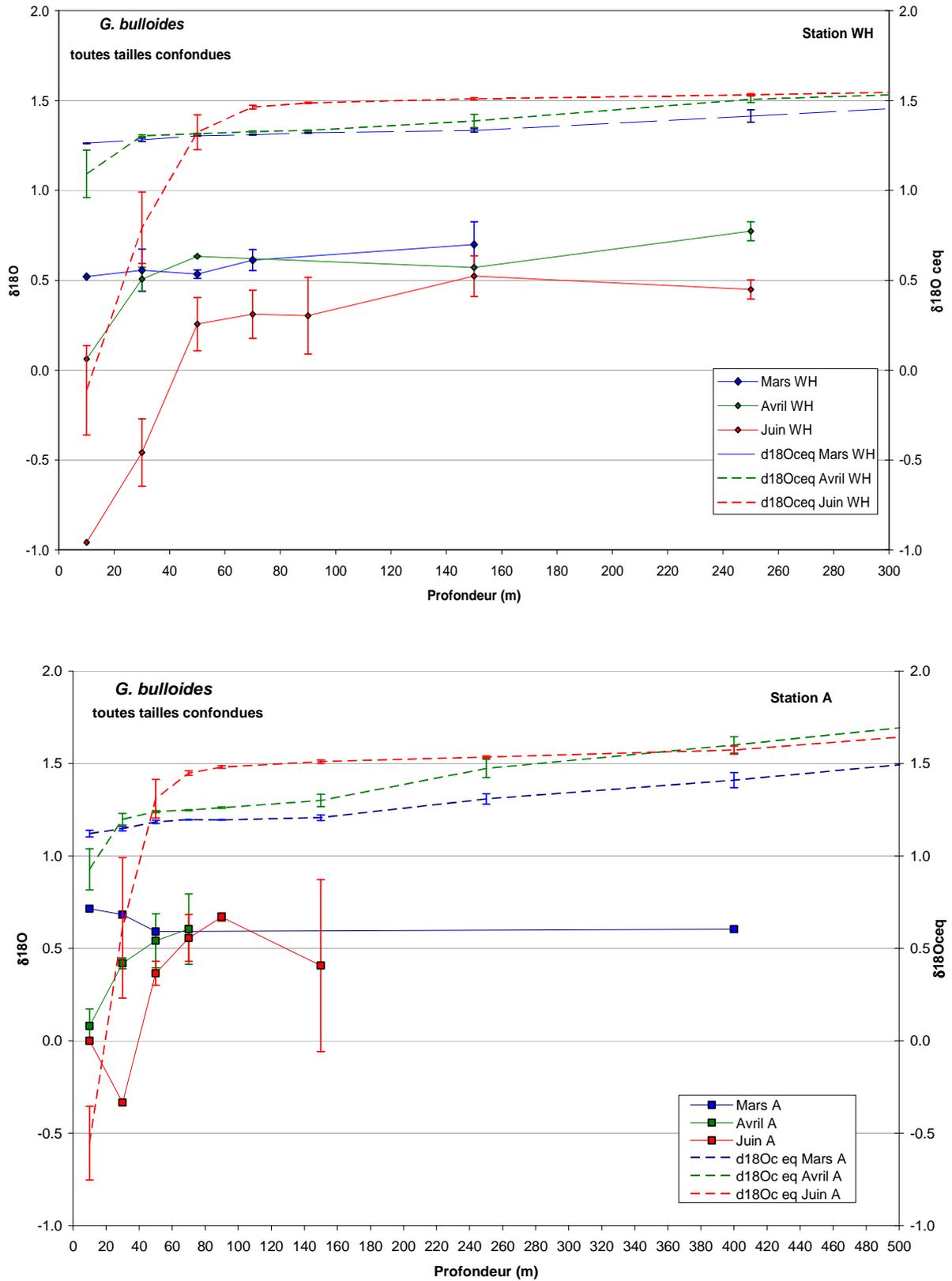


Figure VII-6: Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *G. bulloides* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnages, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour toutes les tailles confondues.

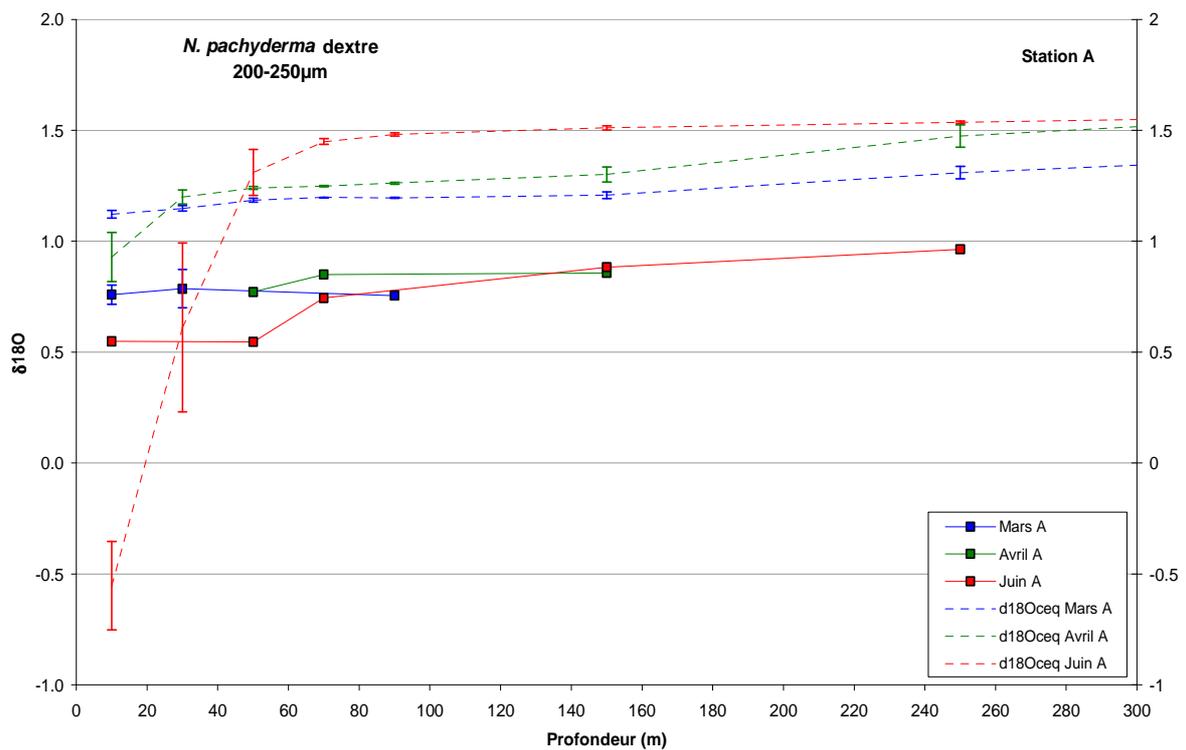
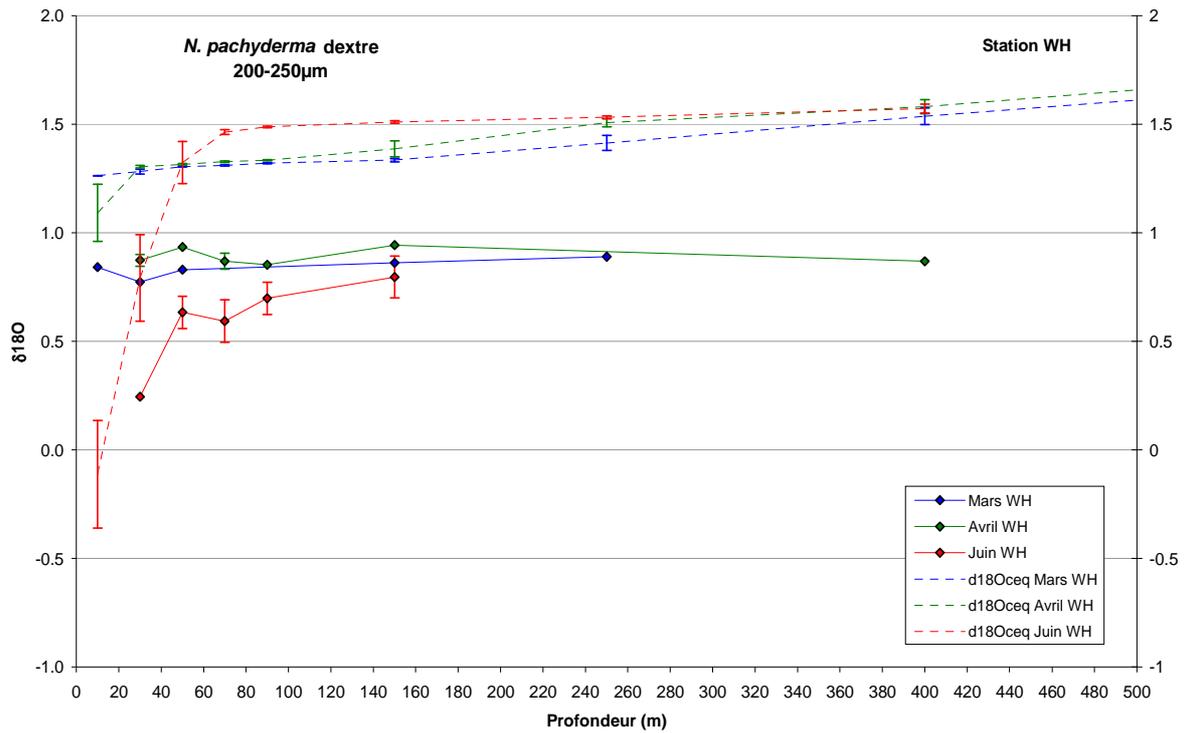


Figure VII-7: Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *N. pachyderma dextre* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnage, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour la gamme de tailles 200-250 μ m.

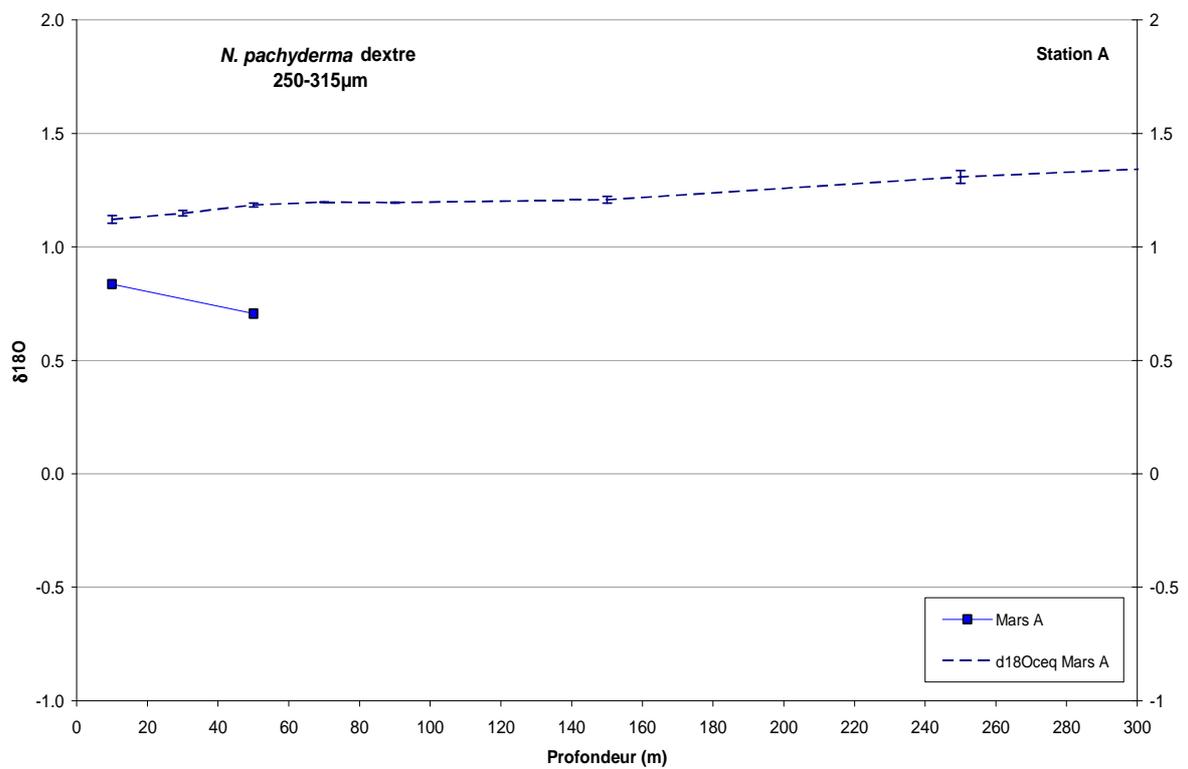
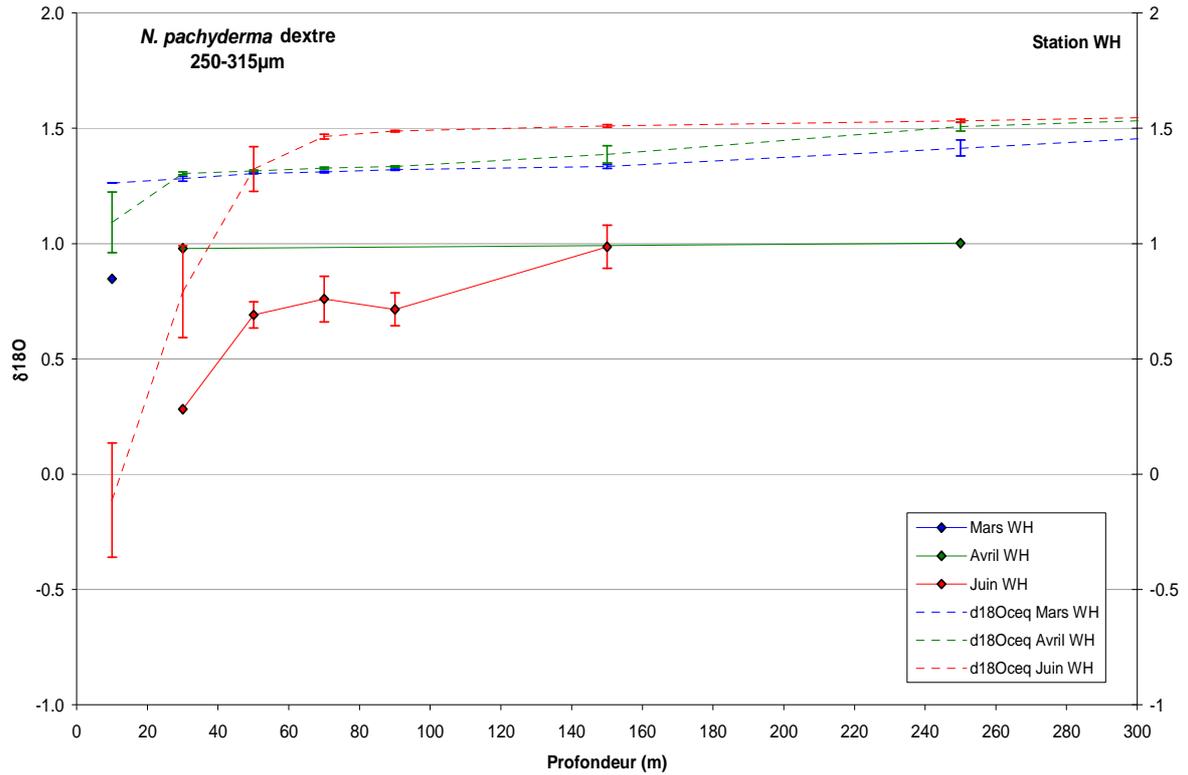


Figure VII-8: Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *N. pachyderma dextre* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnage, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour la gamme de tailles 250-315µm.

Les spécimens de *N. pachyderma* dextre ont montré un effet de la taille sur les rapports isotopiques de l'oxygène, se traduisant par une augmentation du $\delta^{18}\text{O}_{N.pachyderma}$ avec la taille de presque +0,2‰. Nous avons donc analysé séparément les résultats des deux classes de taille 200-250 μm et 250-315 μm .

Pour la **fraction 200-250 μm** (Figure VII-7), en Mars et en Avril, $\Delta\delta^{18}\text{O}$ est relativement constant dans toute la colonne d'eau, entre -0,3 à -0,4‰. Seul le point à 250 m, en Avril à la Station WH, donne une valeur supérieure de $\Delta\delta^{18}\text{O}$ de $-0,71 \pm 0,03\text{‰}$, alors que les valeurs de $\delta^{18}\text{O}_{N.pachyderma}$ restent relativement constantes. Cet éloignement de la courbe de $\delta^{18}\text{O}_{N.pachyderma}$ de celle du $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$ suggère que la population située à 200-300 m de profondeur n'est pas en équilibre avec la masse d'eau, et que la calcification a lieu à une profondeur inférieure.

En Juin, au dessous de 60 m de profondeur, les spécimens de *N. pachyderma* dextre présentent un $\Delta\delta^{18}\text{O}$ de -0,7‰. Au dessus, en Station WH, le $\delta^{18}\text{O}_{N.pachyderma}$ s'allège et se rapproche du $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$ ($\Delta\delta^{18}\text{O}$ de -0,4‰). En surface de la Station A, on observe la même anomalie que pour *G. bulloides* avec des valeurs plus lourdes de +1‰ par rapport au $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$.

Pour la **fraction 250-315 μm** (Figure VII-8), en Mars et Avril, $\Delta\delta^{18}\text{O}$ oscille aussi entre -0,3 et -0,4‰. A la Station WH en Avril, alors que les valeurs de $\delta^{18}\text{O}_{N.pachyderma}$ restent identiques à $-0,7 \pm 0,03\text{‰}$, la courbe s'éloigne de celle du $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$, augmentant le $\Delta\delta^{18}\text{O}$ à -0,6‰ à 250 m. Cette différence est toutefois non significative car dans la gamme d'incertitude de $\pm 0,10\text{‰}$ de *N. pachyderma* dextre.

En Juin, on a aussi les mêmes tendances pour cette classe de taille 250-315 μm que pour la classe inférieure, avec des valeurs de $\delta^{18}\text{O}_{N.pachyderma}$ légèrement plus lourdes dues à l'effet de taille.

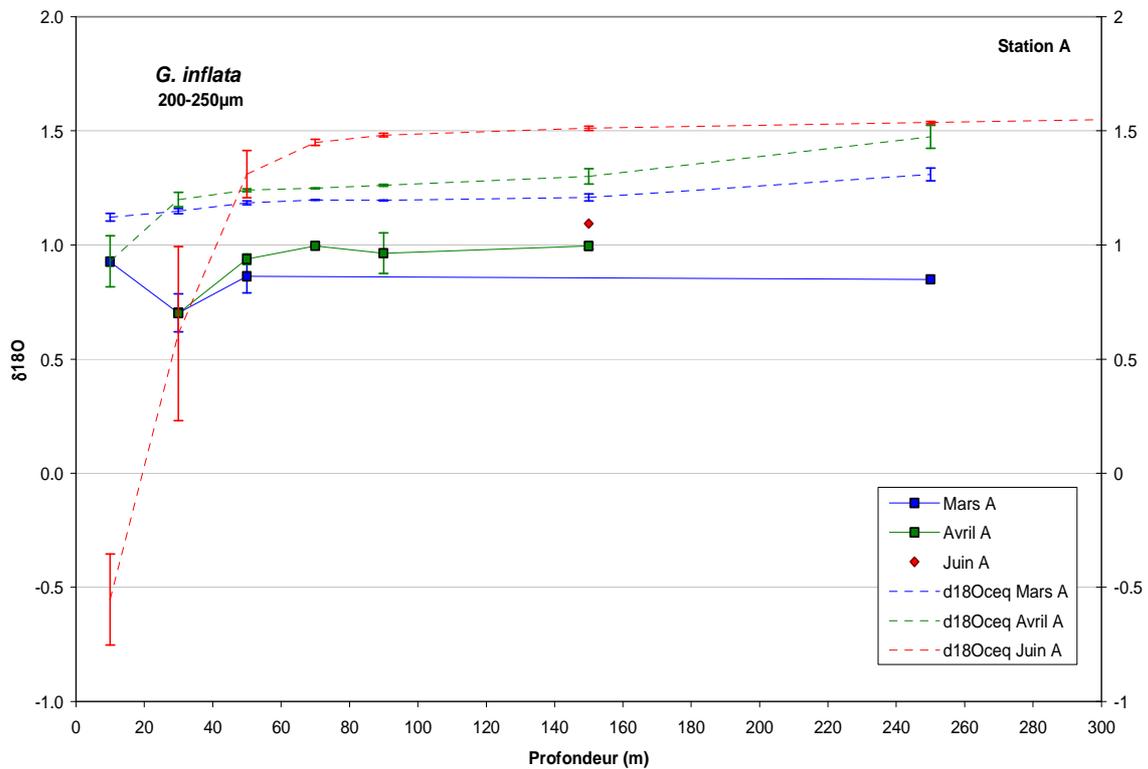
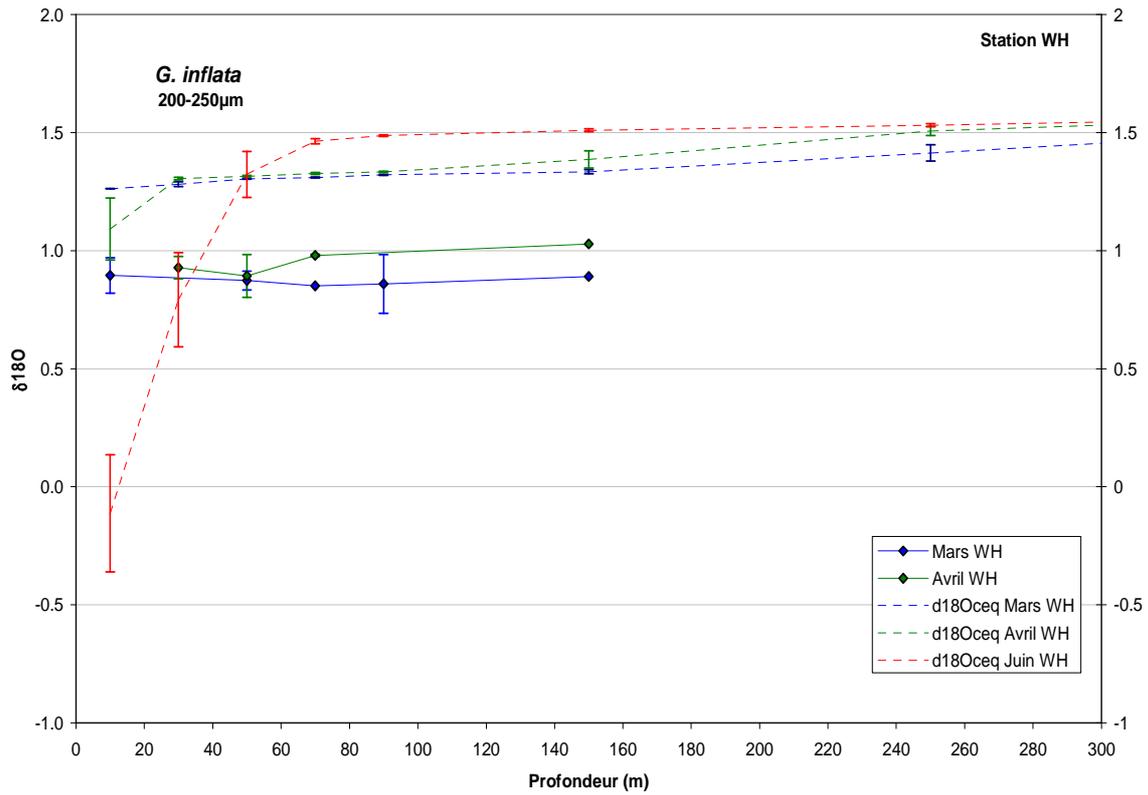


Figure VII-9: Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *G. inflata* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnages, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour la gamme de tailles 200-250µm.

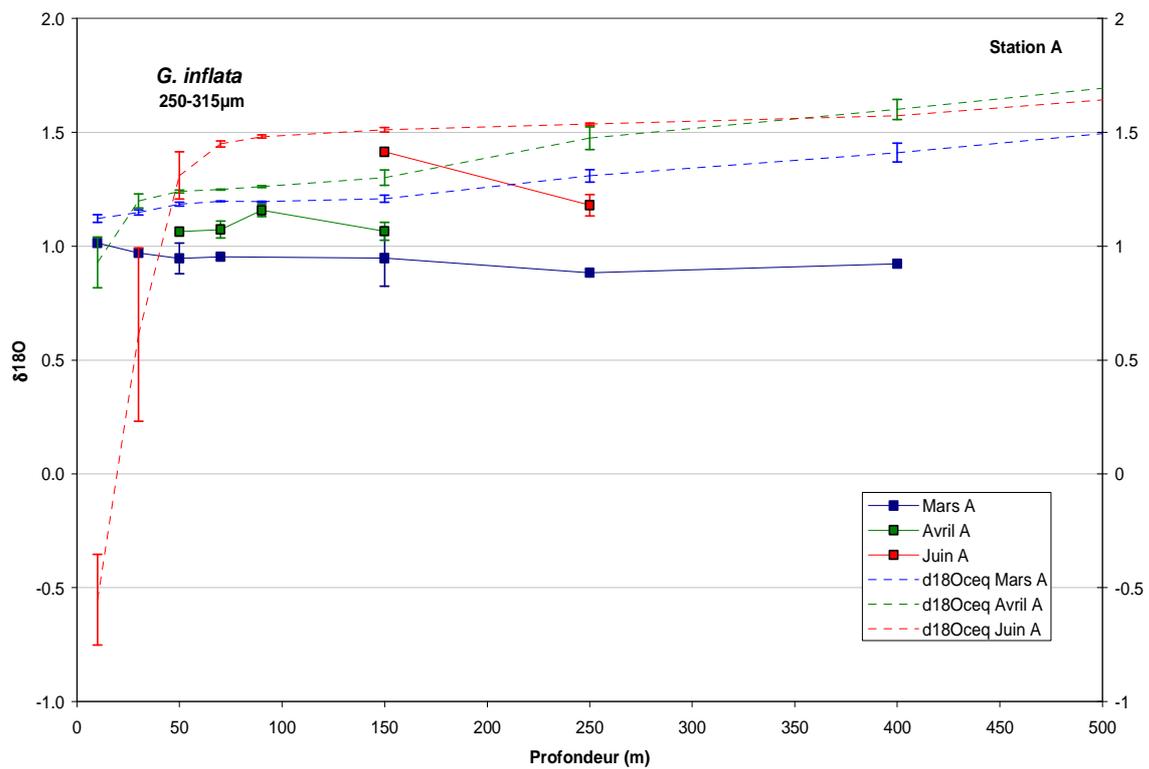
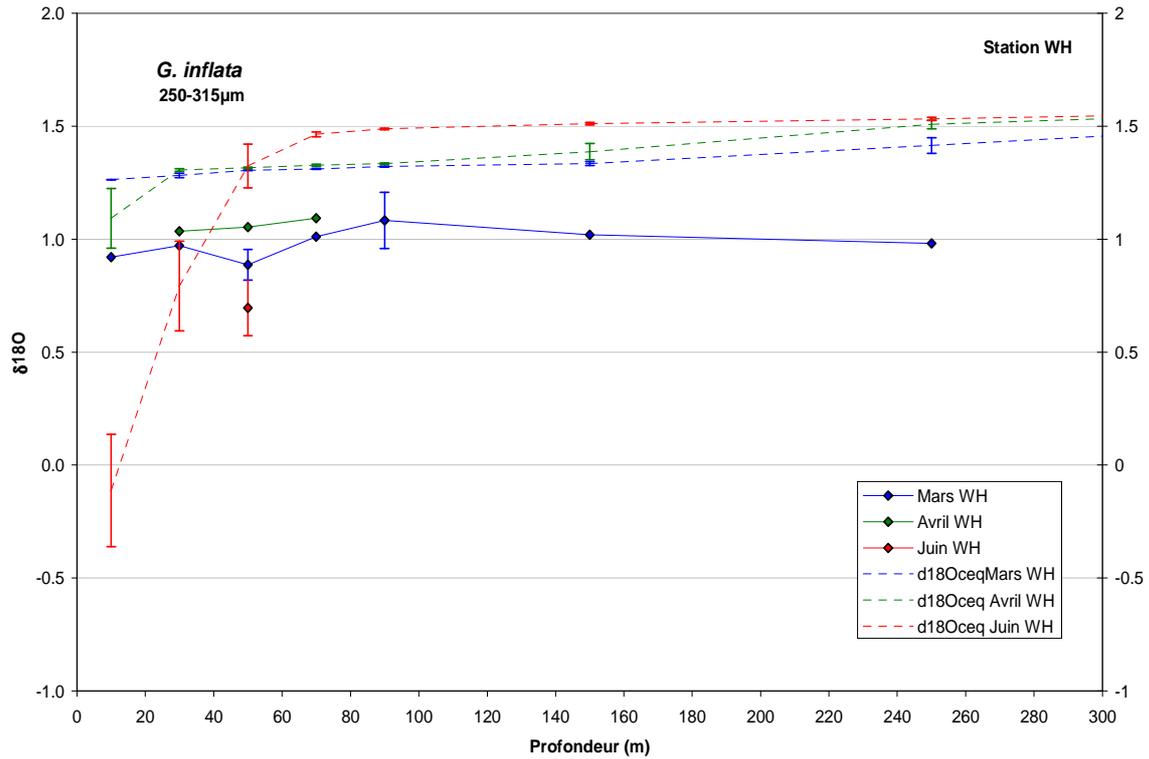


Figure VII-10: Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *G. inflata* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnages, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour la gamme de tailles 250-315µm.

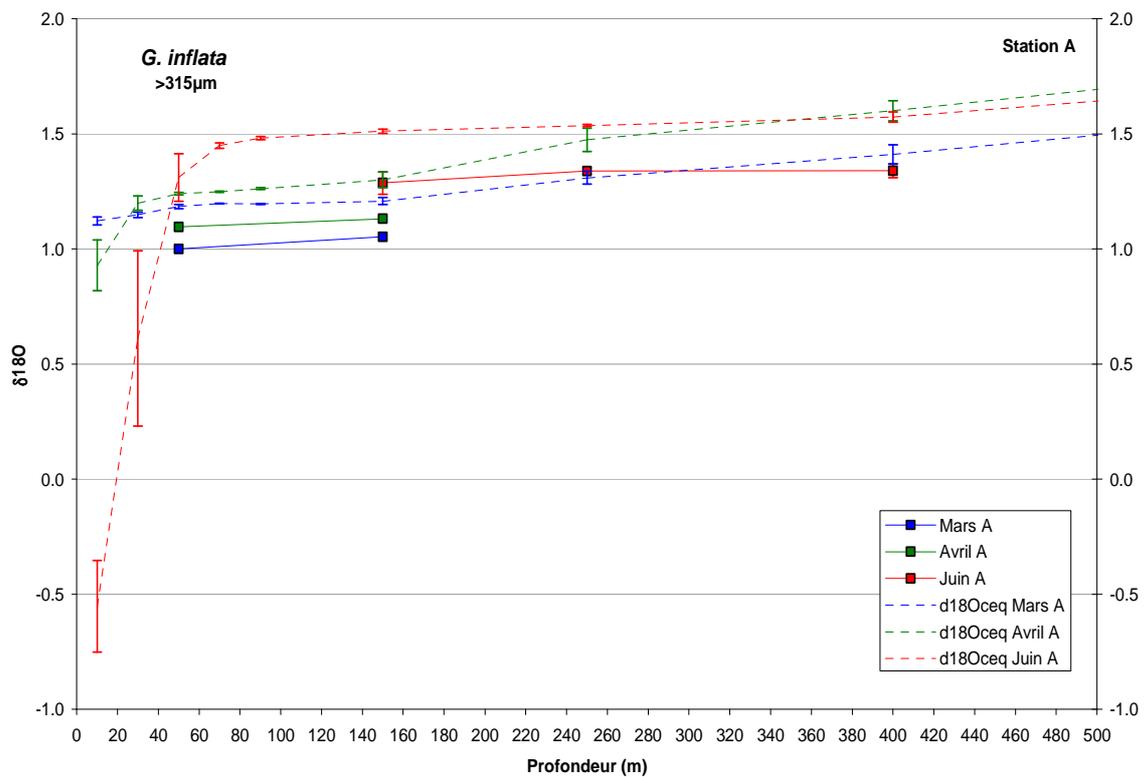
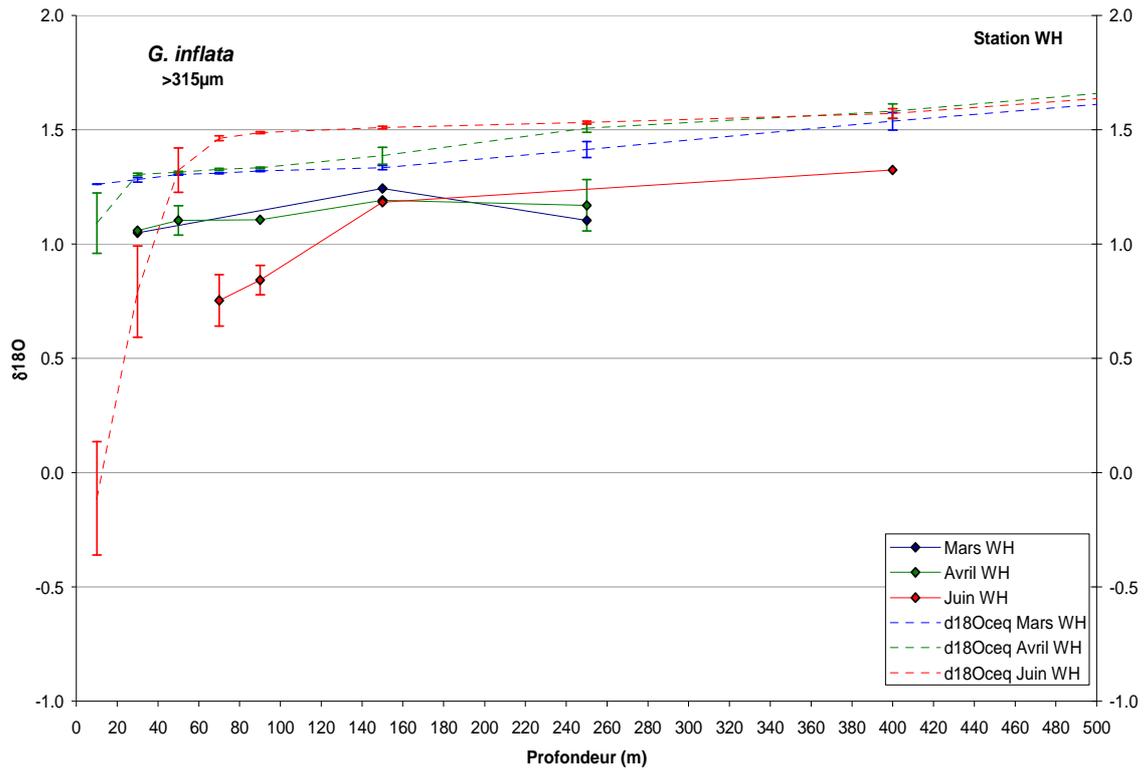


Figure VII-11: Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *G. inflata* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnages, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour les tailles >315 μ m.

G. inflata montre, comme *N. pachyderma* dextre, une augmentation du rapport isotopique de l'oxygène avec l'augmentation de la gamme de taille. Nous avons donc analysé séparément les résultats des trois classes de taille 200-250 μm , 250-315 μm et $>315 \mu\text{m}$. Il faut noter que les valeurs isotopiques d'Avril montrent systématiquement des valeurs légèrement plus lourdes en oxygène par rapport à Mars.

Pour la fraction **200-250 μm** (Figure VII-9), en Mars et Avril, les valeurs de $\delta^{18}\text{O}_{G.inflata}$ sont homogènes dans la colonne d'eau. Les $\Delta\delta^{18}\text{O}$ sont de $-0,37 \pm 0,15\text{‰}$ en Mars et $-0,34 \pm 0,09\text{‰}$ en Avril. Un point à 250 m, Station A, s'écarte de la courbe avec un $\Delta\delta^{18}\text{O}$ de $-0,56\text{‰}$, indice d'une calcification probable dans les niveaux supérieurs.

Pour les spécimens compris entre **250 et 315 μm** (Figure VII-10), les écarts restent similaires en Mars avec $-0,4\text{‰}$. En revanche, en Station A, les écarts augmentent avec la profondeur, mais les valeurs isotopiques restent relativement similaires, avec un minimum d'écart en surface d'environ $-0,2\text{‰}$ allant jusqu'à $-0,5\text{‰}$ sous 200 m. En Avril, l'écart est faible en surface ($-0,19 \pm 0,08\text{‰}$) aux Stations WH et A, où les spécimens de *G. inflata* sont retrouvés avec une forte concentration, corroborant à une forte reproduction en surface.

Pour la fraction **$>315 \mu\text{m}$** (Figure VII-11), les écarts $\Delta\delta^{18}\text{O}$ sont relativement constants en Mars et Avril, avec des valeurs identiques de $\delta^{18}\text{O}_{G.inflata}$ en Station WH, mais légèrement plus lourdes en Avril Station A, ce qui reflète l'alourdissement de l'eau dans la même période. En Juin, on trouve deux types de populations. La première, dans les 100 premiers mètres de la Station WH, correspondant à un pic d'abondance, a une composition isotopique légère en oxygène, avec un écart de $-0,68 \pm 0,20\text{‰}$ par rapport à la calcite à l'équilibre. Cette population semble être récente, et semble avoir calcifié plus en surface, où les valeurs de la calcite à l'équilibre sont plus faibles. Ces individus récoltés en Juin sont peut être déjà en train de s'enfoncer. La seconde population, située sous 100 m (Stations WH et A), a des valeurs plus lourdes et un écart d'environ $-0,23 \pm 0,05\text{‰}$. Si on la considère héritée des populations d'Avril, elle aurait un $\delta^{18}\text{O}_{G.inflata}$ un peu trop fort, suggérant que les gros individus sont peut être capables de calcifier en profondeur des loges en équilibre avec l'eau ambiante.

7. Profondeur de calcification et effets vitaux

7.1. Les différents postulats

Deux postulats s'affrontent pour reconstituer les profondeurs de calcification des foraminifères planctoniques par rapport à leurs valeurs isotopiques :

1) L'idée de base s'appuie sur le fait que ces foraminifères planctoniques, organismes protistes, calcifient en équilibre avec l'eau ambiante.

Si l'écart est important entre le $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ et le $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$, il est admis qu'ils auraient calcifié à l'équilibre à une autre profondeur d'eau que la profondeur de capture et se seraient donc déplacés dans la colonne d'eau après la calcification. Ce postulat permet de connaître la profondeur de calcification des espèces de foraminifères (Peeters, 2000 ; Peeters et al., 2002 ; Lončarić et al., 2006). L'équation de calibration de la calcite inorganique de Kim et O'Neil (1997), plus proche des valeurs de $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ observées pour les spécimens vivants, est alors utilisée pour expliquer les faibles $\delta^{18}\text{O}$ des foraminifères planctoniques dans la colonne d'eau par une calcification à l'équilibre (Peeters et al., 2002 ; Lončarić et al., 2006).

2) Il est reconnu que les $\delta^{18}\text{O}$ des foraminifères planctoniques vivants sont plus légers que les rapports isotopiques de la calcite à l'équilibre, calculé à partir des équations de Shackleton (1974) ou similaires, et ce quelque soit les saisons et latitudes (Shackleton, 1974 ; Shackleton et Vincent, 1978 ; Duplessy et al., 1981 ; Stangeew, 2001 ; Simstich et al., 2003 ; Mortyn et Charles, 2003 ; Mulitza et al., 2003). Il est alors admis qu'ils fractionneraient les isotopes de l'oxygène par des « effets vitaux » (e.g. Urey et al., 1951 ; Fairbanks et al., 1982 ; Spero et al., 1996 ; Stangeew, 2001 ; Simstich et al., 2003).

7.2. Effet vital

Beaucoup d'auteurs s'accordent à penser que des effets vitaux, perturbant l'assimilation des isotopes de l'Oxygène dans le carbonate de leurs tests, seraient propres à chacune des espèces (e.g. Spero et Lea, 1996).

Nous avons calculé l'écart moyen sur toute la colonne d'eau entre la valeur isotopique des foraminifères et la calcite à l'équilibre donnée par l'équation de calibration de Shackleton (1974), en fonction des espèces et des périodes d'échantillonnage (Tableau VII-3).

Nous avons distingué plusieurs populations isotopiques en Juin, présentant des écarts différents. Afin de pouvoir comparer les écarts, nous avons calculé les écarts moyens de Juin,

pour chacune des espèces, sur les populations situées sous 100 m de profondeur, montrant des écarts plus constants et moindres.

	<i>G. bulloides</i>			<i>N. pachyderma dextre</i>			<i>G. inflata</i>		
	Mars	Avril	Juin	Mars	Avril	Juin	Mars	Avril	Juin
150-200µm				-0,44 ±0,07‰	-0,55±0,14‰	-0,75‰	-0,29‰	-0,42‰	
200-250µm	-0,68	-0,76	-1,05	-0,42 ±0,09‰	-0,46±0,09‰	-0,66±0,09‰	-0,37 ±0,15‰	-0,34 ±0,09‰	-0,33‰
250-315µm	±0,16‰	±0,15‰	±0,24‰	-0,39 ±0,11‰	-0,42±0,14‰	-0,52±0,09‰	-0,31 ±0,11‰	-0,191 ±0,08‰	-0,20 ±0,09‰
>315µm							-0,21 ±0,09‰	-0,20 ±0,09‰	-0,26 ±0,09‰
Moyenne				-0,42 ±0,08‰	-0,46±0,1‰	-0,64±0,10‰	-0,32 ±0,14‰	-0,25 ±0,11‰	-0,25 ±0,09‰

Tableau VII-3: Ecart moyen et leurs incertitudes entre les $\delta^{18}O$ des tests et le $\delta^{18}O_{ceq}$ (Shackleton, 1974), au cours des trois périodes d'échantillonnage, aux deux Stations WH et A pour *G. bulloides*, toutes tailles confondues et *N. pachyderma dextre* et *G. inflata* selon les gammes de tailles.

On constate que la moyenne des écarts entre le $\delta^{18}O_{\text{foraminifère}}$ et le $\delta^{18}O_{\text{ceq}}$ est toujours négative quelque soit la saison ou l'espèce. Notamment en Mars et Avril à la Station WH, alors que la colonne d'eau est homogène et que ces trois espèces sont présentes de la surface jusqu'à 200 m de profondeur, les valeurs isotopiques sont toujours décalées, avec des valeurs plus légères. En moyenne sur les trois périodes d'échantillonnage, le $\delta^{18}O_{G.bulloides}$ est décalé de la valeur isotopique de la calcite à l'équilibre de -0,80‰, le $\delta^{18}O_{N.pachyderma}$ de -0,48‰ et le $\delta^{18}O_{G.inflata}$ de -0,28‰, ces chiffres ne devant pas être pris en considération dans leur précision mais dans leur ordre de grandeur. Ces différences entre espèces pourraient s'expliquer par des « effets vitaux » spécifiques.

De plus, au sein de chaque espèce, les écarts moyens entre le $\delta^{18}O_{\text{foraminifère}}$ et le $\delta^{18}O_{\text{ceq}}$ sont variables : ils se resserrent lorsque le spécimen devient de taille plus importante et s'élargissent du printemps à l'été. En première approximation, on pourrait proposer que l'effet vital serait équivalent à l'écart moyen le plus faible entre le $\delta^{18}O_{\text{foraminifère}}$ et le $\delta^{18}O_{\text{ceq}}$ et qui correspond à l'écart observé aux périodes de production maximale du début du printemps. Ainsi l'effet vital serait de $\sim -0,7‰$ pour *G. bulloides*, de $\sim -0,4‰$ pour *N. pachyderma dextre* et de $\sim -0,2‰$ pour *G. inflata*. Ces valeurs (basées sur la courbe de Shackleton, 1974) sont minimales car elles correspondent aux organismes les plus gros, donc adulte. Les petits organismes juvéniles, étant plus éloignés de l'équilibre isotopique de l'eau, auraient des effets vitaux plus importants.

Wilke et Peeters (en préparation) proposent un « effet vital » pour des spécimens de *G. inflata*, du Cape Blanc (Sud Est Atlantique), de -0,22‰, calculé avec l'équation de calibration de Kim et O'Neil (1997), qui a environ -0,4‰ d'écart constant avec l'équation de calibration

de Shackleton (1974) (Figure VII-5). Pour comparer avec nos calculs, il faut additionner ces corrections, ce qui donne un écart d'environ $-0,62\text{‰}$ pour *G. inflata*, soit beaucoup plus important que celui observé dans le Golfe de Gascogne.

Lončarić et al. (2006) observent une calcification à l'équilibre pour les spécimens de *G. inflata* (et aussi de *G. glutinata*, et *G. truncatulinoïdes*) en accord avec l'équation de calibration de la calcite de Kim et O'Neil (1997), soit un décalage de $-0,4\text{‰}$ avec l'équation de Shackleton (1974) (Figure VII-12). En revanche, pour les espèces à épines et en symbiose, telles que *G. trilobus* et *G. ruber*, ils observent des rapports plus faibles par rapport aux rapports de la calcite à l'équilibre, ils se voient obligés de proposer un processus de fractionnement isotopique tel qu'un effet vital pour ces espèces.

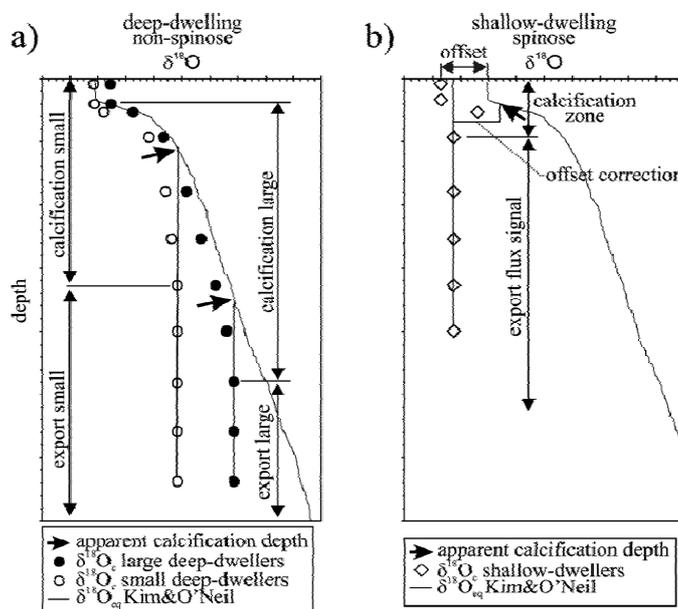


Figure VII-12: Représentation schématique du $\delta^{18}\text{O}$ a) des espèces profondes sans épines (e.g. *G. truncatulinoïdes*, *G. inflata*) et b) des espèces de surface (e.g. *G. ruber* et *G. trilobus*) dans l'océan ouvert (d'après Lončarić et al., 2006).

Dans nos observations, nous avons pu remarquer que *G. bulloides* montrait les plus faibles valeurs en $\delta^{18}\text{O}$ par rapport aux deux autres espèces, et donc les plus grands écarts avec la calcite à l'équilibre. *G. bulloides* est la seule parmi nos trois espèces étudiées à porter des épines, mais ne porte pas de symbionte. Ceci confirme le lien, proposé par Lončarić et al. (2006), qui pourrait y avoir entre un $\Delta\delta^{18}\text{O}$ négatif important et le port d'épines. Ces espèces portant des épines auraient une structure cristalline de la paroi de leurs tests différente (Bé et al., 1982). Ce rapport pourrait aussi être lié à leur mode de vie plus en surface. En effet, les spécimens de *G. bulloides* ont été retrouvés avec des MDH (Mean Depth Habitat) plus faibles

que *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* (Bé, 1977 ; Chapitre III partie A), ce qui induirait des conditions de températures de calcification plus importantes.

Wilke et Peeters (en préparation) remarquent aussi des écarts différents pour l'espèce *G. ruber* entre ses stations de l'Atlantique Nord, de -0,66‰ et d'Atlantique Sud, entre -1,01 et -0,89‰ (reconverties avec l'équation de Shackleton, 1974). Dans le Golfe de Gascogne, nous mesurons des écarts entre le $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ et le $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$ qui augmentent pour chacune des espèces, de Mars à Juin. Les écarts moyens sont plus importants en Juin : de -0,68 à -1,05‰ pour *G. bulloides* ; de -0,42 à -0,68‰ pour *N. pachyderma* dextre. D'après ces observations, on ne pourrait attribuer au seul effet vital, les écarts entre le $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ et le $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$. On peut invoquer des conditions hydrologiques particulières à un bassin océanique, mais aussi considérer que des effets vitaux propres à chacune des espèces ne sont pas constants pendant leur cycle de vie ou les saisons (métabolisme, gamétogénèse, ontogénèse, différentes nourritures...).

7.3. Profondeurs de calcification

On peut estimer la profondeur de calcification d'une espèce, car elle correspond au niveau où le $\Delta\delta^{18}\text{O}$ commence à augmenter avec la profondeur (Figure VII-12).

Cependant, il est difficile de savoir si les foraminifères planctoniques sont capables de se maintenir à une profondeur relativement fixe pour calcifier l'ensemble de leur coquille. Le foraminifère est susceptible de commencer sa plongée dans la colonne d'eau avant sa mort, tout en continuant la calcification de ses dernières loges. Peeters (2000) affirme que les 2 à 3 dernières loges du foraminifère, qui sont les plus volumineuses, détermineraient plus de 50% de la valeur isotopique finale du spécimen, donnant une « mémoire » isotopique plus importante aux dernières profondeurs fréquentées par le spécimen en cours de calcification.

D'après l'ensemble de nos données, nous savons que les spécimens de *N. pachyderma* dextre, *G. bulloides* et *G. inflata* ont un maximum d'abondance entre 0 et 80 m, il est donc logique que leur calcification s'effectue au dessus de 80 m. Les données isotopiques ne peuvent pas apporter de précision, mais on peut dire que ces organismes semblent calcifier essentiellement leur test au-dessus de 200 m de profondeur.

Pour *N. pachyderma* dextre et *G. bulloides*, on peut cependant avancer que la plongée des foraminifères dans la colonne d'eau, alors qu'ils sont encore vivants, n'affecte pas leur composition en isotope de l'Oxygène, la majorité des $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifères}}$ restant à des valeurs

constantes entre la profondeur de production et 300 m (et même 500 m pour un seul point concernant *G. bulloides* en Station A).

En revanche, les plus gros spécimens de *G. inflata* (> 250 μm) capturés en Juin en profondeur montrent des rapports isotopiques plus lourds que ceux des spécimens d'Avril, corrigés de l'effet de taille, et en écart constant avec la calcite à l'équilibre des eaux de Juin. Il est donc possible que ces spécimens calcifient encore des loges en profondeur au cours de leur chute.

7.4. Déplacement des individus – Mouvement vertical

Lorsque le déséquilibre du $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ avec la calcite à l'équilibre montre un écart supérieur à l'écart attribué à l'« effet vital », on peut concevoir que ces spécimens pourraient avoir calcifié à d'autres profondeurs ou périodes. La courbe de profondeur théorique de calcification d'une espèce ($\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ théorique) se dessine en translatant la courbe de calibrations du $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite à l'équilibre ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$) d'une distance égale à l'effet vital de cette espèce (Figure VII-13).

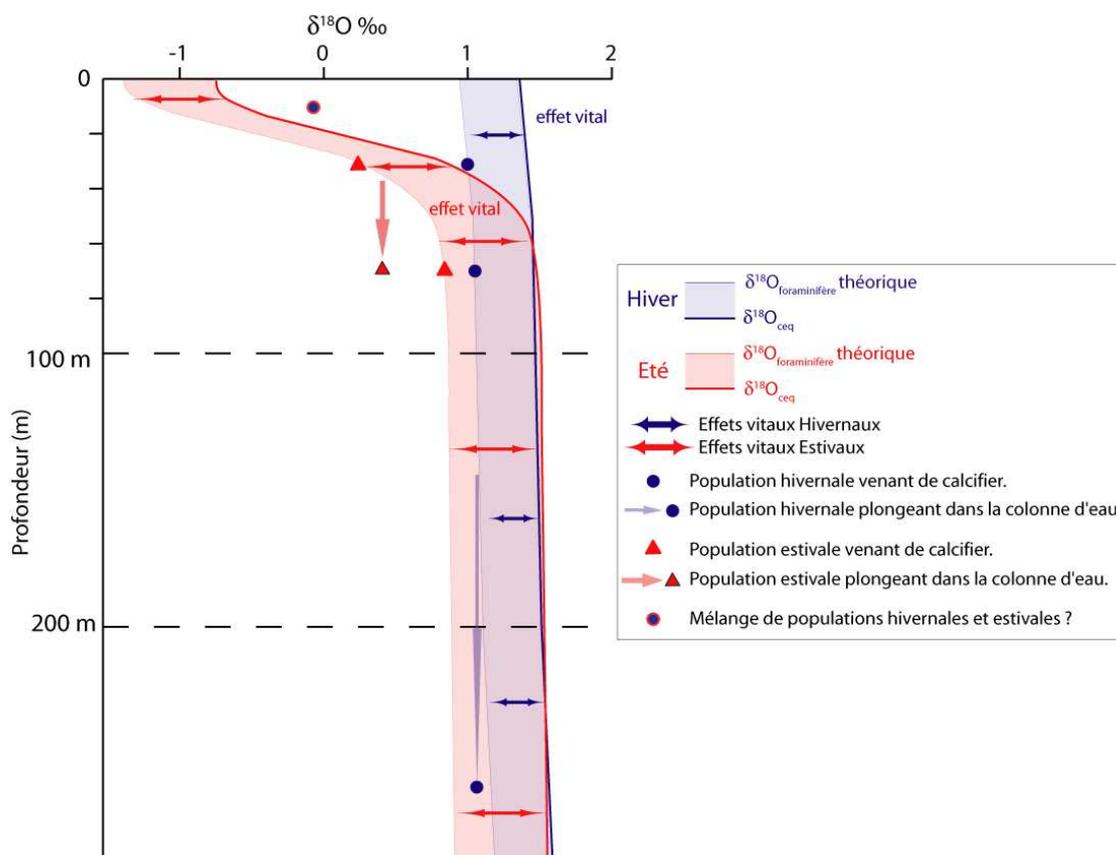


Figure VII-13 : Schéma conceptuel de l'interprétation de nos données isotopiques en termes de profondeur de calcification et déplacement des individus, en condition estivale en bleu et en condition hivernale en rouge. Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ théoriques de calcification des foraminifères ($\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ théorique) prennent en compte les « effets vitaux » proposés dans ce chapitre.

Si la mesure se situe sur la courbe théorique de calcification, la calcification aurait eu lieu à la profondeur à laquelle les tests ont été capturés. Si la mesure est au dessous de la courbe théorique, c'est-à-dire un $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ plus léger que le $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ théorique (Figure VII-13), la calcification aurait eu lieu à des profondeurs subjacentes et les individus auraient coulés dans la colonne d'eau d'une distance égale à l'écart entre la courbe théorique et leur position de capture. La longueur en mètre de la chute pourrait donner des indices sur la longueur en temps de la chute si la courantologie du site d'étude était parfaitement connue, ainsi que leur vélocité. Si le rapport isotopique est plus lourd que le rapport isotopique de la calcite à l'équilibre, on peut avancer plusieurs hypothèses : 1) une migration ascendante active des individus (ce qui n'est pas prouvé chez les foraminifères planctoniques), sans calcification de nouvelles loges ; 2) un transport par courant ascendant dans la couche de mélange épaissit par exemple, par un événement de tempête ayant brassé et ramené en surface des eaux de profondeur ; 3) un mélange de différentes générations d'individus avec une population nouvelle en équilibre avec les conditions de Juin, mélangée à une population plus ancienne ayant calcifié antérieurement, mais il faut alors expliquer pourquoi les formes vieilles n'ont pas migré vers les profondeurs.

La situation où le $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ est plus lourd en oxygène que la courbe théorique de profondeur de calcification, est retrouvée pour *G. bulloides* et *N. pachyderma* dextre, capturés en Juin, entre la surface et 40 m de profondeur. Entre 0 et 20 m, seulement en Station A, ces $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ sont même plus lourds que les $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$. L'hypothèse de déplacement actif des foraminifères étant incertaine, celle de mélange mécanique des eaux impliquerait un brassage des 40 premiers mètres de la colonne d'eau, plus intense en Station A. Mais la stratification thermique est bien installée en Juin 2006, lors de l'échantillonnage, et, à notre connaissance, aucune forte tempête ne s'est abattue sur le fond du Golfe de Gascogne à cette époque. Il nous reste la dernière hypothèse de mélange de génération, qui suppose qu'une relique de la population de printemps, très abondante en surface (chapitre III), soit mélangée avec une jeune population estivale. Néanmoins, on peut se demander pourquoi les spécimens vieux n'auraient pas calcifié de nouvelles loges depuis, qui auraient remis en équilibre leurs compositions isotopiques et comment ils auraient pu être maintenus dans les couches de surface sans plonger vers le fond.

La situation où les $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$ de *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et de façon plus manifeste, *G. inflata*, (toutes tailles confondues), sont plus légers en oxygène que la courbe théorique de calcification, est retrouvée en Juin, entre 40 et 100 m de profondeur (Figure VII-14). On peut supposer que ces populations aient calcifié plus en surface, dans des températures plus élevées que les températures moyennes ambiantes de leur profondeurs d'échantillonnage. Leurs courbes d'abondance confirment que ces populations auraient calcifier au niveau du pic de chlorophylle-*a* vers 40 m de profondeur, où leurs $\Delta\delta^{18}\text{O}$ à cette profondeur, sont équivalents à « l'écart vital ». Elles se seraient ensuite enfoncées dans la colonne d'eau jusqu'au moment de leur capture. Donc depuis la zone de maximum de chlorophylle-*a*, on peut imaginer une pluie d'organismes marqués par leur profondeur de production.

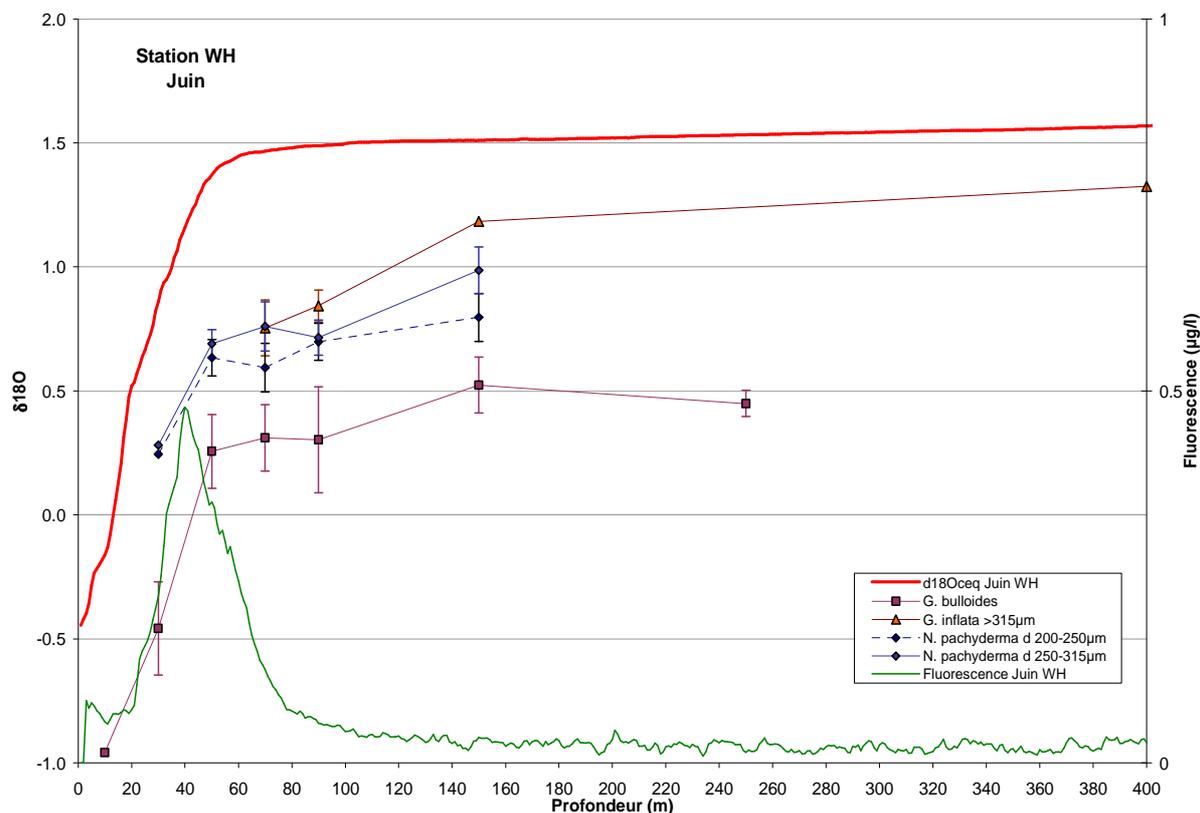


Figure VII-14 : Données isotopiques de *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* en Juin, à la Station WH, superposées au profil de fluorescence et du $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite à l'équilibre.

8. Croissance et durée de vie des foraminifères planctoniques

La durée de vie de ces organismes unicellulaire est la clef pour la compréhension de leur écologie et la valeur de l'information isotopique portée par leurs tests. Des observations en milieu de culture ont pu être mises en place, afin de mieux comprendre leur croissance ainsi que leur temps de « survie » (e.g. Bé et al., 1977 ; Bé et al., 1979 ; Bé et Spero, 1981 ; Bé et al., 1981 ; Bé et al., 1982 ; Caron et al., 1987 ; Bijma et al., 1990a ; Bijma et al., 1992 ; Spero et Lea, 1996 ; Bemis et al., 1998 ; Lombard et al., 2009). A notre connaissance, aucune reproduction n'a été observée dans des conditions de culture et aucune étude n'a pu être encore effectuée sur leur longévité. Bé et al. (1979) observent la formation d'une nouvelle chambre pour les espèces non épineuses *G. truncatulinoides* et *G. hirsuta* en 5 à 6 heures. Spero et Lea (1996) proposent pour *G. bulloides* un taux de croissance de 1,3 à 2,4 chambres par jour. Ce qui nécessiterait donc moins de treize jours pour atteindre les treize chambres portées par des spécimens adultes (Spero et Lea, 1996 ; Bemis et al., 1998) avec un taux de croissance constant. Le cycle de reproduction de *G. bulloides* est considéré comme lunaire (e.g. Schiebel et al., 1997). Cette rapide croissance de *G. bulloides* lui permettrait d'enregistrer dans leurs tests des conditions hydrologiques ponctuelles. De plus, nous avons observé en Mars 2008 une forte réactivité des foraminifères planctoniques face à l'évènement d'une tempête amenant à l'avènement très rapide d'une nouvelle génération de foraminifères (< 4 jours-Chapitre VI).

Entre Mars et Juin, les populations de *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* s'enfoncent dans la colonne d'eau jusqu'à la base de la thermocline (~50 m), en suivant les maxima de concentration en chlorophylle-*a* (Chapitre III). En Juin, les tailles des ces trois espèces sont plus importantes qu'au printemps, pouvant révéler que ces populations soient plus âgées et auraient récemment calcifié leurs dernières loges. On peut se demander si ces spécimens de Mars, Avril et Juin sont de la même génération, c'est-à-dire ont une durée de vie supérieure à 3 mois, ou s'il s'agit de générations différentes.

Les populations observées en Juin montrent des compositions isotopiques plus faibles qu'au printemps, surtout au dessus de 40 m. Ils auraient donc calcifié leurs tests dans des eaux aux compositions légères en oxygène.

Si on considère que les spécimens retrouvés en Juin sont des générations récentes et ultérieures à Avril (paragraphe précédent), on peut suggérer qu'un foraminifère construit son

test en quelques jours, corroborant les taux de croissance rapide mesurés en culture et les observations *in situ* (e.g. Spero et Lea, 1996 ; Schiebel et al., 1997).

La génération d'Avril aurait profité du bloom printanier et atteint rapidement sa taille maximale, et n'aurait pas construit de nouvelles loges ultérieurement. En Juin, une nouvelle génération s'est développée, aux tailles plus importantes que la précédente, en liaison avec un maximum de chlorophylle plus profond.

9. Conclusion

La stratégie d'échantillonnage se voulait de couvrir différentes conditions hydrologiques et donc saisonnières, néanmoins, la disponibilité des bateaux océanographiques ainsi que les aléas météorologiques ne nous ont malheureusement pas permis de recouvrir les saisons d'une seule et même année. Nous avons donc été contraints à décrire les données suivant un ordre saisonnier et non suivant l'ordre chronologique des missions océanographiques.

Les valeurs isotopiques des foraminifères planctoniques vivants sont plus légères que les rapports isotopiques de la calcite à l'équilibre, en prenant en référence l'équation de calibration de Shackleton (1974). Si nous avons utilisé l'équation de Kim et O'Neil (1997), montrant des rapports isotopiques de la calcite inorganique plus faibles, seule l'espèce *G. bulloides* aurait montré des rapports isotopiques plus faibles que les valeurs théoriques, seule espèce sur les trois portant des épines. Lončarić et al. (2005) observaient de mêmes déviations pour les espèces *G. ruber* et *G. trilobus*, seules espèces portant des épines dans leur étude.

Du fait de leurs « effets vitaux », des déplacements verticaux et de la « mémoire » isotopique de leurs tests, les profondeurs de calcifications sont difficiles à estimer. En revanche, nous avons remarqué des profondeurs auxquelles les écarts avec la calcite à l'équilibre augmentaient alors que les valeurs isotopiques étaient similaires aux profondeurs subjacentes, montrant un déséquilibre des foraminifères ou une profondeur limite de calcification des spécimens.

Les différences isotopiques entre les trois différentes périodes ont démontré que les foraminifères observés en Juin ne pouvaient pas être de la même génération que celles observées en Mars ou Avril. Les rapports isotopiques de l'oxygène observés en Juin sont

manifestement plus faibles que ceux mesurés en Mars et Avril. Dans le chapitre sur l'écologie des foraminifères planctoniques (Chapitre III), nous constatons une plongé des foraminifères planctoniques de Mars à Juin, laissant supposer qu'il pouvait s'agir de la même population. Grâce aux données isotopiques, nous avons remarqué que les spécimens de Juin ne seraient pas de la même génération que celles d'Avril ou Mars. Il y a donc une à plusieurs reproductions au cours des saisons, suivant spatialement et quantitativement, les concentrations de production primaire.

Les différences isotopiques entre les différentes espèces de surface et profondes peuvent informer sur la stratification des eaux. Néanmoins, ces analyses sont compliquées par le fait que la profondeur de calcification de la plupart des espèces n'est pas restreinte à une profondeur stricte. Les migrations verticales liées à leur écologie et aux facteurs hydrologiques peuvent faire varier les compositions isotopiques des tests. Il est donc nécessaire de continuer ce genre d'analyse sur les foraminifères planctoniques au sein de la colonne d'eau et de faire de plus amples expériences en culture afin de mieux estimer leur durée de vie et leurs niveaux de calcification, permettant à terme d'avoir des proxies plus performants de reconstitution des masses d'eaux et de leurs stratifications.

De nombreuses *G. scitula* ont été échantillonnées en Juin, à des profondeurs plus importantes que *G. inflata*, il serait donc intéressant de faire des analyses isotopiques sur celles-ci et d'ainsi comparer leurs valeurs isotopiques à celles de *G. bulloides*, semblant calcifier plus en surface que *N. pachyderma* dextre ou *G. inflata*.

Il semble essentiel aussi d'améliorer nos connaissances sur les effets vitaux spécifiques, en élevant *in vitro* les organismes, comme cela commence à être fait pour les foraminifères benthiques (Barras et al., 2009).

CONCLUSION GENERALE

Il est généralement admis que les foraminifères planctoniques ne sont pas présents, ou en faibles quantités dans les environnements marginaux côtiers. Les 6 stations étudiées au cours des 5 missions océanographiques, réparties le long d'un transect bathymétrique (2000 m à <200 m de profondeur) révèlent une production de foraminifères planctoniques dans les eaux peu profondes du Sud Est du Golfe de Gascogne.

Les plus grandes concentrations de foraminifères planctoniques vivants (>100 μm) sont observées en Avril, dans des conditions de bloom printanier du phytoplancton, avec un maximum de 205 sp.m^{-3} dans les 20 premiers mètres de la Station WH. Les plus faibles concentrations sont observées en Juillet. Les concentrations décroissent vers la côte en Mars, Avril et Juin, semblant suivre la disponibilité en nourriture, représentée par les concentrations en chlorophylle-*a* dans les eaux de surface.

Mais les apports saisonniers de nutriments par les fleuves Gironde et Adour, ainsi que l'influence hydrologique du canyon sous marin de Cap Breton contrarient occasionnellement ce gradient de décroissance large-côte. En effet, en Novembre, les concentrations en foraminifères planctoniques sont de 3 à 44 fois plus importantes aux stations côtières (D, K et FP15) qu'au large. En Juillet, bien que les concentrations moyennes soient très faibles, ce sont les trois stations les plus côtières qui concentrent le plus de foraminifères planctoniques jusqu'à 15 sp.m^{-3} en surface à la Station FP15.

Il est difficile de découpler pour les stations proches de la côte, l'influence du panache du fleuve à celle du canyon sous marin. Le canyon, par sa configuration pourrait entraîner, par le biais d'ondes internes, des remontées de nutriments vers la surface et donc provoquer la production de phytoplanctons dans les eaux côtières.

En effet, au cours des cinq périodes d'échantillonnages, différentes réactions des foraminifères planctoniques se manifestent dans les niveaux influencés par des dessalures. Ces différentes réponses variant entre les saisons, laissent à penser que les faibles salinités provenant du panache de l'Adour ne sont pas le facteur contrôlant leur distribution, mais qu'il s'agirait d'un facteur covariant à la salinité, telle que la turbidité. Fluctuant au cours des cycles érosifs saisonniers, la turbidité semble être un des facteurs influant sur la distribution verticale et la taille des foraminifères :

- 1) Les décharges turbides printanières des fleuves en crue (Mars, Avril), entraineraient une fuite des foraminifères planctoniques des niveaux influencés vers les niveaux

sous-jacents. Les débits fluviaux étant forts, cet impact peut se ressentir loin des côtes (Stations WH et A) **2)** Les décharges estivales (Juin, Juillet), faiblement turbides et contenant des nutriments, se déversent dans des eaux côtières stratifiées et relativement pauvres en nutriments, peuvent réenclencher, par le biais de floraisons sporadique de phytoplancton, la production de foraminifères planctoniques. **3)** En automne (Novembre), les eaux continentales, faiblement turbides, se déchargent dans des eaux marines bien mélangées. Les eaux s'enrichissent en chlorophylle-*a*. Les foraminifères planctoniques ne semblent pas affectés par les dessalures associées et se développent en montrant de très grandes concentrations. Toutefois, dans cette dernière réaction, on peut aussi supposer une influence du canyon sous marin de Cap Breton pour expliquer les abondances des foraminifères planctoniques.

L'analyse des tailles nous informe que les plus grands spécimens furent trouvés en Juin 2006 à toutes les stations, pour chacune des espèces majeures, alors que les températures de surface étaient d'environ 21°C. La température est souvent considérée comme l'un des facteurs majeurs influençant la taille et la croissance des foraminifères planctoniques. Mais les foraminifères planctoniques retrouvés à cette période ne sont que peu présents en surface et sont essentiellement concentrés à la base de la thermocline, où les températures ont été mesurées entre 11 et 15°C, températures équivalentes aux périodes printanières. La température ne semble donc pas être le facteur majeur contrôlant les tailles de foraminifères planctoniques, comme le supposait la littérature.

En Avril et Juin, de plus larges tailles de spécimens de *G. bulloides*, *T. quinqueloba*, *G. glutinata*, *G. calida* et *G. inflata* ont été observées en Station D, sous influences continentales. Une analyse statistique nous confirme que la relation entre la taille des spécimens de *G. bulloides* et la salinité sont anticorrélées.

Les augmentations des tailles moyennes des individus, observés dans les zones sous influence continentale et en Juin, nous font supposer que les foraminifères planctoniques seraient capables de moduler la durée de leur cycle de reproduction en contexte stressant, comme des périodes de faible concentration en nourriture, forte turbidité et/ou faible salinité, pour attendre des conditions meilleures pour se reproduire. Cette réaction prive la population de formes juvéniles et en fait augmenter la taille moyenne.

Divers assemblages spécifiques se succèdent au cours des saisons, liés aux variations hydrologiques saisonnières des moyennes latitudes, telles que la mise en place de la thermocline estivale et les variations de concentrations en nutriments.

La faune hivernale est constituée en abondance d'espèces du genre *Globorotalia*, telles que *G. inflata* et *G. scitula* en grande abondance et quelques *G. hirsuta* et *G. truncatulinoides*, ainsi que de *N. pachyderma* dextre et *G. glutinata*.

Elles sont progressivement remplacées, lors des blooms phytoplanctoniques printaniers, par de fortes densités d'espèces de plus petite taille, telles que *T. quinqueloba*, *G. uvula* et *G. glutinata* (restant abondante à cette période). Les espèces *G. bulloides* et *N. pachyderma* dextre sont aussi abondantes. Le brusque développement printanier du phytoplancton entraîne des changements importants dans le réseau trophique, induisant une adaptation rapide du zooplancton face à ces profusions. L'abondance d'espèces de petite taille, telles que *T. quinqueloba*, *G. uvula* et *G. glutinata*, qui pourraient avoir un comportement opportuniste, indiquerait une adaptation à ces changements et pourrait caractériser cet événement saisonnier du bloom printanier.

Par conséquent, les fortes densités de ces espèces peuvent être considérées comme un témoignage du bloom phytoplanctonique printanier dans le Golfe de Gascogne, ou d'un environnement riche en nourriture, dans des eaux fraîches, non stratifiées.

Avec la mise en place de la thermocline, ces espèces sont progressivement remplacées en surface par des espèces d'eaux plus chaudes et moins riches en nutriments telles que *O. universa* et *G. trilobus* et en profondeur par des spécimens de *G. scitula* et *H. pelagica*, peut être plus adaptés à se nourrir de matière organique peu labile ou dégradée.

En conditions de fin d'automne, *G. calida* domine dans les assemblages côtiers, pouvant être liée au foisonnement de dinoflagellés induit par des apports de nutriments provenant du canyon sous marin ou des panaches des rivières. L'abondance de spécimens de *G. calida* pourrait être alors indicateur de blooms automnaux dans le Golfe de Gascogne.

Les profondeurs de vie des foraminifères planctoniques diffèrent entre les espèces et varient entre les saisons. De l'hiver à l'été, les espèces plongent dans des eaux plus profondes, suivant l'implémentation de la thermocline estivale. Les espèces du genre *Globorotalia* montrent les plus grandes variations de profondeur de vie. Une distribution des profondeurs moyennes de vie des espèces principales au cours des différentes saisons est proposée dans le chapitre III (Tableau III-5).

Les rapports isotopiques des $\delta^{18}\text{O}_{\text{foraminifère}}$, mesurés sur *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata*, en Mars, Avril et Juin, informent sur les mouvements verticaux de ces spécimens. En Juin, entre 40 et 100 m, les rapports isotopiques de *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* sont plus légers en oxygène que la courbe théorique de calcification. On peut supposer que ces populations aient calcifié plus en surface, dans des températures plus élevées que les températures moyennes ambiantes de leur profondeur d'échantillonnage. Leurs courbes d'abondance confirment que ces populations auraient calcifié au niveau du pic de chlorophylle-*a*, vers 40 m de profondeur, et se seraient ensuite enfoncées dans la colonne d'eau jusqu'au moment de leur capture.

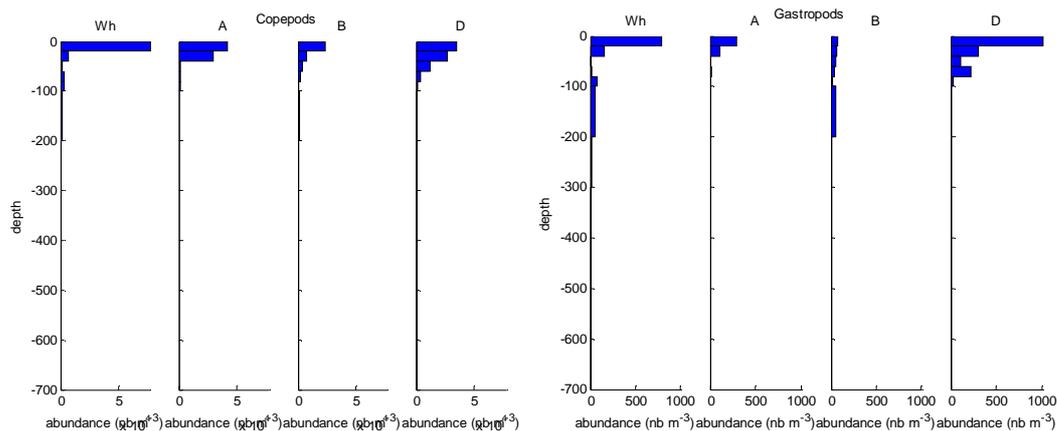
La durée de vie de ces organismes unicellulaires est la clef pour la compréhension de leur écologie et la valeur de l'information isotopique portée par leurs tests. Les compositions isotopiques des populations de *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata* observées en Juin montrent des valeurs plus faibles qu'au printemps, surtout au dessus de 40 m. Ces populations auraient donc calcifié leurs tests dans des eaux plus chaudes aux compositions légères en oxygène. Par conséquent, ces foraminifères ont construit leurs tests en fin de printemps, plusieurs mois après les principaux blooms printaniers. Ce qui suggère qu'ils peuvent former leur test dans une période très courte (quelques jours/semaines). Ces données corroborent les taux de croissance rapide mesurés en culture et nos observations *in situ* : après une tempête, en Mars 2008, la quantité de foraminifères planctoniques est multipliée par 4 par rapport à l'échantillonnage avant la tempête, révélant une forte réactivité des foraminifères planctoniques. Les foraminifères sont donc capables d'avoir une production rapide lorsque de la nourriture fraîche est mise à leur disposition. Ceci corrobore la thèse que les foraminifères planctoniques sont fortement assujettis à la qualité des nutriments. Néanmoins, l'augmentation du nombre d'individus ne se répartit pas de façon homogène au sein des espèces. Les facteurs déclenchant la reproduction et la croissance varieraient selon les espèces.

PERSPECTIVES

Cette thèse, effectuée dans le contexte du projet ANR FORCLIM, avait pour vocation d'apporter de plus amples informations sur l'écologie des foraminifères planctoniques actuels dans le Golfe de Gascogne, à partir de prélèvements par filet à plancton, afin d'aider à une meilleure reconstitution des paléoclimats et paléoenvironnements. Les observations apportées par cette étude soulèvent encore de nombreuses questions, telles que la position des foraminifères planctoniques dans le réseau trophique marin, les paramètres influençant leur distribution en milieu côtier, leur durée de vie, leurs profondeurs de calcifications, leurs flux vers les fonds marins ou les processus taphonomiques.

Au cours de nos 5 missions océanographiques n'ont pu recouvrir une réelle succession saisonnière à cause des disponibilités des bateaux océanographiques, à des problèmes techniques et aux aléas météorologiques. De plus, trois missions PECH ont été annulées (Février 2007, Août 2007, Octobre-Novembre 2008). Il serait donc idéal, dans la continuité de ce projet, d'effectuer une réelle succession saisonnière, afin de mieux contraindre les variations interannuelles.

Dans la suite du projet ANR FORCLIM, une étude poussée des assemblages phytoplanctoniques et zooplanctoniques basée sur les résidus des échantillons des piquages de foraminifères planctoniques provenant des filets à plancton, préservés dans l'alcool, aiderait à la compréhension des interactions entre les différents groupes. Des comptages et reconnaissances automatiques du zooplancton (appendiculaires, copépodes, ceratium, gastéropodes, ostracodes et chaetognathes) ont été effectués à l'Observatoire Océanographique de Villefranche-sur-mer avec le ZOOSCAN[®] par Fabien Lombard pour les missions PECH 1 et PECH 3. Afin de comparer ces abondances aux foraminifères planctoniques, il paraît important de continuer cette analyse pour les autres missions.



Exemple de comptage de copépodes et gastéropodes avec le ZOOSCAN[®] à l'Observatoire Océanographique de Villefranche-sur-mer par Fabien Lombard pour la mission PECH 3, aux Stations WH, A, B et D, en nombre d'individus par mètre cube (gastéropodes), en nombre d'individus par mètre cube 10⁴ (copépodes).

Un suivi très pointu des populations de foraminifères planctoniques pendant un bloom de printemps a été réalisé du 1^{er} au 20 Avril 2009 au large du Golfe de Gascogne, au cours de la mission FORCLIM 7, avec le bateau du CSIC « Sarmiento de Gamboa ». Des prélèvements de filets à plancton, carottes multitubes, CTD et d'eau (filtrations pour analyses de la chlorophylle (composition) et productivité), permettront à terme de mieux caractériser les répartitions du phytoplancton, des foraminifères planctoniques et leurs interactions, ainsi qu'avec les conditions hydrologiques.

Influence côtières

Au cours des différentes stations et saisons, nous avons pu identifier des influences continentales, mais nous n'avons pu distinguer pour les stations proches de la côte, l'influence du panache du fleuve à celle du canyon.

De plus larges études, dans une zone sans influence de canyon sous marin, doivent donc être envisagées, encadrant le panache d'un fleuve et ce sur plusieurs saisons. Afin de mieux comprendre les paramètres influençant la distribution des foraminifères planctoniques, il serait nécessaire d'équiper la CTD d'une sonde mesurant la turbidité (transmissiomètre), qui semble être un des paramètres influençant leur répartition et de travailler en collaboration avec des équipes étudiant les flux de matière en suspension et la qualité des eaux fluviales à l'embouchure.

Il serait aussi intéressant de faire des prélèvements saisonniers le long du canyon de Cap Breton tout en restant éloigné de l'influence de fleuves espagnols, afin de mieux comprendre

son hydrologie et son interaction avec la faune des foraminifères planctoniques. Ceci nécessiterait un projet en partenariat avec des océanographes physiciens et biologistes.

Durée de vie

La connaissance de la durée de vie de chacune des espèces de foraminifères planctoniques est l'une des clefs pour comprendre leur écologie et mieux interpréter leurs données d'assemblages et isotopiques dans les sédiments.

Bien que des expérimentations de culture en laboratoires aient jusqu'à présent échoué à l'obtention d'une nouvelle génération de foraminifères planctoniques, ce type d'études en laboratoire doit être encouragé, car c'est le seul moyen de contraindre plusieurs paramètres et de mieux comprendre le comportement des différentes espèces de foraminifères, leur durée de vie, et non de survie, et donc leur écologie.

Au cours des 5 missions océanographiques, des prélèvements d'eau ont été effectués pour des analyses isotopiques de l'oxygène et du carbone de l'eau. Ces données, en cours de traitement, permettront de mieux définir leurs « effets vitaux » et de mieux caractériser leurs profondeurs de calcification dans les compositions isotopiques réelles de la colonne d'eau.

Flux

Afin de progresser dans la connaissance des variations interannuelles et saisonnières des flux et des enregistrements isotopiques des foraminifères planctoniques, deux pièges à sédiments ont été déployés sur le Plateau des Landes, en Station WH, l'un à 800 m, l'autre à 1700 m de profondeur. Ces pièges ont été programmés pour obtenir un échantillonnage tous les 5 à 12 jours pendant 2 ans, entre Juin 2006 et Juillet 2008.

Les premiers résultats de l'étude de ces échantillons (Kuhnt et al., 2009) confirment que la période du printemps est le moment de flux maximum, mais qu'il y a une deuxième période de flux abondant, décembre, que nous ne pouvons pas voir dans notre étude, à cause de l'absence d'échantillonnage en décembre.

Une comparaison plus précise entre les faunes des pièges, des filets à plancton s'impose. Ainsi qu'une étude des faunes conservées dans les sédiments océaniques, qui révélera la part du signal enregistrée. Ces analyses permettront de rendre plus performant les outils de reconstitution paléocéanographique basés sur les assemblages des faunes.

De plus, la comparaison des rapports isotopiques des filets à plancton, des pièges et des sédiments permettront d'appréhender les processus opérant au cours de la chute des spécimens, des processus taphonomiques, ou de la diagenèse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adshear, P.C., 1967. Collection and laboratory maintenance of living planktonic foraminifera. *Micropaleontology* 13, 32-40.
- Albaina, A. and Irigoien, X., 2007. Fine scale zooplankton distribution in the Bay of Biscay in spring 2004. *Journal of Plankton Research* 29 (10), 851-870.
- Anderson, O.R. and Bé, A.W.H., 1976. The ultrastructure of a planktonic foraminifer, *Globigerinoides sacculifer* (Brady), and its symbiotic dinoflagellates. *Journal of Foraminiferal Research* 6 (1), 1-21.
- Anderson, O.R., Spindler, M., Bé, A.W.H. and Hemleben, C., 1979. Trophic activity of planktonic foraminifera. *Journal of Marine Biology Association United Kingdom* 59 (3), 791-799.
- Arnold, A.J. and Parker, W.C., 1999. Biogeography of planktonic Foraminifera. In: Gupta, B.K.S. (Editor), *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Great Britain, pp. 103-122.
- Auras-Schudnagies, A., Kroon, D., Ganssen, G., Hemleben, C. and van Hinte, J.E., 1989. Distributional pattern of planktonic foraminifera and pteropods in surface waters and top core sediments of the Red Sea, and adjacent areas controlled by the monsoonal and other ecological factors. *Deep Sea Research I* 36 (10), 1515-1533.
- Bandy, O.L., Ingles, J.C. and Resig, J.M., 1965. Foraminiferal trends, Hyperion outfall, California. *Limnology and Oceanography* 10, 314-332.
- Barker, S. and Elderfield, H., 2002. Foraminiferal Calcification Response to Glacial-Interglacial Changes in Atmospheric CO₂. *Science* 297 (5582), 833-836.
- Barker, S., Diz, P., Vautravers, M.J., Pike, J., Knorr, G., Hall, I.R. and Broecker, W.S., 2009. Interhemispheric Atlantic seesaw response during the last deglaciation. *Nature* 457, 1097-1102.
- Barras, C., Geslin, E., Duplessy, J.-C. and Jorissen, F.J., 2009. Reproduction and growth of the deep-sea benthic foraminifer *Bullimina marginata* under different laboratory conditions. *Journal of Foraminiferal Research* 39 (3), 155-165.
- Barthe, X. and Castaing, P., 1989. Theoretical study of the action of tidal currents and swell on the sediments of the continental shelf of the Bay of Biscay. *Oceanologica Acta* 12 (4), 325-334.
- Bé, A.W., 1960. Ecology of recent planktonic foraminifera. Part 2. Bathymetric and seasonal distributions in the Sargasso Sea off Bermuda. *Micropaleontology* 6 (4), 373-392.
- Bé, A.W., 1977. An Ecological, Zoogeographic and Taxonomic Review of Recent Planktonic Foraminifera. In: Ramsay, A.T.S. (Editor), *Oceanic Micropaleontology*. Academic Press, London, New York, San Francisco, pp. 733-808.
- Bé, A.W.H., 1980. Gametogenic calcification in a spinose planktonic foraminifer, *Globigerinoides sacculifer* (BRADY). *Marine Micropaleontology* 5, 283-310.
- Bé, A.W.H., 1982. Biology of Planktonic Foraminifera. *Foraminifera : Notes for a short Course* 6, 51-92.
- Bé, A.W.H. and Ericson, D.B., 1963. Aspects of calcification in planktonic foraminifera; Comparative Biology of Calcified Tissues. *NY Academy of Sciences, Ann.* 109, 65-81.
- Bé, A.W.H. and Hamlin, W.H., 1967. Ecology of recent planktonic foraminifera - part 3 - distribution in the North Atlantic during the summer of 1962. *Micropaleontology* 13 (1), 87-106.
- Bé, A.W.H. and Hutson, W.H., 1977. Ecology of planktonic foraminifera and biogeographic patterns of life and fossil assemblages in the Indian Ocean. *Micropaleontology* 23 (4), 369-414.
- Bé, A.W.H. and Spero, H.J., 1981. Shell regeneration and biological recovery of planktonic foraminifera after physical injury induced in laboratory culture. *Micropaleontology* 27 (3), 305-316.
- Bé, A.W., and Tolderlund, D.S., 1971. Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans. Cambridge University Press, London, 105-149 pp.
- Bé, A.W., Caron, D.A. and Anderson, O.R., 1981. Effects of feeding frequency on life processes of the planktonic foraminifer *Globigerinoides sacculifer* in laboratory culture. *Journal of marine Biology Association U.K.* 61, 257-277.
- Bé, A.W.H., Harrison, S.M. and Lott, L., 1973. *Orbulina universa* d'Orbigny in the Indian Ocean. *Micropaleontology* 19 (2), 150-192.
- Bé, A.W.H., Spero, H.J. and Anderson, O.R., 1982. Effects of symbiont elimination and reinfection on the life processes of planktonic foraminifer *Globigerinoides sacculifer*. *Marine Biology* 70, 73-86.

- Bé, A.W.H., Bishop, J.K.B., Sverdløve, M.S. and Gardner, W.D., 1985. Standing stock, vertical distribution and flux of planktonic foraminifera in the Panama Basin. *Marine Micropaleontology* 9 (4), 307-333.
- Bé, A.W., Hemleben, C., Anderson, O.R. and Spindler, M., 1979. Chamber formation in planktonic foraminifera. *Micropaleontology* 25 (3), 294-307.
- Bé, A.W., Hemleben, C., Anderson, O.R., Spindler, M., Hacunda, J. and Tuntivate-Choy, S., 1977. Laboratory and field observations of living planktonic foraminifera. *Micropaleontology* 23 (2), 155-179.
- Beaufort, L. and Heussner, S., 1999. Coccolithophorids on the continental slope of the Bay of Biscay - production, transport and contribution to mass fluxes. *Deep Sea Research II* 46, 2147-2174.
- Beaufort, L. and Heussner, S., 2001. Seasonal dynamics of calcareous nannoplankton on a West European continental margin: the Bay of Biscay. *Marine Micropaleontology* 43 (1-2), 27-55.
- Bemis, B.E., Spero, H.J., Bijma, J. and Lea, D.W., 1998. Reevaluation of the oxygen isotopic composition of planktonic foraminifera: Experimental results and revised paleotemperature equations. *Paleoceanography* 13 (2), 150-160.
- Bemis, B.E., Spero, H.J., W., D.L. and Bijma, J., 2000. Temperature influence on the carbon isotopic composition of *Globigerina bulloides* and *Orbulina universa* (planktonic foraminifera). *Marine Micropaleontology* 38, 213-228.
- Berger, W.H. and Piper, D.J.W., 1971. Planktonic foraminifera: differential settling, dissolution, and redeposition. *Limnology and Oceanography* 17, 275-287.
- Berger, W.H. and Soutar, A., 1967. Planktonic foraminifera: Field experiment on production rate. *Science* 156, 1495-1497.
- Berger, W.H., 1969. Ecologic patterns of living planktonic foraminifera. *Deep Sea Research and Oceanography Abstracts* 16, 31-43.
- Berger, W.H., 1970. Planktonic foraminifera: differential production and expatriation off Baja California. *Limnology and Oceanography* 15, 183-204.
- Berger, W.H., 1971. Sedimentation of planktonic foraminifera. *Marine Geology* 11, 325-358.
- Berger, W.H., Bonneau, M.-C. and Parker, F.L., 1982. Foraminifera on the deep-sea floor: lysocline and dissolution rate. *Oceanologica Acta* 5, 249-258.
- Bernhard, J.M., 1988. Postmortem vital staining in benthic foraminifera: Duration and importance in population and distributional studies. *Journal of Foraminiferal Research* 18, 143-146.
- Bernhard, J.M., 2000. Distinguishing live from dead foraminifera: Methods review and proper applications. *Micropaleontology* 46 Supplement 1, 38-46.
- Bijma, J. and Hemleben, C., 1994. Population dynamics of the planktic foraminifer *Globigerinoides sacculifer* (Brady) from the central Red Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 41 (3), 485-510.
- Bijma, J., Jr, W.W.F. and Hemleben, C., 1990a. Temperature and salinity limits for growth and survival of some planktonic foraminifera in laboratory cultures. *Journal of Foraminiferal Research* 20 (2), 95-116.
- Bijma, J., Erez, W.W. and Hemleben, C., 1990b. Lunar and semi-lunar reproductive cycles in some spinose planktonic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research* 20 (2), 117-127.
- Bijma, J., Spero, H.J. and Lea, D., 1999. Reassessing Foraminiferal Stable Isotope Geochemistry: Impact of the Oceanic Carbonate System (Experimental Results). In: Fischer, G. and Wefer, G. (Editors), *Use of Proxies in Paleoclimatology: Examples from the South Atlantic*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 489-512.
- Billups, K. and Spero, H.J., 1995. Relationship between shell size, thickness and stable isotopes in individual planktonic foraminifera from two equatorial Atlantic cores. *Journal of Foraminiferal Research* 25, 24-37.
- Bode, A., Varela, M., Casas, B. and Gonzales, N., 2002. Intrusions of eastern North Atlantic central waters and phytoplankton in the north and northwestern Iberian shelf during spring. *Journal of Marine Systems* 36, 197-218.
- Boillot, G., 1979. Géologie des marges continentales. Masson, 139 pp.
- Boltovskoy, D., 1994. The sedimentary record of pelagic biogeography. *Progress in Oceanography* 34, 135-160.
- Boltovskoy, E., 1964. Seasonal occurrences of some living foraminifera in Puerto Deseado' (Patagonia, Argentina). *Jour. Cons. Perm. Iner. Explor. Mer.* 29, 136-145.
- Boltovskoy, E., 1968. Living planktonic foraminifera of the eastern part of the tropical Atlantic. *Revue de Micropaléontologie* 11 (2), 85-98.

- Boltovskoy, E., 1970. Masas de agua (característica, distribución, movimientos) en la superficie del Atlántico sudoeste, según indicadores biológicos. *Foraminiferos: Serv. Hidrogr. Nav., Argentina* H (643), 1-99.
- Boltovskoy, E., 1976. Distribution of Recent foraminifera of the South American region. In: Hedley, R.H. and Adams, G.C. (Editors). Academic Press, London, pp. 171-236.
- Boltovskoy, E. and Wright, R., 1976. Recent foraminifera. In: Junk, W. (Editor), The Hague.
- Boltovskoy, E., Boltovskoy, D. and Brandini, F., 2000. Planktonic Foraminifera from southwestern Atlantic epipelagic waters: abundance, distribution and year-to-year variations. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 80, 203-213.
- BouDagher-Fadel, M.K., Banner, F.T. and Whittaker, J.E., 1997. The Early Evolutionary History of Planktonic Foraminifera. London New York, 269 pp.
- Bougis, P., 1974. Ecologie du plancton marin II. Le zooplancton. Masson et cie, 200 pp.
- Bouvier-Soumagnac, Y. and Duplessy, J.-C., 1985. Carbon and oxygen isotopic composition of planktonic foraminifera from laboratory culture, plankton tows and recent sediment: Implications for the reconstruction of paleoclimatic conditions and of the global carbon cycle. *Journal of Foraminiferal Research* 15 (4), 302-320.
- Bradshaw, J.S., 1959. Ecology of living planktonic foraminifera in the North and Equatorial Pacific Ocean. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research Contributions* 10, 25-64.
- Brady, H.B., 1884. Report on the Foraminifera dredged by H.M.S. Challenger, during the years 1873-1876 in *Report on the Scientific Results of the Voyage of H.S.M. Challenger during the years 1873-1876*, Zoology. Neill and Company, Edinburg, pp. 1-814.
- Brummer, G.-J.A. and Kroon, D., 1988. Planktonic foraminifers as tracers of ocean-climate history : Ontogeny, relationships and preservation of modern species and stable isotopes, phenotypes and assemblage distribution in different water masses.
- Brunet, R.-C. and Astin, K.B., 1999. Spatio-temporal variation in some physical and chemical parameters over a 25-year period in the catchment of the river Adour. *Journal of Hydrology* 220, 209-221.
- Brunner, C.A. and Biscaye, P.E., 2003. Production and resuspension of planktonic foraminifers at the shelf break of the Southern Middle Atlantic Bight. *Deep-Sea Research I* 50, 247-268.
- Caralp, M., 1968. Variations climatiques Pleistocènes dans le Golfe de Gascogne d'après les foraminifères planctoniques. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine* 5, 87-110.
- Caron, D.A. and Bé, A.W.H., 1984. Predicted and observed feeding rates of the spinose planktonic foraminifer Globigerinoides sacculifer. *Bulletin of Marine Sciences* 35, 1-10.
- Caron, D.A., Faber, W.W.j. and Bé, A.W.H., 1987. Growth of the spinose planktonic foraminifer *Orbulina universa* in laboratory culture and the effect of temperature on life processes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 67 (2), 343-358.
- Carpentier, W.B., Parker, W.K. and Jones, T.R., 1862. Introduction to the study of the Foraminifera. *The Royal Society, London*.
- Ceballos, S. and Alvarés-Marqués, F., 2006. Seasonal dynamics of reproductive parameters of the calanoid copepods *Calanus helgolandicus* and *Calanoides carinatus* in the Cantabrian Sea (SW Bay of Biscay). *Progress in Oceanography* 70 (1), 1-26.
- Cifelli, R., 1965. Planktonic foraminifera from the western North Atlantic. *smithsonian miscellaneous collections* 148 (4), 1-33.
- Cifelli, R. and Smith, R.K., 1970. Distribution of planktonic foraminifera in the vicinity of the North Atlantic Current. Washington, 51 pp.
- Cirac, P., Bourillet, J.-F., Gribouillard, R., Normand, A. and Mulder, T., 2001. Le canyon de Capbreton : nouvelles approches morphostructurales et morphosédimentaires. Premiers résultats de la campagne Itsas. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 332, 447-455.
- Clayton, C.R.I., Abbireddy, C.O.R. and Schiebel, R., 2009. A method of estimating the form of coarse particulates. *Géotechnique*, doi: 10.1680/geot.2007.00195
- Cléroux, C., Cortijo, E. and Duplessy, J.C., 2007. Deep-dwelling foraminifera as thermocline temperature recorders. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 8 (4).
- CLIMAP, Project Members, 1981. Seasonal reconstruction of the earth's surface at the last glacial maximum, in: *Geological Society of America Map and Chart Series* 36.

- Conan, S.M.H. and Brummer, G.J.A., 2000. Fluxes of planktic foraminifera in response to monsoonal upwelling on the Somalia Basin margin. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 47 (9-11), 2207-2227.
- Conan, S.M.H., Ivanova, E.M. and Brummer, G.J.A., 2002. Quantifying carbonate dissolution and calibration of foraminiferal dissolution indices in the Somali Basin. *Marine Geology* 182 (3-4), 325-349.
- Coulbourn, W.T., Parker, F.L. and Berger, W.H., 1980. Faunal and solution patterns of planktonic foraminifera in surface sediments of the North Pacific *Marine Micropaleontology* 5, 329-399.
- Coynel, A., Etcheber, H., Abril, G., Maneux, E. and Dumas, J., 2005. Contribution of small mountaineous rivers to particulate carbon input in the Bay of Biscay. *Biogeochemistry* 74 (2), 151-171.
- Craig, H. and Gordon, L.I., 1965. Deuterium and oxygen-18 variation in the ocean and the marine atmosphere. In: Tongiorgi (Editor), *Proceedings Spoleto Conference Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*, Pisa, pp. 9-130.
- Curry, W.B., Ostermann, D.R., Gupta, M.V.S. and Ittekkot, V., 1992. Foraminiferal production and monsoonal upwelling in the Arabian Sea: evidence from sediment traps. In: Summerhayes, C.P., Prell, W.L. and Emis, K.C. (Editors), *Upwelling systems: evolution since the Miocene*. The Geological Society Special Publications, London, pp. 93-106.
- Darling, K., Schulz, H. and Wade, C., 2009. Planktonic foraminiferal cool water genotypes off the Oman Margin (Poster). In: Society, T.M. (Editor), *The Foraminiferal and Nannofossil Groups' Joint Spring Meeting 2009*, Zurich, Switzerland.
- Darling, K.F. and Wade, C.M., 2008. The genetic diversity of planktic foraminifera and the global distribution of ribosomal RNA genotypes. *Marine Micropaleontology* 67 (3-4), 216-238.
- Darling, K.F., Wade, C.M., Kroon, D. and Brown, A.J.L., 1997. Planktic foraminiferal molecular evolution and their polyphyletic origins from benthic taxa. *Marine Micropaleontology* 30, 251-266.
- de Vargas, C., Bonzon, M., Rees, N.W., Pawlowski, J. and Zaninetti, L., 2002. A molecular approach to biodiversity and biogeography in the planktonic foraminifer *Globigerinella siphonifera* (d'Orbigny). *Marine Micropaleontology* 45 (2), 101-116.
- de Villiers, S., 2005. Foraminiferal shell-weight evidence for sedimentary calcite dissolution above the lysocline. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 52 (5), 671-680.
- Deuser, W.G., 1986. Seasonal and interannual variations in deep-water particle fluxes in the Sargasso Sea and their relation to surface hydrography. *Deep Sea Research* 33, 225-246.
- Deuser, W.G. and Ross, E.H., 1989. Seasonally planktonic foraminifera of the Sargasso Sea: succession, deep-water fluxes, isotopic compositions, and paleoceanography implications. *Journal of Foraminiferal Research* 19 (4), 268-293.
- Deuser, W.G., Ross, E.H., Hemleben, C. and Spindler, M., 1981. Seasonal changes in species composition, numbers, mass, size, and isotopic composition of planktonic foraminifera settling into the deep Sargasso Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 33 (1-3), 103-127.
- d'Orbigny, A., 1826. Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes. *Ann. Sci. Nat* 1 (7), 96-134.
- Duplessy, J.-C., Blanc, P.-L. and Bé, A.W.H., 1981. Oxygen-18 Enrichment of Planktonic Foraminifera due to Gametogenic Below the Euphotic Zone. *Science* 213, 1247-1250.
- Duplessy, J.-C., Labeyrie, L., Juillet-Leclerc, A., Maitre, F. and Duprat, J., 1991. Surface salinity reconstruction of the north Atlantic Ocean during the last glacial maximum. *Oceanologica Acta* 14 (4), 311-324.
- Durrieu, X., Castaing, P., Nyffeler, F. and Courp, T., 1999. Slope transport of suspended particulate matter on the Aquitanian margin of the Bay of Biscay. *Deep Sea Research II* 46, 2003-2027.
- Eguchi, N.O., Ujiie, H., Kawahata, H. and Taira, A., 2003. Seasonal variations in planktonic foraminifera at three sediment traps in the Subarctic, Transition and Subtropical zones of the central North Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology* 48 (1-2), 149-163.
- Ehrenberg, C.G., 1861. Über die Tiefgrund-Verhältnisse des Ozeans am Eingange der Davisstrasse und bei Island. *K. Preuss. Akad. Wiss.*, 275-315.
- Ehrenberg, C.G., 1873. Mikrogeologische Studien über das kleinste Leben der Meeres-Tiefgründe aller Zonen und dessen geologischen Einfluss. *K. Preuss. Akad. Wiss., Berlin, Abh.*, pp. 131-139.
- EMIDAS. Bollman, Jörg, pp. <http://www.emidas.org/>.
- Emiliani, C., 1954. Depth habitats of some species of pelagic foraminifera as indicated by oxygen isotope ratios. *American Journal of Science* 252, 149-158.

- Epstein, S., Buchsbaum, H.A. and Urey, H.C., 1953. Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Bull. Geol. Soc. Am.* 64, 1315-1326.
- Erez, J. and Luz, B., 1983. Experimental paleotemperature equation for planktonic foraminifera. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47, 1025-1031.
- Erez, J., Almogi-Labin, A. and Avraham, S., 1991. On the life history of planktonic foraminifera: lunar reproduction cycle in *Globigerinoides sacculifer* (Brady). *Paleoceanography* 6 (3), 295-306.
- Faber, W.W., Anderson, O.R., Lindsey, J.L. and Caron, D.A., 1988. Algal-foraminiferal symbiosis in the planktonic foraminifer *Globigerinella aequilateralis*: I. occurrence and stability of two mutually exclusive chrysophyte endosymbionts and their ultrastructure. *Journal of Foraminiferal Research* 18 (4), 334-343.
- Fabry, V., Seibel, B.A., Feely, R.A. and Orr, J.C., 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science* 65 (3), 414-432.
- Fairbanks, R.G. and Wiebe, P.H., 1980. Foraminifera and chlorophyll maximum: vertical distribution, Seasonal succession, and paleoceanographic significance. *Science* 209, 1524-1526.
- Fairbanks, R.G., Sverdrlove, M.S., Free, R., Wiebe, P.H. & Bé, A.W.H., 1982. Vertical distribution and isotopic fractionation of living planktonic foraminifera from the Panama Basin. *Nature*, 298, 841-844.
- Fernandez, E., Bode, A., Botas, A. and Anadon, R., 1991. Microplankton assemblages associated with saline fronts during a spring bloom in the central Cantabrian Sea: differences in trophic structure between water bodies. *Journal of Plankton Research* 13 (6), 1239-1256.
- Fischer, G. and Wefer, G., 1999. Use of Proxies in Paleoceanography. Examples from the South Atlantic. Springer-Verlag, New York, 735 pp.
- Fontanier, C., Jorissen, F.J., Licari, L., Alexandre, A., Anschutz, P. and Carbonel, P., 2002. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. *Deep-Sea Research I* 49, 751-785.
- Froidefond, J.M., Castaing, P. and Jouanneau, J.-M., 1996. Distribution of suspended matter in a coastal upwelling area. Satellite data and in situ measurements. *Journal of Marine Systems* 8, 91-105.
- Froidefond, J.M., Lavender, S.J., Laborde, P., Herbland, A. and Lafon, V., 2002. SeaWiFS data interpretation in a coastal area in the Bay of Biscay. *International journal of remote sensing* 23 (5), 881-904.
- Ganssen, G. and Sarnthein, M., 1983. Stable-Isotope composition of foraminifers: the surface and bottom water record of coastal upwelling. In: Suess, E. and Thiede, J. (Editors), Responses of Sedimentary Regimento Present Coastal Upwelling: Coastal Upwelling. Its Sedimentary Record, New York, London.
- Garcia-Soto, C., Pingree, R.D. and Valdès, L., 2002. Navidad development in the Southern Bay of Biscay: Climate change and swoddy structure from remote sensing and in situ measurements. *Journal of Geophysical research* 107 (8), 28-1.
- Gast, R.J. and Caron, D.A., 2001. Photosymbiotic associations in planktonic foraminifera and radiolaria. *Hydrobiologia* 461, 1-7.
- Gaudin, M., Berné, S., Jouanneau, J.M., Palanques, A., Puig, P., Mulder, T., Cirac, P., Rabineau, M. and Imbert, P., 2006. Massive sand beds attributed to deposition by dense water cascades in the Bourcart canyon head, Gulf of Lions (northwestern Mediterranean Sea). *Marine Geology* 234 (1-4), 111-128.
- Gibson, T.G., 1989. Planktonic benthonic foraminiferal ratios: Modern patterns and Tertiary applicability. *Marine Micropaleontology* 15, 29-52.
- Gil, J. and Sanchez, R., 2000. The importance of the main external driving agents in the Bay of Biscay hydrographic changes, Océanographie du Golfe de Gascogne, VII^{ème} colloque international, 4-6 avril 2000, Biarritz, France, pp. 43-48.
- Giraudeau, J., 1993. Planktonic foraminiferal assemblages in surface sediments from the southwest African continental margin. *Marine Geology* 110 (1-2), 47-62.
- 4^{ème} IPCC Report 2007; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Changements climatiques, rapport de synthèse. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf
- Guillaud, J.-F., Aminot, A., Delmas, D., Gohin, F., Lunven, M., Labry, C. and Herbland, A., 2008. Seasonal variation of riverine nutrient inputs in the northern Bay of Biscay (France), and patterns of marine phytoplankton response. *Journal of Marine Systems* 72, 309-319.
- Hanna, F. and Rogerson, A., 1997. The temporal and spatial distribution of foraminiferans in marine benthic sediments of the Clyde Sea area, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44, 377-383.

- Hart, M.B., Hylton, M.D., Oxford, M.J., Price, G.D., Hudson, W. and Smart, C.W., 2003. The search for the origin of the planktic foraminifera. *Journal of the Geological Society of London* 160 (3), 341-343.
- Healy-Williams, N., 1989. Morphological changes in Living Foraminifera and Thermal Structure of the Water Column, Western North Atlantic. *PALAIOS* 4, 590-597.
- Hecht, A.D., 1976. An ecologic model for test size variation in recent planktonic foraminifera: applications to the fossil record. *Journal of Foraminiferal Research* 6 (4), 295-311.
- Hemleben, C. and Spindler, M., 1983. Recent advances in research on living planktonic foraminifera. *Utrecht Micropal. Bull.* 30, 141-170.
- Hemleben, C., Spindler, M. and Anderson, O.R., 1989. Modern Planktonic Foraminifera. Springer-Verlag New York Inc, New York, 363 pp.
- Henderson, G.M., 2002. New oceanic proxies for paleoclimate. *Earth and Planetary Science Letters Frontiers* 203, 1-13.
- Herbland, A., Delmas, D., Laborde, P., Sautour, B. and Artigas, F., 1998. Phytoplankton spring bloom of the Gironde plume waters in the Bay of Biscay: early phosphorus limitation and food-web consequences. *Oceanologica Acta* 21 (2), 279-291.
- Hess, S. and Jorissen, F.J., 2009. Distribution patterns of living benthic foraminifera from Cap Breton canyon, Bay of Biscay: Faunal response to sediment instability. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 56 (9), 1555-1578.
- Hickey, B.M., 1997. Coastal Submarine Canyons. 95-110.
- Hilbrecht, H., 1996. Extant planktic foraminifera and the physical environment in the Atlantic and Indian Oceans. Zürich, 93 pp. http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geology/hh1996/aa_start.html
- Holligan, P.M., Pingree, R.D. and Mardell, G.T., 1985. Oceanic solitons, nutrient pulses and phytoplankton growth. *Nature* 314, 348-350.
- Holligan, P.M., Viollier, M., Harbour, D.S., Camus, P. and Champagne-Philippe, M., 1983. Satellite and ship studies of coccolithophore production along a continental shelf edge. *Nature* 304, 339-342.
- Howa, H., Anschutz, P., Eynau, F., Jorissen, F.J., Labeyrie, L., Lombard, F., Lončarić, N., Malaizé, B., Michel, E., Mouret, A., Retailleau, S. and Schmidt, S., 2007. French national project FORCLIM: development of proxy for the palaeohydrology in the North Atlantic, The Micropalaeontological Society's Foraminifera and nanofossil groups joint spring meeting 2007, Angers (France).
- Ivanova, E.M., Conan, S.M.H., Peeters, F.J.C. and Troelstra, S.R., 1999. Living *Neogloboquadrina pachyderma* sin and its distribution in the sediments from Oman and Somalia upwelling areas. *Marine Micropaleontology* 36 (2-3), 91-107.
- Jacques, G., 2006. *Ecologie du plancton*, Paris, pp. 283.
- Jégou, A.-M., Dumas, F. and Lazure, P., 2001. Modelling the Adour plume with a 3D hydrodynamic model. *Colloque international d'Océanographie du Golfe de Gascogne n°7, Biarritz (4-6/4/2000)* 21, 49-54.
- Jones, J.I., 1967. Significance of distribution of planktonic foraminifera in the Equatorial Atlantic Undercurrent. *Micropaleontology* 13 (4), 489-501.
- Kawahata, H., Nishimura, A. and Gagan, M.K., 2002. Seasonal change in foraminiferal production in the western equatorial Pacific warm pool: evidence from sediment trap experiments. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 49 (13-14), 2783-2800.
- Kelly-Gerreyn, B.A., Hydes, D.J., Fernand, L.J., Jégou, A.M., Lazure, P. and Puillat, I., 2006a. Linking French Atlantic rivers to low salinity intrusions in the western English Channel: highly resolved monitoring from the EU FerryBox project. In: Dahlin, H., Flemming, N.C., Marchand, P. and Petersson, S.E. (Editors), *European Operational Oceanography: Proceedings of the Fourth International Conference on EuroGOOS*. Norrköping, Sweden, EuroGOOS and European Commission Research Directorate-General, pp. 432-436.
- Kelly-Gerreyn, B.A., Hydes, D.J., Jégou, A.M., Lazure, P., Fernand, L.J., Puillat, I. and Garcia-Soto, C., 2006b. Low salinity intrusions in the western English Channel. *Continental Shelf Research* 26 (11), 1241-1257.
- Kim, S.T. and O'Neil, J.R., 1997. Equilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 3461-3475.
- Kincaid, E., Thunell, R.C., Le, J., Lange, C.B., Weinheimer, A.L. and Reid, F.M.H., 2000. Planktonic foraminiferal fluxes in the Santa Barbara Basin: response to seasonal and interannual hydrographic changes. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 47 (5-6), 1157-1176.
- Kipp, N.G., 1976. New transfer function for estimating past seasurface conditions from sea level distribution of planktonic foraminifera. *Micropaleontology* 18, 285-293.

- Koutsikopoulos, C. and Le Cann, B., 1996. Physical processes and hydrological structures related to the Bay of Biscay anchovy. *Scientia Marina* 60 (2), 9-19.
- Kuhnt, T., Howa, H., Schiebel, R., Schmidt, S. and Lončarić, N., 2009. Seasonal production and flux pattern of planktic foraminifera in the Southern Bay of Biscay. In: Society, T.M.S. (Editor), The Foraminiferal and Nannofossil Groups' Joint Spring Meeting 2009, Zurich, Switzerland.
- Kunze, E., Rosenfeld, L.K., Carter, G.S. and Gregg, M.C., 2002. Internal Waves in Monterey Submarine Canyon. *Journal of Physical Oceanography* 32 (6), 1890-1913.
- Kupferman, S.L., Becker, G., Simmons, W., Schauer, U., Marietta, M. and Nies, H., 1987. An intense cold core eddy in the North-East Atlantic. *Nature* 319, 474-477.
- Kuroyanagi, A. and Kawahata, H., 2004. Vertical distribution of living planktonic foraminifera in the seas around Japan. *Marine Micropaleontology* 53 (1-2), 173-196.
- Kuroyanagi, A., Kawahata, H., Nishi, H. and Honda, M.C., 2002. Seasonal changes in planktonic foraminifera in the northwestern North Pacific Ocean: sediment trap experiments from subarctic and subtropical gyres. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 49 (24-25), 5627-5645.
- Laborde, P., Urrutia, J. and Valencia, V., 1999. Seasonal variability of primary production in the Cap-Ferret Canyon area (Bay of Biscay) during the ECOFER cruises. *Deep Sea Research II* 46, 2057-2079.
- Labry, C., Delmas, D. and Herbland, A., 2004. Phytoplankton and bacterial alkaline phosphatase activities in relation to phosphate and DOP availability within the Gironde plume waters (Bay of Biscay). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 318 (2), 213-225.
- Labry, C., Herbland, A., Delmas, D., Laborde, P., Lazure, P., Froidefond, J.M., Jégou, A.M. and Sautour, B., 2001. Initiation of winter phytoplankton blooms within the Gironde plume waters in the Bay of Biscay. *Marine Ecology Progress Series* 212, 117-130.
- Lampert, L., 2001. Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanctoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne), Ph.D Thesis, Université de Bretagne Occidentale, Bordeaux 1.
- Lavender, S.J., Pinkerton, M.H., Froidefond, J.M., Morales, J., Aiken, J. and Moored, G.F., 2004. SeaWiFS validation in European coastal waters using optical and bio-geochemical measurements. *International Journal of Remote Sensing* 25 (7-8).
- Lazure, P. and Jégou, A.M., 1998. 3D modelling of seasonal evolution of Loire and Gironde plumes on Biscay Bay continental shelf. *Oceanologica Acta* 21 (2), 165-177.
- Le Cann, B. and Serpette, A., 2009. Intense warm and saline upper Ocean inflow in the southern Bay of Biscay in autumn-winter 2006-2007. *Continental Shelf Research* 29, 1014-1025.
- Le Grande, A.N. and Schmidt, G.A., 2006. Global gridded data set of the oxygen isotopic composition in seawater. *Geophysical Research Letters* 33.
- Lee, J.J., Freudenthal, H.D., Kossov, V. and Bé, A.W.H., 1965. Cytological observations on two planktonic foraminifera, *Globigerina bulloides* d'Orbigny, 1826 and *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny, 1839) Cushman, 1927. *J. Protozool.* 12, 531-542.
- Legrand, J., Bulletin PREVIMER, <http://www.previmer.org>.
- Lévêque, C., 2001. *Ecologie*. Dunod, 512 pp.
- Lidz, L., 1966. Planktonic foraminifera in the water column of the Mainland shelf off Newport Beach, California. *Limnology and Oceanography* 11 (2), 257-263.
- Lipps, J.H. and Warme, J.E., 1966. Planktonic foraminiferal biofacies in the Okhotsk sea. *Contribution from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research* XVII (4), 125-134.
- Lohmann, G.P., 1995. A model for variation in the chemistry of planktonic foraminifera due to secondary calcification and selective dissolution. *Paleoceanography* 10 (3), 445-457.
- Lohmann, H., 1920. Die Bevölkerung des Ozeans mit Plankton nach den Ergebnissen der Zentrifugenfänge während der Ausreise der Deutschland 1911, zugleich ein Beitrag zur Biologie des Atlantischen Ozeans 617 pp.
- Lombard, F., Labeyrie, L., Michel, E., Spero, H.J. and Lea, D.W., 2009. Modelling the temperature dependent growth rates of planktic foraminifera. *Marine Micropaleontology* 70, 1-7.
- Lončarić, N., Brummer, G.-J.A. and Kroon, D., 2005. Lunar cycles and seasonal variations in deposition fluxes of planktonic foraminiferal shell carbonate to the deep South Atlantic (central Walvis Ridge). *Deep Sea Research I* 52, 1178-1188.

- Lončarić, N., Iperen, J.v., Kroon, D. and Brummer, G.-J.A., 2007. Seasonal export and sediment preservation of diatomaceous, foraminiferal and organic matter mass fluxes in a trophic gradient across the SE Atlantic. *Progress in Oceanography* 73, 27-59.
- Lončarić, N., Peeters, F., Kroon, D. and Brummer, G.-J.A., 2006. Oxygen isotope ecology of recent planktic foraminifera at the central Walvis Ridge (SE Atlantic). *Paleoceanography* 21, doi:10.1029/2005PA001207.
- Longhurst, A., 1998. *Ecological Geography of the Sea*. Academic Press, San Diego, 398 pp.
- Loyer, S., 2001. Modélisation de la production phytoplanctonique dans la zone côtière atlantique enrichie par les apports fluviaux, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, Paris
- Loyer, S., Lampert, L., Menesguen, A., Cann, P. and Labasque, T., 2006. Seasonal evolution of the nutrient pattern on Biscay Bay continental shelf over the years 1999-2000. *Scientia Marina* 70 (1).
- Lunven, M., Guillaud, J.F., Youéno, A., Crassous, M.P., Berric, R., Gall, E.L., Kérouel, R., Labry, C. and Aminot, A., 2005. Nutrient and phytoplankton distribution in the Loire River plume (Bay of Biscay, France) resolved by a new Fine Scale Sampler. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65, 94-108.
- Lutze, G.F. and Altenbach, A., 1991. Technik und Signifikanz der Lebendfärbung bentischer Foraminiferen mit Bengalrot. *Geol. Jahrb A* 128, 251-265.
- Marquis, E., Niquil, N., Delmas, D., Hartmann, H.J., Bonnet, D., Carlotti, F., Herbland, A., Labry, C., Sautour, B., Laborde, P., Vézina, A. and Dupuy, C., 2007. Inverse analysis of the planktonic food web dynamics related to phytoplankton bloom development on the continental shelf of the Bay of Biscay, French coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73, 223-235.
- Mashiotta, T.A., Lea, D.W. and Spero, H.J., 1997. Experimental determination of cadmium uptake in shells of the planktonic foraminifera *Orbulina universa* and *Globigerina bulloides*: Implications for surface water paleoreconstructions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61 (19), 4053-4065.
- Milliman, J.D. and Droxler, A.W., 1996. Neritic and pelagic carbonate sedimentation in the marine environment: ignorance is not bliss. *Geol Rundsch* 85, 496-504.
- Mohiuddin, M.M., Nishimura, A., Tanaka, Y. and Shimamoto, A., 2002. Regional and interannual productivity of biogenic components and planktonic foraminiferal fluxes in the northwestern Pacific Basin. *Marine Micropaleontology* 45 (1), 57-82.
- Mortyn, P.G. and Charles, C.D., 2003. Planktonic foraminiferal depth habitat and $\delta^{18}\text{O}$ calibrations: plankton tow results from the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Paleoceanography* 18 (2).
- Mücke, S.K.-v. and Oberhänsli, H., 1999. The Distribution of Living Planktic Foraminifera in Relation to Southeast Atlantic Oceanography. In: Fischer, G. and Wefer, G. (Editors), *Use of Proxies in Paleoceanography: Examples from the South Atlantic*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 91-115.
- Mulder, T., Weber, O., Anschutz, P., Jorissen, F.J. and Jouanneau, J.-M., 2001. A few months-old storm-generated turbidite deposited in the Capbreton Canyon (Bay of Biscay, SW France). *Geo-Marine Letters*.
- Mulitza, S., Boltovskoy, D., Donner, B., Meggers, H., Paul, A. and Wefer, G., 2003. Temperature:[delta]18O relationships of planktonic foraminifera collected from surface waters. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 202 (1-2), 143-152.
- Murray, J., 1897. On the distribution of the pelagic foraminifera at the surface and the floor of the ocean. *Natural Science (ecology)* 11, 17-27.
- Naidu, P.D. and Malmgren, B.A., 1996. A high-resolution record of late Quaternary upwelling along the Oman Margin, Arabian Sea based on planktonic foraminifera. *Paleoceanography* 11, 129-140.
- Niebler, H.S., Hubberten, H.W. and Gersonde, R., 1999. Oxygen isotope values of planktic foraminifera: a tool for the reconstruction of surface water stratification. In: Fischer, G. and Wefer, G. (Editors), *Use of proxies in Paleoceanography: Examples for the South Atlantic*. Springer, New York, pp. 165-189.
- O'Neil, J.R., Clayton, R.N. and Mayeda, T.K., 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. *The Journal of Chemical Physics* 51 (12), 5547-5558.
- Obata, A., Ishizaka, J. and Endoh, M., 1996. Global verification of critical depth theory for phytoplankton bloom with climatological in situ temperature and satellite ocean color data. *Journal of Geophysical Research* 101 (C9), 20 657-20 667.
- Oberhänsli, H., Bénier, C., Meinecke, G., Schimdt, H., Schneider, R. and Wefer, G., 1992. Planktonic foraminifers as tracers of ocean currents in the eastern south Atlantic. *Paleoceanography* 7 (5), 607-632.

- Ortiz, J.D., Mix, A.C. and Collier, R.W., 1995. Environmental control of living symbiotic and asymbiotic foraminifera of the Californian Current. *Paleoceanography* 10 (6), 987-1009.
- Ortiz, J.D., Mix, A.C., Rugh, W., Watkins, J.M. and Collier, R.W., 1996. Deep-dwelling planktonic foraminifera of the northeastern Pacific Ocean reveal environmental control of oxygen and carbon isotopic disequilibria. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60 (22), 4509-4523.
- Ottens, J.J., 1991. Planktic foraminifera as North Atlantic water mass indicators. *Oceanologica Acta* 14 (2), 123-140.
- Ottens, J.J., 1992. April and August Northeast Atlantic surface water masses reflected in planktic foraminifera. *Netherlands Journal of Sea Research* 28 (4), 261-283.
- Owen, 1867. On the surface-fauna of mid-ocean *Zool J. Linnean Soc. London* 9, 147.
- Parker, F.L., 1962. Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. *Micropaleontology* 8, 219-254.
- Parker, F.L., 1973. Living planktonic foraminifera from the Gulf of California. *Journal of Foraminiferal Research* 3 (2), 70-77.
- Parker, F.L. and Berger, W.H., 1971. Faunal and solution patterns of planktonic Foraminifera in surface sediments of the South Pacific. *Deep-Sea Research* 18, 73-107.
- Parker, F.L. and Jones, T.R., 1965. On some foraminifera from the North Atlantic and Arctic Oceans, including Davis Straits, Baffin's Bay. *Phil. Trans.* 155, 325-441.
- Peeters, F., 2000. The distribution and stable isotope composition of living planktic foraminifera in relation to seasonal changes in the Arabian Sea, Amsterdam, Amsterdam
- Peeters, F.J.C., Brummer, G.-J.A. and Ganssen, G., 2002. The effect of upwelling on the distribution and stable isotope composition of *Globigerina bulloides* and *Globigerinoides ruber* (planktic foraminifera) in modern surface waters of the NW Arabian Sea. *Global and Planetary Change* 34 (3-4), 269-291.
- Phillipi, 1910. Die Grundproben der deutschen Südpolar Expedition 1901-1903. *Deutsche Südpolar Expedition* 2 (6), 411-616.
- Phleger, F.B., 1954. Distribution of foraminifera in the NE Gulf of Mexico. *Havard Col. Mus. Comp. Zool. Bull.* 111 (10), 453-588.
- Pingree, R.D. and Le Cann, B., 1990. Structure, strength and seasonality of the slope currents in the Bay of Biscay region. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 70 (4), 857-885.
- Pingree, R.D. and Le Cann, B., 1992. Anticyclonic Slope Water Oceanic eDDIES (SWODDIES) in the Southern Bay of Biscay. *Deep Sea Research* 39, 1147-1175.
- Pingree, R.D. and Mardell, G.T., 1981. Slope turbulence, internal waves and phytoplankton growth at the Celtic Sea shelf-break. *Philos. Trans. Royal Society of London A* 302, 663-682.
- Poulet, S.A., Laabir, M. and Chaudron, Y., 1996. Characteristic features of zooplankton in the Bay of Biscay. *Scientia Marina* 60 (2), 79-95.
- Puillat, I., Lazure, P., Jégou, A.M., Lampert, L. and Miller, P.I., 2004. Hydrographical variability on the French continental shelf in the Bay of Biscay, during the 1990s. *Continental Shelf Research* 24, 1143-1163.
- Pujol, C., 1980. Les foraminifères planctoniques de l'Atlantique Nord au Quaternaire. *Ecologie-Stratigraphie-Environnement. Mémoires de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine*, 10, Univ. Bordeaux I, France, 254 pp.
- Pujol, C. and Vergnaud-Grazzini, 1989. Palaeoceanography of the last deglaciation in the Alboran Sea (western Mediterranean). Stable isotopes and planktonic foraminiferal records. *Marine Micropaleontology* 15 (1-2), 153-179.
- Ravelo, A.C. and Fairbanks, R.G., 1992. Oxygen isotopic composition of multiple species of planktonic foraminifera: recorders of the modern photic zone temperature gradient. *Paleoceanography* 7 (6), 815-831.
- Rees, A.P., Malcom, E., Woodward, S., Robinson, C., Cummings, D.G., Tarran, G.A. and Joint, I., 2002. Size-fractionated nitrogen uptake and carbon fixation during a developing coccolithophore bloom in the North Sea during June 1999. *Deep-Sea Research part II* 49 (19), 2905-2927.
- Rennie, S., Hanson, C.E., McCauley, R.D., Pattiaratchi, C., Burton, C., Bannister, J., Jenner, C. and Jenner, M.-N., 2009. Physical properties and processes in the Perth Canyon, Western Australia: Links to water column production and seasonal pygmy blue whale abundance. *Journal of Marine Systems* 77, 21-44.
- Retailleau, S., Howa, H., Schiebel, R., Lombard, F., Eynaud, F., Schmidt, S., Jorissen, F. and Labeyrie, L., 2009. Planktic foraminiferal production along an offshore-onshore transect in the south-eastern Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*, 29, 1123-1135.

- Reynolds, L.A. and Thunell, R.C., 1985. Seasonal succession of planktonic foraminifera in the subpolar North Pacific. *Journal of Foraminiferal Research* 15 (4), 282-301.
- Rhumbler, L., 1911. Die Foraminiferan (Thalamophoren) der Plankton Expedition, Pt. 1, Die allgemeinen Organisationsverhältnisse der Foraminiferen. Kiel und Leipzig.
- Ridgwell, A. and Zeebe, R.E., 2005. The role of the global carbonate cycle in the regulation and evolution of the Earth system. *Earth and Planetary Science Letters* 234 (3-4), 299-315.
- Rohling, E.J., Dulk, M.D., Pujol, C. and Vergnaud-Grazzini, C., 1995. Abrupt hydrographic change in the Alboran Sea (western Mediterranean) around 8000yrs BP. *Deep Sea Research I* 42 (9), 1609-1619.
- Rohling, E.J., Sprovieri, M., Cane, T., Casford, J.S.L., Cooke, S., Bouloubassi, I., Emeis, K.C., Schiebel, R., Rogerson, M., Hayes, A., Jorissen, F.J. and Kroon, D., 2004. Reconstructing past planktic foraminiferal habitats using stable isotope data: a case history for Mediterranean sapropel S5. *Marine Micropaleontology* 50 (1-2), 89-123.
- Saidova, K.M., 1957. Kolichestvennoe raspredelenie foraminifer v Okotskom More. *Doklady Akademiia Nauk SSSR* 114, 1302-1305.
- Salgueiro, E., Voelker, A., Abrantes, F., Meggers, H., Pflaumann, U., Loncaric, N., Gonzales-Alvarez, R., Oliveira, P., Bartels-Jonsdottir, H.B., Moreno, J. and Wefer, G., 2008. Planktonic foraminifera from modern sediments reflect upwelling patterns off Iberia: Insights from a regional transfer function. *Marine Micropaleontology* 66, 135-164.
- Sautter, L.R. and Sancetta, C., 1992. Seasonal associations of phytoplankton and planktic foraminifera in an upwelling region and their contribution to the seafloor. *Marine Micropaleontology* 18 (4), 263-278.
- Sautter, L.R. and Thunell, R.C., 1991. Planktonic foraminiferal response to upwelling and seasonal hydrographic conditions: sediment trap results from San Pedro Basin, Southern California Bight. *Journal of Foraminiferal Research* 21 (4), 347-363.
- Schäfer, J., Blanc, G., Lapaquellerie, Y., Maillat, N., Maneux, E. and Etcheber, H., 2002. Ten-year observation of the Gironde tributary fluvial system: fluxes of suspended matter, particulate organic carbon and cadmium. *Marine Chemistry* 79, 229-242.
- Schiebel, R., 2002. Planktic foraminiferal sedimentation and the marine calcite budget. *Global Biogeochemical Cycles* 16 (4), 13.
- Schiebel, R. and Hemleben, C., 2000. Interannual variability of planktic foraminiferal populations and test flux in the eastern North Atlantic Ocean (JGOFS). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 47 (9-11), 1809-1852.
- Schiebel, R. and Hemleben, C., 2005. Modern Planktic foraminifera. *Paläontologische Zeitschrift* 79 (1), 135-148.
- Schiebel, R., Bijma, J. and Hemleben, C., 1997. Population dynamics of the planktic foraminifer *Globigerina bulloides* from the eastern North Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 44 (9), 1701-1713.
- Schiebel, R., Hiller, B. and Hemleben, C., 1995. Impacts of storms on Recent planktic foraminiferal test production and CaCO₃ flux in the North Atlantic at 47°N, 20°W (JGOFS). *Marine Micropaleontology* 26 (1-4), 115-129.
- Schiebel, R., Waniek, J., Bork, M. and Hemleben, C., 2001. Planktic foraminiferal production stimulated by chlorophyll redistribution and entrainment of nutrients. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 48 (3), 721-740.
- Schiebel, R., Waniek, J., Zeltner, A. and Alves, M., 2002. Impact of the Azores Front on the distribution of planktic foraminifers, shelled gastropods, and coccolithophorids. *Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography* 49 (19), 4035-4050.
- Schiebel, R., Zeltner, A., Treppke, U.F., Waniek, J.J., Bollmann, J., Rixen, T. and Hemleben, C., 2004. Distribution of diatoms, coccolithophores and planktic foraminifers along a trophic gradient during SW monsoon in the Arabian Sea. *Marine Micropaleontology* 51 (3-4), 345-371.
- Schmidt, D.N., Renaud, S., Bollmann, J., Schiebel, R. and Thierstein, H.R., 2004. Size distribution of Holocene planktic foraminifer assemblages: biogeography, ecology and adaptation. *Marine Micropaleontology* 50 (3-4), 319-338.
- Schmidt, D.N., Lazarus, D., Young, J.R. and Kucera, M., 2006. Biogeography and evolution of body size in marine plankton. *Earth-Science Reviews*.
- Schmidt, G.A., Bigg, G.R. and Rohling, E.J., 1999. Global Seawater Oxygen-18 Database. <http://data.giss.nasa.gov/o18data/>.

- Schmuker, B. and Schiebel, R., 2002. Planktic foraminifers and hydrography of the eastern and northern Caribbean Sea. *Marine Micropaleontology* 46, 387-403.
- Schott, W., 1935. Die Foraminiferen des äquatorialen Teils des Atlantischen Ozeans: Deutsche Atlantische Exped. Meteor 1925-1927. . *Wissenschaftliche Ergebnisse* 3, 43-134.
- Serpette, A., Le Cann, B. and Colas, F., 2006. Lagrangian circulation of the North Atlantic Central Water over the abyssal plain and continental slopes of the Bay of Biscay: description of selected mesoscale features. *Scientia Marina* 70S1, 27-42.
- Shackleton, N.J., 1974. Attainment of isotopic equilibrium between ocean water and the benthonic foraminifera genus *Uvigerina*: isotopic changes in the ocean during the last glacial, CNRS, Colloques Internationaux, pp. 203-209.
- Shackleton, N.J. and Vincent, E., 1978. Oxygen and carbon isotope studies in recent foraminifera from the southwest Indian Ocean. *Marine Micropaleontology* 3, 1-13.
- Sime, N.G., Rocha, C.L.D.I. and Galy, A., 2005. Negligible temperature dependence of calcium isotope fractionation in 12 species of planktonic foraminifera. *Earth and Planetary Science Letters* 232, 51-66.
- Simstich, J., Sarnthein, M. and Erlenkeuser, H., 2003. Paired d18O signals of *Neogloboquadrina pachyderma* (s) and *Turborotalia quinqueloba* show thermal stratification structure in Nordic Seas. *Marine Micropaleontology* 48, 107-125.
- Spero, H.J., 1987. Symbiosis in the planktonic foraminifer, *Orbulina universa*, and the isolation of its symbiotic dinoflagellate, *Gymnodinium béii* sp. Nov. *Journal of Phycology* 23 (2), 307-317.
- Spero, H.J., 1992. Do planktic foraminifera accurately record shifts in the carbon isotopic composition of seawater ΣCO_2 ? *Marine Micropaleontology* 19 (4), 275-285.
- Spero, H.J. and Lea, D.W., 1996. Experimental determination of stable isotope variability in *Globigerina bulloides*: implications for paleoceanographic reconstructions. *Marine Micropaleontology* 28 (3-4), 231-246.
- Spero, H.J., Bijma, J. and Lea, D., 1997. Effect of seawater carbonate concentration on foraminiferal carbon and oxygen isotopes. *Nature* 390, 497-500.
- Spindler, M. and Hemleben, C., 1980. Symbionts in planktonic foraminifera (Protozoa). In: Schwemmler, W. and Schenk, H.E.A. (Editors), *Endocytobiology, Endosymbiosis and Cell Biology*, Berlin, New York, pp. 133-140.
- Spindler, M., Hemleben, C., Bayer, U. and Bé, A.W.H., 1979. Lunar periodicity of reproduction in the planktonic foraminifer *Hastigerina pelagica*. *Marine Ecology Progress Series* 1, 61-64.
- Spindler, M., Hemleben, C., Salomons, J.B. and Smit, L.P., 1984. Feeding behavior of some planktonic foraminifers in laboratory cultures. *Journal of Foraminiferal Research* 14 (4), 237-249.
- Stangeew, E., 2001. Distribution and Isotopic Composition of Living Planktonic Foraminifera *N. pachyderma* (sinistral) and *T. quinqueloba* in the High Latitude North Atlantic, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.
- Steph, S., Regenberg, M., Tiedemann, R., Mulitza, S. and Nürnberg, D., 2009. Stable isotopes of planktonic foraminifera from tropical Atlantic/Caribbean core-tops: Implications for reconstructing upper ocean stratification. *Marine Micropaleontology* 71 (1-2), 1-19.
- Thiede, J., 1971. Variations in coiling ratios of Holocene planktonic foraminifera. *Deep Sea Research and Oceanography Abstracts* 18 (8), 823-831.
- Thiede, J., 1975. Distribution of foraminifera in surface waters of a coastal upwelling rea. *Nature* 253, 712-714.
- Thinon, I., Fidalgo-Gonzalez, L., Réhault, J.-P. and Olivet, J.-L., 2001. Déformations pyrénéennes dans le golfe de Gascogne. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science* 332 (9), 561-568.
- Thunell, R.C. and Honjo, S., 1987. Seasonal and interannual changes in planktonic foraminiferal production in the North Pacific. *Nature* 328, 335-337.
- Thunell, R.C. and Sautter, L.R., 1992. Planktonic foraminiferal faune and stable isotopic indices of upwelling: a sediment trap study in the San Pedro Basin, Southern California Bight. In: Summerhayes, C.P., Prell, W.L. and Emis, K.C. (Editors), *Upwelling systems: evolution since the Miocene*. The Geological Society Special Publications, London, pp. 77-91.
- Thunell, R.C., Curry, W.B. and Honjo, S., 1983. Seasonal variation in the flux of planktonic foraminifera: time series sediment trap results from the Panama Basin. *Earth and Planetary Science Letters* 64 (1), 44-55.
- Tolderlund, D.S. and Bé, A.W.H., 1971. Seasonal distribution of planktonic foraminifera in the western North Atlantic. *Micropaleontology* 17 (3), 297-329.

- Tréguer, P., Corre, P.L. and Grall, J.R., 1979. The seasonal variation of nutrients in the upper waters of the Bay of Biscay region and their relation to phytoplankton growth. *Deep-Sea Research A* 26, 1112-1152.
- Ufkes, E. and Zachariasse, W.J., 1993. Origin of coiling differences in living neogloboquadrinids in the Walvis Bay region, off Namibia, southwest Africa *Micropaleontology (NY)* 39 (3), 283-287.
- Ufkes, E., Fred Jansen, J.H. and Brummer, G.-J.A., 1998. Living planktonic foraminifera in the eastern South Atlantic during spring: Indicators of water masses, upwelling and the Congo (Zaire) River plume. *Marine Micropaleontology* 33 (1-2), 27-53.
- Urey, H.C., 1947. The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society* 1, 562-581.
- Urey, H.C., Lowenstam, H.A., Epstein, S. and McKinney, C.R., 1951. Measurements of paleotemperatures and temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark and the southeastern United States. *Bull. Geol. Soc. Am.* 62, 399-416.
- Valdés, L., Lopez-Urrutia, A., Cabal, J., Alvarez-Ossorio, M., Bode, A., Miranda, A., Cabanas, M., Huskin, I., Anadon, R., Alvarez-Marqués, F., Llope, M. and Rodriguez, N., 2007. A decade of sampling in the Bay of Biscay: What are the zooplankton time series telling us? *Progress in Oceanography* 74, 98-114.
- van Aken, H.M., 2000. The hydrology of the mid-latitude Northeast Atlantic Ocean II: The intermediate water masses *Deep-Sea Research I* 47, 789-824.
- Varela, M., 1996. Phytoplankton ecology in the Bay of Biscay. *Scientia Marina* 60 (2), 45-53.
- Viana, A.R., Faugères, J.C., Kowsmann, R.O., Lima, J.A.M., Caddah, L.F.G. and Rizzo, J.G., 1998. Hydrology, morphology and sedimentology of the Campos continental margin, offshore Brazil. *Sedimentary Geology* 115, 133-157.
- Vincent, E. and Berger, W.H., 1981. Planktonic foraminifera and their use in paleoceanography. The Oceanic Lithosphere. In: Emiliani, C. (Editor). *The Sea*, pp. 1025-1119.
- Walton, W.R., 1952. Techniques for recognition of living foraminifera. *Contribution from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research* 3, 56-60.
- Wang, P., Zhang, J. and Min, Q., 1985. Distribution of foraminifera in surface sediments of the East China Sea. In: Wang, P. (Editor), *Marine Micropaleontology of China*. China Ocean Press, Beijing, pp. 34-69.
- Weyl, P.K., 1978. Micropaleontology and ocean surface climate. *Science* 202, 475-481.
- Wilke, I. and Peeters, F., in preparation. Depth integrated growth rate of planktic foraminiferal shells part 2. Model fits to field observation, Chapter 5.
- Williams, D.F., Bé, A.W.H. and Fairbanks, R.G., 1979. Seasonal Oxygen Isotopic Variations in Living Planktonic Foraminifera off Bermuda. *Science* 206, 447-449.
- Wollast, R. and Chou, L., 2001. Ocean Margin Exchange in the Northern Gulf of Biscay: OMEX I. An introduction. *Deep-Sea Research part II* 48, 2971-2978.
- Yamasaki, M. and Oda, M., 2003. Sedimentation of planktonic foraminifera in the East China Sea: evidence from a sediment trap experiment. *Marine Micropaleontology* 49 (1-2), 3-20.
- Yamasaki, M., Sasaki, A., Oda, M. and Domitsu, H., 2008. Western equatorial Pacific planktic foraminiferal fluxes and assemblages during a La Niña year (1999) *Marine Micropaleontology* 66, 304-319.
- Zachos, J.C. and Kump, L.R., 2005. Carbon cycle feedbacks and the initiation of Antarctic glaciation in the earliest Oligocene. *Global and Planetary Change* 47, 51-66.
- Zeebe, R.E., 1999. An explanation of the effect of seawater carbonate concentration on foraminiferal oxygen isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63 (13-14), 2001-2007.

LISTE FIGURES

CHAPITRE I :

Figure I-1: Schéma de la relation espèces/symbiontes, pour les espèces observées dans le Golfe de Gascogne (données compilées de Hemleben et al., 1989 et Ortiz et al., 1995).....	24
Figure I-2: Photographie, sous binoculaires par diffusion de lumière, de foraminifères planctoniques portant des symbiontes a) et b) <i>O. universa</i> et c) <i>G. ruber</i> (photos de Fabien Lombard).....	24
Figure I-3 : Distribution schématique des foraminifères planctoniques actuels en Atlantique Nord (Hemleben et al., 1989).	25
Figure I-4 : Cycles de vie supposés de certaines espèces de foraminifères planctoniques en fonction de leurs latitudes de vie, dans l’océan ouvert, d’après Schiebel et Hemleben, 2005.	27
Figure I-5 : Carte bathymétrique du Golfe de Gascogne.....	29
Figure I-6 : Schéma de la circulation de surface dans le Golfe de Gascogne (Koutsikopoulos et Le Cann, 1996).....	30
Figure I-7 : Evidence satellitaire d’un courant chaud de surface le long de la côte espagnole à la fin de l’année 2006 ; Image NOAA15 AVHRR Channel 4 (Température), du 29 Novembre 2006 (Le Cann et Serpette, 2009).....	30
Figure I-8: Schéma de fonctionnement du Plateau Continental Atlantique Français avec les forçages physiques et météorologiques (Lampert, 2001).....	32
Figure I-9: Synthèse de l’évolution saisonnière des abondances du phytoplancton et du zooplancton, ainsi que de la structure et teneur en nutriments de la colonne d’eau dans le Golfe de Gascogne (compilation des observations de Poulet et al., 1996 ; Beaufort et Heusner, 1999 ; Lampert, 2001 ; Lavender et al., 2004 et Albaina et al., 2007).....	34
Figure I-10: Carte bathymétrique du Plateau des Landes et localisation des six stations étudiées.	35
Figure I-11: Profondeurs des différentes masses d’eaux (ENACW, MOW et NEADW) dans notre zone d’étude, le long d’un profil bathymétrique entre les Stations WH, A, B et D.	35
Figure I-12: Localisation des Stations WH, A, B et D sur le Plateau des Landes et les influences des principaux fleuves sur le plateau continental français et en ligne pointillée, le courant hivernal de la Navidad d’après Le Cann et Serpette (2009). Source cartographique http://www.aquarius.ifm-geomar.de	36
Figure I-13: a) Schéma montrant les différents intervalles de prélèvement des filets à plancton ouvrant-fermant en pêche verticale ; b) Filet à plancton WP2 (Neven Lončarić) ; c) Multinet Hydrobios® (Hélène Howa).....	38
Figure I-14: Fluxmètre KC Denmark utilisé sur le filet à plancton WP2.....	39
Figure I-15: Port du masque lors du piquage des échantillons sous alcool.	40
Figure I-16: Exemples de coloration par le Rose Bengal des spécimens de foraminifères planctoniques vivants et l’absence de coloration des spécimens morts.	41

CHAPITRE II :

Figure II-1: Sampling Stations WH, A, B, and D (black dots) at the Plateau des Landes, slope and outer shelf at the southern Bay of Biscay. Inset shows the general hydrology (Koutsikopoulos and Le Cann, 1996): (1) General oceanic circulation, (2) eddies, (3) Navidad Current, warm water extension of the Iberian Poleward Current in the Bay of Biscay (Pingree and Le Cann, 1990; Garcia-Soto et al., 2002), and (4) shelf residual circulation.	47
--	----

Figure II-2: Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll-a processed from SeaWiFS images of the Bay of Biscay from January 2006 to September 2008. Data represent averages of a 1° square area at Station WH (44-45°N, 2-3°W).....	51
Figure II-3: Temperature difference between the water surface and 100 m water depth (ΔT_{0-100}) as a measure of stratification of the upper water column, with strong stratification at large ΔT_{0-100} and a well mixed water column at small ΔT_{0-100}	52
Figure II-4: Number of stained (cytoplasm bearing, living) planktic foraminifera per cubic meter of sampled sea water (dark grey: size fraction >150 μm ; light grey: size fraction 100-150 μm), in comparison to chlorophyll-a concentration (mg m^{-3} , black line) and salinity (PSU, grey line) at Stations WH, A, B, and D, from March to November.....	54
Figure II-5: Standing stocks of living planktic foraminifera per cubic meter of seawater at Stations WH, A, B, and D, from March to November.....	55
Figure II-6: Percentage of living PF of the 100-150 μm size fraction at Stations WH, A, B, and D, from March to November.....	56
Figure II-7: Number of empty (dead) planktic foraminiferal tests per cubic meter of sampled sea water (black: size fraction >150 μm ; grey: size fraction 100-150 μm) at Stations WH, A, B, and D, from March to November. Temperature ($^{\circ}\text{C}$) is shown by the black line.....	57
Figure II-8: Chlorophyll-a (mg.m^{-3}) in the Bay of Biscay, from SeaWiFS images (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov): a) April 2007, before PECH 3 (Table II-1), showing high phytoplankton production in the central part of the Bay of Biscay. b) November 2007, before PECH 4, showing enhanced phytoplankton production along the coast of the south-eastern Bay of Biscay, in comparison to April, and low phytoplankton production in the central Bay of Biscay. Sampling locations are indicated by black dots (Fig. II-1).....	59

CHAPITRE III

Partie A

Figure III-1 : Concentration moyenne des foraminifères planctoniques vivants (en spécimen/ m^3) aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre.....	70
Figure III-2 : Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce <i>G. bulloides</i> provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).....	72
Figure III-3 : Répartition verticale des densités de <i>G. bulloides</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle-a (courbe noire, mg/m^3) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).	73
Figure III-4 : Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce <i>G. calida</i> provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).....	74
Figure III-5 : Répartition verticale des densités de <i>G. calida</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle-a (courbe noire, mg/m^3) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).	75
Figure III-6: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce <i>N. pachyderma</i> dextre provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).	76
Figure III-7: Répartition verticale des densités de <i>N. pachyderma</i> dextre aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle a (courbe noire, mg/m^3) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).....	77

Figure III-8: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce <i>T. quinqueloba</i> provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).....	78
Figure III-9: Répartition verticale des densités de <i>T. quinqueloba</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle <i>a</i> (courbe noire, mg/m ³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).....	79
Figure III-10: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce <i>G. inflata</i> provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).....	80
Figure III-11: Répartition verticale des densités de <i>G. inflata</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle <i>a</i> (courbe noire, mg/m ³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).....	81
Figure III-12: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce <i>G. scitula</i> provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).....	82
Figure III-13: Répartition verticale des densités de <i>G. scitula</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. Profil de chlorophylle <i>a</i> (courbe noire, mg/m ³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).....	83
Figure III-14: Photographie au microscope électronique à balayage de l'espèce <i>G. glutinata</i> provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).....	84
Figure III-15: Répartition verticale des densités de <i>G. glutinata</i> aux Stations WH, A, B, et D, en Mars et Avril. Profil de chlorophylle <i>a</i> (courbe noire, mg/m ³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).....	84
Figure III-16: Photographie au microscope à balayage électronique de l'espèce <i>G. uvula</i> provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).....	85
Figure III-17: Répartition verticale de <i>G. uvula</i> aux Stations WH, A, B, et D, en Avril. Profil de chlorophylle <i>a</i> (courbe noire, mg/m ³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).....	85
Figure III-18: Photographie au microscope à balayage électronique de l'espèce <i>O. universa</i> provenant du site internet EMIDAS (http://www.emidas.org).....	86
Figure III-19: Répartition verticale de <i>O. universa</i> aux Stations WH, A, B, et D, en Juin. Profil de chlorophylle <i>a</i> (courbe noire, mg/m ³) ; profil de salinité (courbe grise, PSU).....	86
Figure III-20: Assemblages, sur toute la colonne d'eau échantillonnée, aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre.....	89
Figure III-21: Diagramme ternaire entre les espèces <i>N. pachyderma</i> dextre, <i>T. quinqueloba</i> et, à gauche <i>G. inflata</i> ; à droite <i>G. bulloides</i> , aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre.....	90
Figure III-22: Proportions et concentrations moyennes des espèces <i>T. quinqueloba</i> , <i>G. glutinata</i> et <i>G. uvula</i> aux Stations WH, A, B et D aux cinq différentes périodes.....	95
Figure III-24: Carte de situation des Stations Charlie et Delta (Tolderlund et Bé, 1971) et du site BIOTRANS (Schiebel et al., 2001). Source cartographique http://www.aquarius.ifm-geomar.de	104

Partie B

Figure III-25: Représentation des 25 paramètres mesurés par le logiciel analySIS [®]	112
Figure III-26: Représentation graphique des composantes principales 1 et 2 sur les axes X et Y des différentes variables.....	113
Figure III-27: Fréquence de taille des diamètres minimum (µm) des assemblages de foraminifères planctoniques vivants (>100 µm) sur les 100 premiers mètres de la colonne d'eau pour les 4 stations, de Mars à Novembre.....	115
Figure III-28: Distribution verticale des tailles de <i>G. bulloides</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en sp.m ⁻³).....	118

Figure III-29: Distribution verticale des tailles de <i>G. calida</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en sp.m ⁻³).....	119
Figure III-30: Distribution verticale des tailles de <i>N. pachyderma</i> dextre aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en sp.m ⁻³).....	120
Figure III-31 : Distribution verticale des tailles de <i>T. quinqueloba</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en sp.m ⁻³).....	121
Figure III-32 : Distribution verticale des tailles de <i>G. inflata</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en sp.m ⁻³).	122
Figure III-33: Distribution verticale des tailles de <i>G. scitula</i> aux Stations WH, A, B, et D, de Mars à Novembre. La répartition verticale de l'abondance est rappelée (en sp.m ⁻³).....	123
Figure III-34 : Diamètre minimum moyen (µm) et écart type, de Mars à Novembre, pour <i>G. bulloides</i> , <i>G. calida</i> , <i>T. quinqueloba</i> , <i>N. pachyderma</i> dextre, <i>G. inflata</i> , <i>G. scitula</i> , <i>G. glutinata</i> et <i>G. uvula</i> , pour les quatres Stations WH, A, B and D.....	125

CHAPITRE IV

Figure IV-1: Concentrations moyennes de foraminifères planctoniques morts aux Stations WH, A, B and D, de Mars à Novembre : A. en spécimens par mètre cube ; B. en pourcentage par rapport à la faune totale (spécimens morts + spécimens vivants).....	134
Figure IV-2: Rappel de la Figure 7 Chapitre II – Nombre de foraminifères planctoniques morts en nombre de spécimens par mètre cube d'eau de mer échantillonnée (noir : fraction de taille >150 µm ; gris : fraction de taille entre 100-150µm) aux Stations WH, A, B et D, de Mars à Novembre. Le profil de température (°C) est ici figurée par une ligne noir.....	135
Figure IV-1: Diamètre minimum moyen (µm) et écart type des spécimens morts et vivants pour les espèces <i>G. bulloides</i> , <i>T. quinqueloba</i> , <i>G. calida</i> , en Mars, Avril, Juin et Novembre, et <i>N. pachyderma</i> dextre, <i>G. calida</i> , <i>G. inflata</i> et <i>G. scitula</i> , en Mars, Avril et Juin.....	139

CHAPITRE V

Figure V-1: Situation des stations dans le Sud Est du Golfe de Gascogne. Il est rappelé ici les positions des Stations B et D décrites dans les chapitres précédents (Fonds bathymétriques de P. Cirac, Université de Bordeaux 1, EPOC).....	148
Figure V-2 : Profils de température (°C), salinité (PSU) et chlorophylle-a (mg.m ⁻³) aux Stations FP15 et K en Novembre 2007, Mars 2008 et Juillet 2008 dans les 100 premiers mètres.	150
Figure V-3 : Moyennes sur toute la colonne d'eau des concentrations de foraminifères planctoniques vivants aux Stations de Plateau WH, A, B et D, ainsi qu'aux Stations de canyon K et FP15, pour Novembre, Mars et Juillet.	153
Figure V-4: Distribution verticale des concentrations (sp.m ⁻³) de foraminifères planctoniques vivants en Novembre 2007, aux Stations de canyon, K et FP15, ainsi que le rappel des concentrations des Stations WH, A, B et D présentées dans le chapitre II, et les profils de chlorophylle-a et salinité.....	154
Figure V-5: Distribution verticale des concentrations (sp.m ⁻³) de foraminifères planctoniques vivants en Mars 2008, aux Stations de canyon, K et FP15, ainsi que le rappel des concentrations des Stations WH, A, B et D présentées dans le chapitre II, et les profils de chlorophylle-a et salinité.	155

Figure V-6 : Distribution verticale des concentrations (sp.m ⁻³) de foraminifères planctoniques vivants en Juillet 2008, aux Stations de canyon, K et FP15, ainsi que le rappel des concentrations des Stations WH, A, B et D présentées dans le chapitre II, et les profils de chlorophylle- <i>a</i> et salinité.	156
Figure V-7 : Distribution verticale des espèces majeures de foraminifères planctoniques vivants (>100µm) et proportion des espèces sur la faune totale de la colonne d'eau aux Stations K et FP15, en Novembre 2007, Mars 2008 et Juillet 2008.	158
Figure V-8 : Distribution en proportion des principales espèces de foraminifères planctoniques vivants (>100µm) dans les assemblages des stations du Plateau des Landes et la Station D.	160
Figure V-9 : Diagrammes ternaires entre les espèces a. <i>G. calida</i> , <i>G. inflata</i> et <i>N. pachyderma</i> dextre et b. <i>G. calida</i> , <i>G. inflata</i> et <i>T. quinqueloba</i> pour toutes les Stations K, FP15, WH, A, B et D pour les périodes d'échantillonnage: Novembre 2007, Mars 2008 et Juillet 2008.	160
Figure V-10 : Images satellite SeaWiFs [®] de la concentration en chlorophylle- <i>a</i> (mg.m ⁻³) en surface du Golfe de Gascogne en Novembre 2007(1), Mars 2008 (2) et Juillet 2008 (3). Les points noirs représentent les 6 stations de cette étude.	163

CHAPITRE VI

Figure VI-1 : Rappel de la localisation de la Station B (43°50N, 2°03W).....	169
Figure VI-2 : Hauteurs des vagues observées (courbe continue) et calculées (point) à la bouée Brittany (Ouest Finistère). Extrait du Bulletin d'information de PREVIMER – Février-Mars 2008 – n°1 (http://www.previmer.org/newsletter/bulletin_d_informations_de_previmer/).....	170
Figure VI-3 : Hauteur significative et direction des vagues avant la tempête (2/03/2008), pendant (4/03/2008) et après la tempête (7/03/2008) dans le Golfe de Gascogne (http://www.previmer.org/previsions/vagues).	171
Figure VI-4 : Observation satellite de la Chlorophylle- <i>a</i> , calculée sur les 4 derniers jours le 3 Mars 2008 et le 7 Mars 2008 (source : PREVIMER; http://www.previmer.org/previsions/production_primaire).....	171
Figure VI-5 : Débits des principaux fleuves d'Avril 2007 à Mai 2008. Courbe continue : année en cours, courbe pointillée : moyenne sur les 50 dernières années. La zone en gris indique la période d'échantillonnage. Extrait du Bulletin d'information de PREVIMER – Février-Mars 2008 n°1 (http://www.previmer.org/newsletter/bulletin_d_informations_de_previmer/bulletin_previmer).....	172
Figure VI-6 : Concentrations des foraminifères planctoniques en spécimens (>100µm) par m ³ dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau ; a) vivants b) morts ; superposées aux profils de fluorescence (courbe verte), salinité (courbe bleue) température (°C) (courbe rouge) et l'oxygène dissout (µM/kg) (courbe noire) aux deux dates d'échantillonnage.....	173
Figure VI-7 : Composition des assemblages de foraminifères vivants dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau ; a) le 3 Mars 2008 ; b) le 7 Mars 2008.	174
Figure VI-8 : Comparaison entre le 3 Mars et le 7 Mars 2008 des concentrations moyennes des espèces dans les 100 premiers mètres de la colonne d'eau.	175
Figure VI-9 : Comparaison entre le 3 Mars et le 7 Mars 2008 des distributions verticales des concentrations des espèces de foraminifères planctoniques (>100 µm), en spécimen par m ³ de <i>G. bulloides</i> , <i>G. calida</i> , <i>T. quinqueloba</i> , <i>N. pachyderma dextre</i> , <i>G. inflata</i> , <i>G. scitula</i> et <i>G. glutinata</i>	177
Figure VI-10 :Diamètres minimum des foraminifères planctoniques (µm), classé par gamme de 25µm de 100 à 350 µm pour les 100 premiers mètres de la Station B au 3 Mars 2008 (FC5 B) et au 7 Mars 2008	

(FC5 Bx) ; a) Faune totale, b) *spécimens morts*, c) *G. bulloides*, d) *G. calida*, e) *G. inflata*, f) *N. pachyderma* dextre, g) *G. scitula*, h) *G. scitula* comparé aux gammes de tailles à 100-200m, 200-300m et 300-500m au 3 Mars 2008.....179

CHAPITRE VII

- Figure VII-1:** Relation entre la salinité et le $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ provenant de la base de données GISS (<http://data.giss.nasa.gov/o18data/>)..... 190
- Figure VII-2:** Valeurs des isotopes de l'oxygène et du carbone mesurées pour les spécimens de *G. bulloides* en fonction de leur gamme de taille, de la profondeur de prélèvement et de la période d'échantillonnage : lignes rouges : Juin 2006 ; lignes vertes : Avril 2007 ; lignes bleues : Mars 2008. 191
- Figure VII-3:** Valeurs des isotopes de l'oxygène et du carbone mesurées pour les spécimens de *N. pachyderma* dextre en fonction de leur gamme de taille, de la profondeur de prélèvement et de la période d'échantillonnage : lignes rouges : Juin 2006 ; lignes vertes : Avril 2007 ; lignes bleues : Mars 2008. 192
- Figure VII-4:** Valeurs des isotopes de l'oxygène et du carbone mesurées pour les spécimens de *G. inflata* en fonction de leur gamme de taille, de la profondeur de prélèvement et de la période d'échantillonnage : lignes rouges : Juin 2006 ; lignes vertes : Avril 2007 ; lignes bleues : Mars 2008..... 193
- Figure VII-5:** Différentes courbes de calibration du $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite à l'équilibre (VPDB) appliquées aux conditions hydrologiques de Mars 2008, ainsi que les valeurs isotopiques mesurées de *G. bulloides*, *G. inflata* et *N. pachyderma* dextre en Mars 2008 à la Station WH. 194
- Figure VII-6:** Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *G. bulloides* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnages, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour toutes les tailles confondues. 197
- Figure VII-7:** Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *N. pachyderma* dextre et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnage, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour la gamme de tailles 200-250 μm 198
- Figure VII-8:** Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *N. pachyderma* dextre et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnage, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour la gamme de tailles 250-315 μm 199
- Figure VII-9:** Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *G. inflata* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnages, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour la gamme de tailles 200-250 μm 201
- Figure VII-10:** Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *G. inflata* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnages, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour la gamme de tailles 250-315 μm 202
- Figure VII-11:** Valeurs des isotopes de l'oxygène mesurées pour *G. inflata* et de la calcite à l'équilibre en fonction de la profondeur, pour les trois différentes périodes d'échantillonnages, pour les Stations WH et A sur des graphiques séparés, pour les tailles >315 μm 203
- Figure VII-12:** Représentation schématique du $\delta^{18}\text{O}$ a) des espèces profondes sans épines (e.g. *G. truncatulinoides*, *G. inflata*) et b) des espèces de surface (e.g. *G. ruber* et *G. trilobus*) dans l'océan ouvert (d'après Lončarić et al., 2006). 207

Figure VII-13 : Schéma conceptuel de l'interprétation des données isotopiques en termes de profondeur de calcification et déplacement des individus.....	209
Figure VII-14 : Données isotopiques de <i>G. bulloides</i> , <i>N. pachyderma</i> dextre et <i>G. inflata</i> en Juin, à la Station WH, superposées au profil de fluorescence et du $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite à l'équilibre..	211

LISTE TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I-1 : Part alimentaire des organismes (%) dans le régime de plusieurs foraminifères élevés en laboratoire (d'après Hemleben et al., 1989 ; Caron et Bé, 1984).....	23
Tableau I-2 : Coordonnées géographiques, profondeurs et distance à la côte des stations échantillonnées et dates de prélèvement des échantillons.	37

CHAPITRE II

Tableau II-1 . Location of net tows during the five PECH sampling campaigns at Station WH, A, B, and D, in the Plateau des Landes area, south-eastern Bay of Biscay.....	50
---	----

CHAPITRE III

Tableau III-1 : Profondeur moyenne de vie des espèces majeures par saison et en moyenne sur l'année.....	71
Tableau III-2 : Valeurs moyennes et écarts types (std) des préférences en température, oxygène dissout et salinité pour les espèces majeures sur toutes les stations.....	71
Tableau III-3 : Valeurs moyennes et écarts types (std) des préférences de température, oxygène et salinité par espèces mineures et leur profondeur moyenne de vie (MDH) pour les 5 périodes d'échantillonnage.....	88
Tableau III-4 : Indices de diversité : Nombre d'espèce (S), Indice de Shannon-Wiener (H') d'Equitabilité (E), pour chacun des assemblages.....	90
Tableau III-5 : Distribution des profondeurs de vie moyennes (MDH) des principales espèces de foraminifères planctoniques en fonctions des conditions hydrologiques-saisons, basée sur le calcul des MDH, pour Mars (Hiver-début printemps), Avril (bloom printanier), Juin (été) et Novembre (fin automne).....	101
Tableau III-6 : Moyennes annuelles de profondeurs de vie des principales espèces de foraminifères planctoniques en mètre, sur les 5 missions océanographiques, calculées à partir du MDH.....	105
Tableau III-7 : Résultats des données de l'ACP pour les deux premières composantes principales.....	113

CHAPITRE V

Tableau V-1 : Coordonnées, profondeurs, distances par rapport à la côte, au talus et au canyon de Cap Breton, des Stations de Canyon FP15 et K, ainsi que des Stations WH, A, B et D et dates de prélèvement des échantillons.	149
Tableau V-2 : Nombre d'espèces (S), indice de Shannon et Wiener (H') et Equitabilité (E) pour les 100 premiers mètres des stations de canyon.	157

CHAPITRE VII

Tableau VII-1 : Résultats des analyses isotopiques des spécimens de <i>G. bulloides</i> et de <i>N. pachyderma</i> dextre pour les spécimens « grillés » et « non grillés ».	189
Tableau VII-2: Comparaison des quatre équations les plus utilisées pour déterminer les valeurs isotopiques en oxygène de la calcite à l'équilibre.	193
Tableau VII-3: Ecart moyen et leurs incertitudes entre les $\delta^{18}\text{O}$ des tests et le $\delta^{18}\text{O}_{\text{ceq}}$, (Shackleton, 1974), au cours des trois périodes d'échantillonnage, aux deux Stations WH et A pour <i>G. bulloides</i> , toutes tailles confondues et <i>N. pachyderma</i> dextre et <i>G. inflata</i> selon les gammes de tailles.	206

SOMMAIRE ANNEXES

ANNEXE A

STATION WH

Données foraminifères	2
Données Fluxmètre	10
Données CTD	11

STATION A

Données foraminifères	16
Données Fluxmètre	25
Données CTD	26

STATION B

Données foraminifères	31
Données Fluxmètre	41
Données CTD	42

STATION D

Données foraminifères	47
Données Fluxmètre	53
Données CTD	54

STATION K

Données foraminifères	59
Données Fluxmètre	62
Données CTD	63

STATION FP15

Données foraminifères	63
Données Fluxmètre	67
Données CTD	70

ANNEXE B

Dispositif pour l'analyse de taille	75
Exemple d'analyse de taille	76
Exemple de base de données	77

ANNEXE C - ISOTOPES

Etude des rapports entre la taille et le poids des foraminifères	81
Base de données isotopiques des spécimens de <i>G. bulloides</i>	83
Base de données isotopiques des spécimens de <i>N. pachyderma</i> dextre	85
Base de données isotopiques des spécimens de <i>G. inflata</i>	87

ANNEXE D – TABLEAU BIBLIOGRAPHIE ECOLOGIE DES ESPECES

91

ANNEXE A

 **Station WH** 

DONNEES DES FORAMINIFERES

Filet WP2 / PECH 1 / le 22 Juin 2006 / 21h-01h37 TU

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

FC1 WH >150µm

Profondeur (m)	Vivants																TOTAL											
	<i>G. bullioides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20	33			1	1															8	108							151
20-40	234	1		16	116	1						1				86		3		28	129							615
40-60	361			14	55							26				345	2		37		20							860
60-80	236	3		4	41					1		21	1			157	1	5	18	1	5					1		497
80-100	114	2		3	6							10				87		2	16		2							244
100-200	37	2		2	3							6	91			78			32	7	34							295
200-300	117	2		3	8							18	291			85		1	15	4	3							550
300-500	19											8	129			21		1	2	5								186
500-700	5				2								16			7		6	3								1	40
Total	1156	10		43	232	1	11			1		90	528			866	3	18	123	53	301						2	3438

FC1 WH 100-150µm

Profondeur (m)	Vivants																TOTAL											
	<i>G. bullioides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20					2									1							1							4
20-40	8	1		1	39											9					7							65
40-60	13				3							3	1			54					8							82
60-80	7				24							1	3			20	2	2			4							63
80-100	19	1		1	24								2			17	1	1			2							68
100-200	14				79							3	189			37					8							330
200-300	11			1	25								135			11		3										186
300-500	2	1			16							2	102			5												128
500-700																												0
Total	74	3		3	212							9	433			153	3	6			30							926

Filet WP2 / PECH 1 / le 22 Juin 2006 / 21h-01h37 TU

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

FC1 WH >150µm

Profondeur (m)	Morts																TOTAL											
	<i>G. bullioides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20				1																								1
20-40																												0
40-60	3																											3
60-80	2																											2
80-100	3			1	1											2												7
100-200	7				1		1													1	2							12
200-300	16			1	6											1												26
300-500	63	1		1	2							1	1			1					1							70
500-700	47				1								3			2												53
Total	141	1		4	11		1					1	5			6				1	1	2						174

FC1 WH 100-150µm

Profondeur (m)	Morts																TOTAL											
	<i>G. bullioides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20	2															2												4
20-40																												0
40-60																												0
60-80	1				1																							2
80-100					22											1												23
100-200	6			1	21			4											1									34
200-300	2				29		1					1	8															41
300-500	18			3	44							1	10															76
500-700	17		2	11	11			9					10			1												61
Total	46		2	15	128		1	13				2	29			4		1										241

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

FC3 WH >315µm

Morts		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. redeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20																													0
	20-40	2																												2
	40-60	2												2																4
	60-80	1											1																	2
	80-100																													0
	100-200	1																												1
	200-300																													0
	300-500													2																2
	500-700																													0
	Total	6											5																	11

FC3 WH 150-315µm

Morts		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. redeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20																													0
	20-40	13					1	1					1											1						17
	40-60	16				4							2					1												23
	60-80	18		3	14		2						6					9												52
	80-100	1			3																									4
	100-200	9	1	17	1		2						5					2												37
	200-300	21		3			1											7		1										33
	300-500	9		3			3	1					6					14												36
	500-700	18		2	4		1																							25
	Total	105	1	28	26	1	10	1					20					33		1				1						227

FC3 WH 100-150µm

Morts		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. redeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20	4				70											1								1					76
	20-40	1				43							5						1						3					56
	40-60	4		4	115		6	3					1	4				30		1										167
	60-80	13		8	130		25	4					8					38												226
	80-100	13		8	88		4	1					1	9				9							4					137
	100-200	27	1	18	136		14	5					16	1				15												233
	200-300	57		10	176		14	1					9					23							2					292
	300-500	23	2	5	92		14	1					4	2				10												153
	500-700	36		2	131	2	6	1					2	4				11	1											196
	Total	178	3	55	981	2	83	19					1	54	11			137	1	1					10					1536

Filet WP2 / PECH 4 / le 25 Novembre 2007 / 15h-17h TU (0-100 m)

le 28 Novembre 2007 / 8h- 12h30 TU (100-700 m)

problème déclencheur, filet déchiré et connectiques

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

aucun spécimen en >315µm

FC4 WH 150-315µm

Profondeur (m)	FC4 WH 150-315µm														TOTAL															
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>		<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	2									1																				3
0-40	5												1																7	
40-60	3																												3	
0-80	3												1																4	
0-100	12				2	1								6				1											22	
100-200															2														2	
200-300														1															1	
300-500													1																1	
500-700														2															2	
Total	25			2	1					1			11	3			1												45	

FC4 WH 100-150µm

Profondeur (m)	FC4 WH 100-150µm														TOTAL														
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>		<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20	13												3				2	1											19
0-40	3							1					2																6
40-60	6					2																							8
0-80	13					3	1						4				2												23
0-100	17				7	8							4	1			7												44
100-200														4															4
200-300																													0
300-500														4															4
500-700													3	3															6
Total	52			7	13		2						16	12			11	1											114

Filet WP2 / PECH 4 / le 25 Novembre 2007 / 15h-17h TU (0-100 m)

le 28 Novembre 2007 / 8h- 12h30 TU (100-700 m)

problème déclencheur, filet déchiré et connectiques

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

aucun spécimen en >315µm

FC4 WH 150-315µm

Profondeur (m)	FC4 WH 150-315µm														TOTAL														
	Morts	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>		<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20	1																1												2
0-40																													0
40-60																													0
0-80																													0
0-100	1																												1
100-200	2																												2
200-300																													0
300-500																													0
500-700	1																1												2
Total	5																2												7

FC4 WH 100-150µm

Profondeur (m)	FC4 WH 100-150µm														TOTAL														
	Morts	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>		<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20																													0
0-40	2			1																									3
40-60					1													1											2
0-80	4																												4
0-100	3			2																									5
100-200	2																												2
200-300										1				3				1										1	5
300-500	2		1									1						5											9
500-700	5		4	4		2			1			1					1												18
Total	18		8	5		2			2			2	3				8										1	48	

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

FC5 WH >315µm

		FC5 WH >315µm																TOTAL												
Vivants		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
Profondeur (m)	0-20																													0
	20-40													1																1
	40-60													2																2
	60-80																													0
	80-100																													0
	100-200	1												1																2
	200-300																													0
	300-500																													0
	500-700																													0
	Total	1												4																5

FC5 WH 150-315µm

Vivants		FC5 WH 150-315µm																TOTAL												
Profondeur (m)	0-20	76		3	1								56	1	1		52	1												191
	20-40	28											1	27	1	1		13												71
	40-60	43		11									1	46	3	2		16									3			125
	60-80	18		5										24		2		7												56
	80-100	7												9				4												20
	100-200	21						3					2	12	9			10												57
	200-300	5												8	9			5												27
	300-500	9						1					2	9	2	4		5												32
	500-700	1												4																5
	Total	208		19	1		4						6	195	25	10		112	1								3			584

FC5 WH 100-150µm

Vivants		FC5 WH 100-150µm																TOTAL												
Profondeur (m)	0-20	15		7	22	8						1	24	26			141	1												305
	20-40	19		4	9	6								21				21	1											81
	40-60	30		6	16	4						5	45	103			39													248
	60-80	25		9	5	2							26	31	4	1	16	1												120
	80-100	15			5									13	9			10		2										54
	100-200	38			2	6						1	41	137			24													249
	200-300	12		6	2	2						1	10	96			11									1				141
	300-500	15	1	1	10	3							10	31	7	1	14													93
	500-700	2			3								6	1			3													15
	Total	171	1	33	74	31						8	196	434	11	2	279	3	2							1				1306

Multinet / PECH 5 / le 2 Mars 2008 / 7h11-8h49 TU

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

FC5 WH >315µm

Profondeur (m)	Morts																				TOTAL								
	<i>G. bullioides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade		<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20																													0
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																													0
200-300																													0
300-500																													0
500-700																													0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FC5 WH 150-315µm

Profondeur (m)	Morts																				TOTAL								
	<i>G. bullioides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade		<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	6				2												2												10
20-40																													0
40-60	3											1					1												5
60-80	8											3																	11
80-100	1																												1
100-200	1																												1
200-300	3												1				2												7
300-500	13												3																20
500-700	1																												1
Total	36				2							9					5												56

FC5 WH 100-150µm

Profondeur (m)	Morts																				TOTAL								
	<i>G. bullioides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade		<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20																	1												2
20-40	3											4																	10
40-60	13				5	2						1					10												31
60-80	10					4						4	2				17												37
80-100						1						4					6												12
100-200	6					11						5					4	1											27
200-300	16					6						3	1				4												30
300-500	31					16						16	3	2			24												92
500-700	3					3						5	1				1												13
Total	82				5	46						42	7	2		67	1												254

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

FC6 WH >315µm

Profondeur (m)	FC6 WH >315µm																	TOTAL											
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. infata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20																													0
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																													0
200-300																													0
300-500																											1		0
500-700																													0
Total																											1		1

FC6 WH 150-315µm

Profondeur (m)	FC6 WH 150-315µm																	TOTAL											
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. infata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	2		1									3	1									1						8	
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																1													1
200-300	1												2															3	
300-500												3				1												4	
500-700												1															1	2	
Total	3		1								3	7			2						1					1	18		

FC6 WH 100-150µm

Profondeur (m)	FC6 WH 100-150µm																	TOTAL										
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. infata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20	4										2	1			1													8
20-40	3										3					2												8
40-60	1																											1
60-80																1												1
80-100																1												1
100-200																												0
200-300												8																8
300-500	3											11																14
500-700												1				1												2
Total	11										5	21			6												43	

Filet WP2 / PECH 6 / le 8 Juillet 2008 / 12h21-17h40 TU

Station WH ; 44°32N - 2°45W ; 2000 m

Aucun spécimen dans la fraction >315µm

FC6 WH 150-315µm

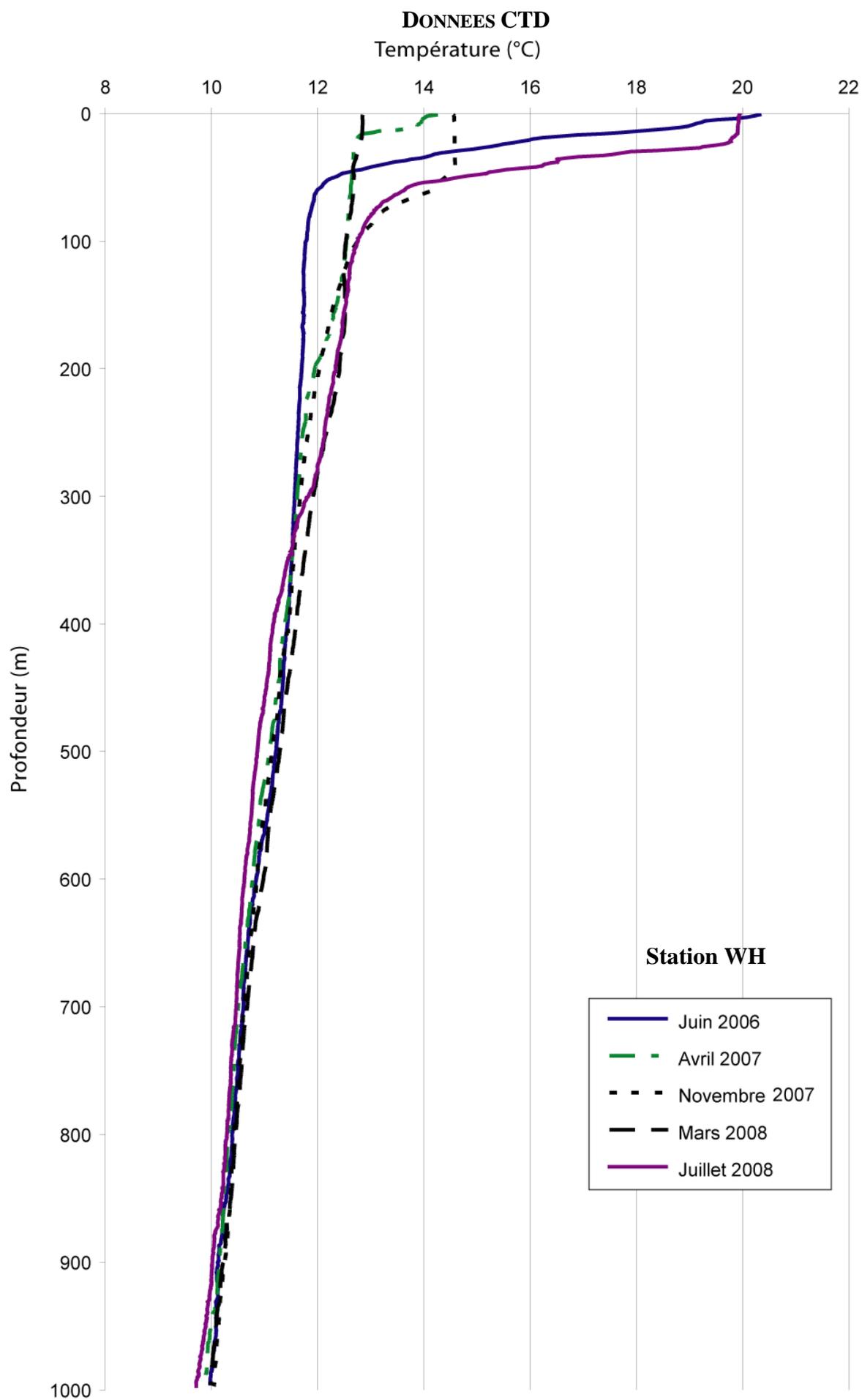
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Morts	1																												
0-20	1																												1
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																													0
200-300																													0
300-500					1																								1
500-700																													0
Tota	1			1																									2

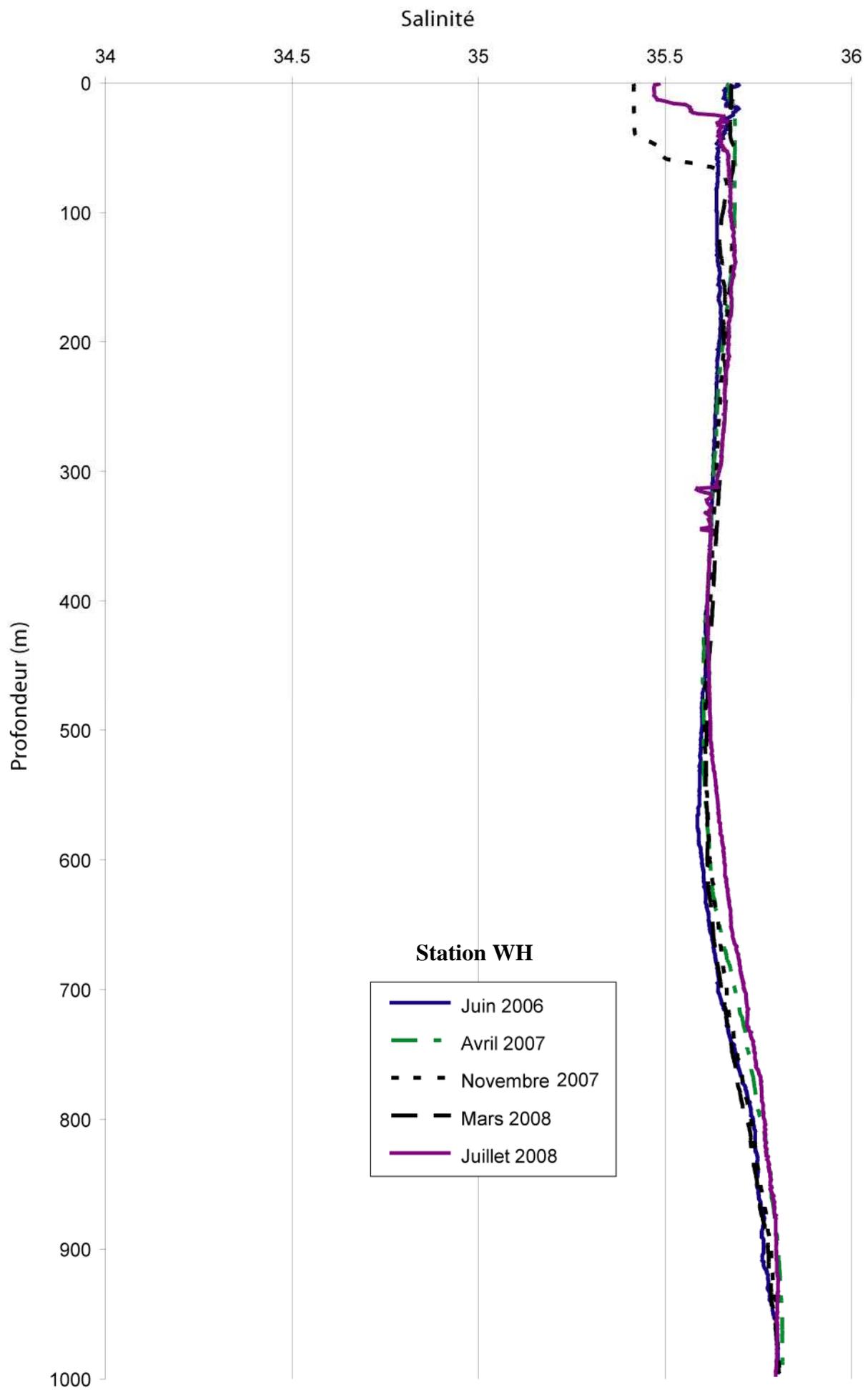
FC6 WH 100-150µm

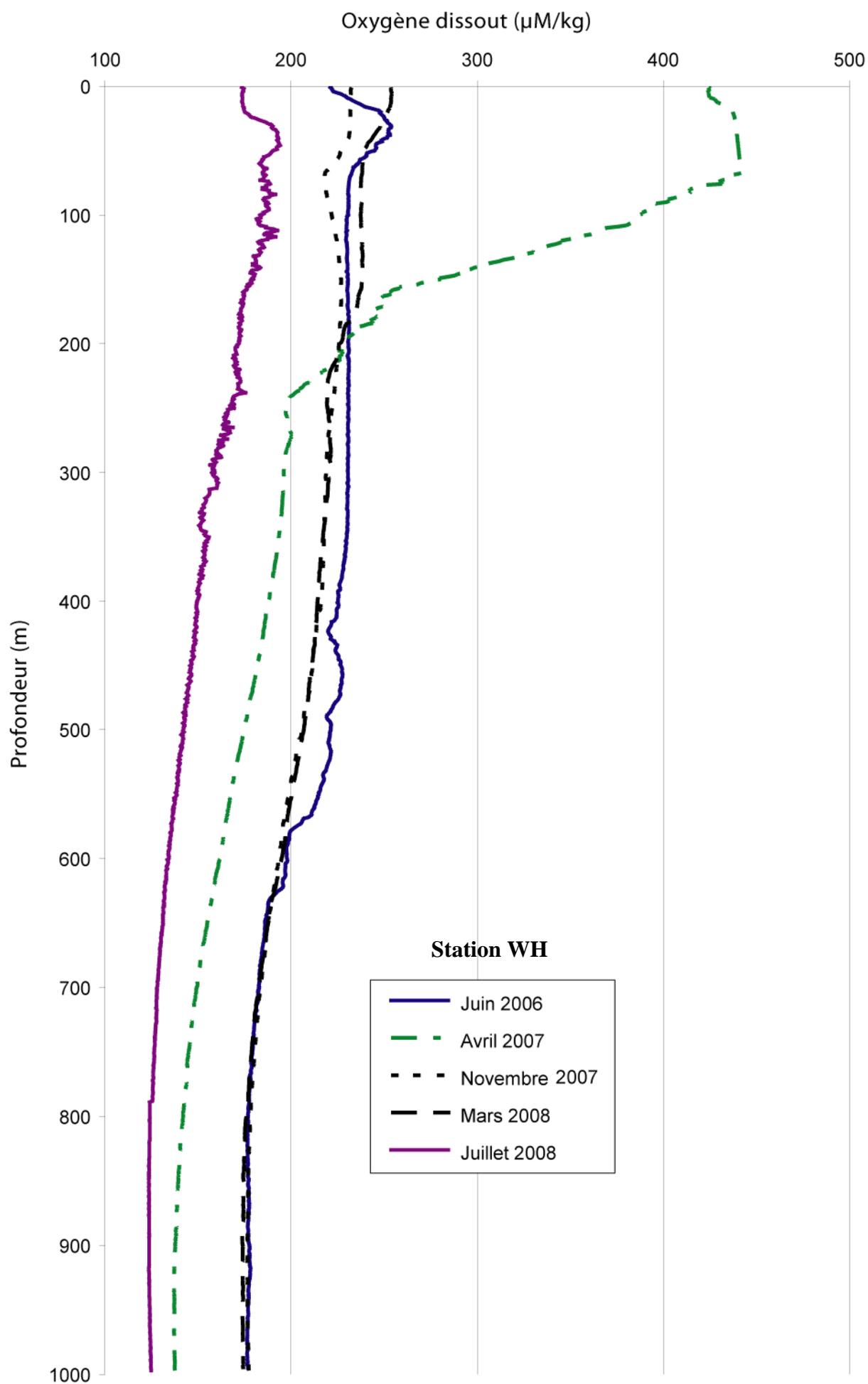
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Morts	7				2								1	1			1												12
0-20	7				2								1	1			1												12
20-40	3				1																								4
40-60																													0
60-80																													0
80-100	1																												1
100-200																													0
200-300																													0
300-500																													0
500-700																													3
Tota	14			2	3								1	1			1												22

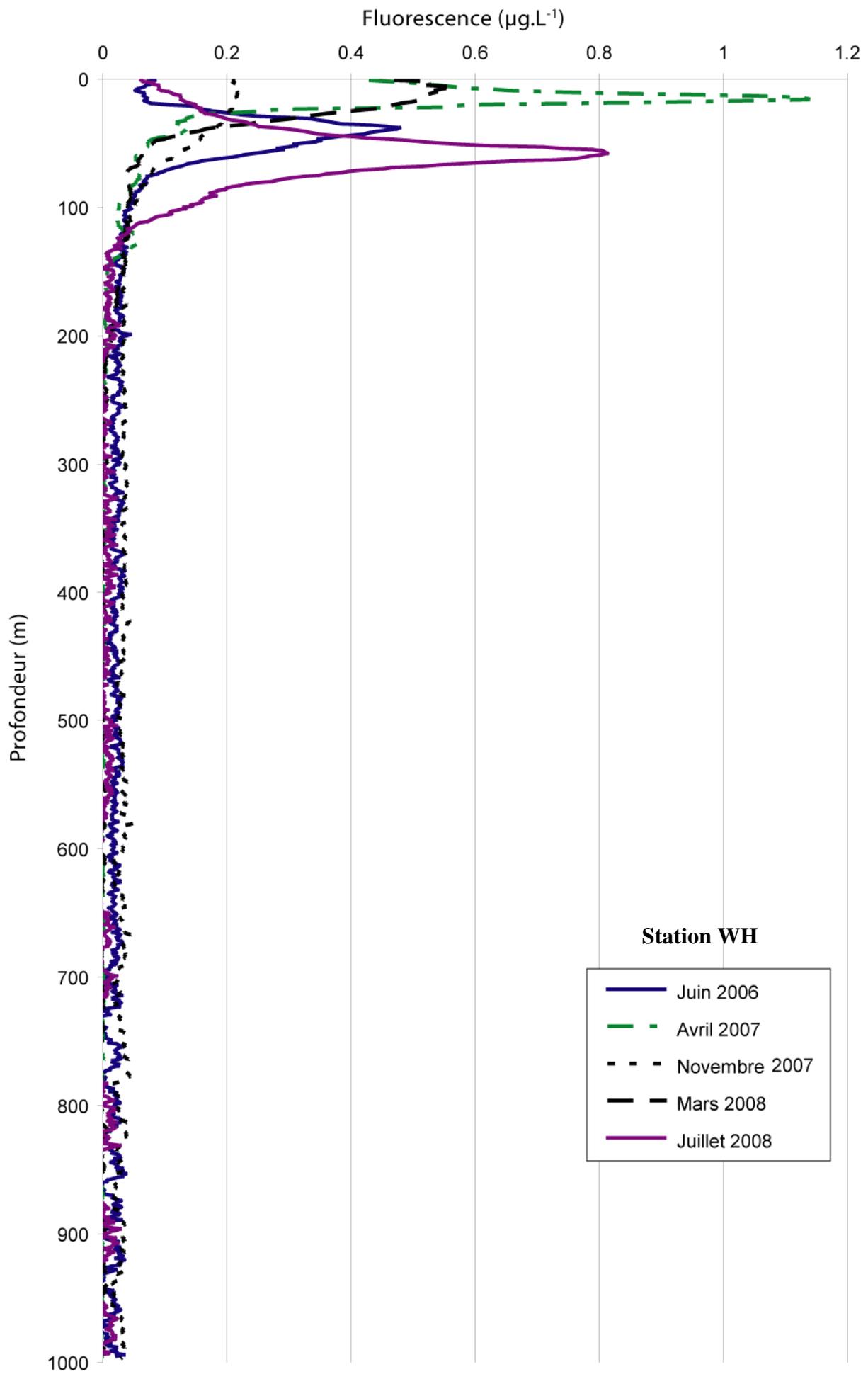
DONNEES DU FLUXMETRE

PECH 1		filet WP2	PECH 3		filet WP2
FC1 WH			FC3 WH		
		m3			m3
Profondeur (m)	0-20	13.08	Profondeur (m)	0-20	3.37
	20-40	14.08		20-40	3.75
	40-60	14.38		40-60	4.13
	60-80	19.51		60-80	5.74
	80-100	24.94		80-100	6.50
	100-200	61.26		100-200	22.49
	200-300	84.23		200-300	16.91
	300-500	77.04		300-500	27.08
	500-700	87.29		500-700	58.29
PECH 4		filet WP2	PECH 5		Multinet
FC4 WH			FC5 WH		
		m3			m3
Profondeur (m)	0-20	8.72	Profondeur (m)	0-20	9
	0-40	12.93		20-40	9
	40-60	12.70		40-60	7
	0-80	28.46		60-80	11
	0-100	47.20		80-100	8
	100-200	35.19		100-200	37
	200-300	44.29		200-300	60
	300-500	76.12		300-500	101
	500-700	80.94		500-700	91
PECH 6		filet WP2			
FC6 WH					
		m3	Choix		
Profondeur (m)	0-20	<i>-3020.60</i>	7		
	20-40	<i>3035.44</i>	7		
	40-60	7.42			
	60-80	8.72			
	80-100	11.86			
	100-200	7.19			
	200-300	98.84			
	300-500	173.88			
	500-700	12.09			









ANNEXE

👉 **Station A** 👈

DONNEES DES FORAMINIFERES

Filet WP2 / PECH 1 / le 23 Juin 2006 / 14h45-18h15 TU

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC1 A >150µm

Profondeur (m)	FC1 A >150µm															TOTAL															
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. saeculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>		<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
0-20	15			5	0									4			7	1		3	7	43									85
20-40	49	1		4	4		1							6			6				1	41								113	
40-60	90	2		4	3								2	2			13		1		2	59								178	
60-80	59			3	1								7	7			31	1	3			1								113	
80-100	15	1		7	1		1						4	9			15		2			2								57	
100-200	18	1		3	0		1						41	211			35			2	1									313	
200-300	4			1	0								16	234			10													265	
300-500				2	0								9	201			1											2		215	
500-700					0									36			1		1									1		39	
Total	250	5		29	232		3						79	710			119	2	7	5	13	144					3		1378		

FC1 A 100-150µm

Profondeur (m)	FC1 A 100-150µm															TOTAL														
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. saeculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>		<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	1				5									13			5					6								30
20-40	11			1	22									1			9					5								49
40-60	27				32								4	3			27		5			26								124
60-80	32				37								7	17			27					3								123
80-100	18				34								8	44			14					3								121
100-200	8			2	2								13	425			28													478
200-300	16				5									244			3													268
300-500														237																237
500-700	1																													1
Total	114			3	232								32	984			113	5				43								1431

Filet WP2 / PECH 1 / le 23 Juin 2006 / 14h45-18h15 TU

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC1 A >150µm

Profondeur (m)	FC1 A >150µm															TOTAL														
	Morts	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. saeculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>		<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	89	5		1	1					1				12			3													112
20-40	11			1	0												1													13
40-60	5				0									1																6
60-80	4				0																									4
80-100	2				0																									2
100-200	1				1									1			8													11
200-300	6				0		1							1		6														14
300-500	19	1		5	1								1	4		19		3			8									61
500-700	23		1		1		1						1	1		19	1													48
Total	160	6		6	232		2						3	19		56	1	3			8									271

FC1 A 100-150µm

Profondeur (m)	FC1 A 100-150µm															TOTAL														
	Morts	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. saeculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>		<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	13				34				7					14		5														73
20-40	1			1	4									4		2														12
40-60	1				1									3																5
60-80	1			1	4									1		2														9
80-100	2				4								2	1		3							1							13
100-200	5			7	47			1						19		29														108
200-300	1	1			53								4	7		11														77
300-500	15	1		4	113		6						8	20		21						1								189
500-700	19				58									54																131
Total	58	2		13	232		6						14	123		73					2									617

Filet WP2 / PECH 3 / le 16 Avril 2007 / 7h54-12h TU

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC3 A >315µm

Profondeur (m)	FC3 A >315µm																	TOTAL													
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
0-20	71				104		8	10					6	0			14		2		1										216
20-40	188		24		128		23	13					23	0			39	2			1									441	
40-60	93		20		71		35	7					47	4			64						3							344	
60-80	65		3		48		20	9					51	7			50													254	
80-100	41		3		35		9	0				1	51	9			38	2		1										190	
100-200	42		7		26		27	5				12	164	33			92													408	
200-300	18		5		13		2	9				4	11	11			20	2		3							3		101		
300-500	9		2		1	2	0	3				8	2	2			4											1	34		
500-700	3		2		6							2	5	0			4											1	23		
Total	530		66		432	2	124	56				27	360	66			325	6	2	4	2	3					5		2011		

FC3 A 150-315µm

Profondeur (m)	FC3 A 150-315µm																	TOTAL												
	Vivants																													
0-20	23		21		5								2				2		2											55
20-40	82		69				1						6				8													166
40-60	37		39		1		6						30				27		1				3							144
60-80	13		21		3		1						31	1			24		1											95
80-100	8		14										24				10			1										57
100-200	12		7		1		2					5	93				39		2											161
200-300	7		5									3	7				7	1		3										33
300-500	1					2						7																		10
500-700	1		2									2	2																	7
Total	184		178		10	2	10					17	195	1			117	1	6	4		3								728

FC3 A 100-150µm

Profondeur (m)	FC3 A 100-150µm																	TOTAL												
	Vivants																													
0-20	10		23		99		8	10					3				11													164
20-40	50		24		128		25	13					17				32	2	2											293
40-60	30		18		70		29	6					14	4			38													209
60-80	19		7		44		19	9					16	6			27													148
80-100	20		1		35		10	8					26	9			29	1												139
100-200	27				23		28	5				4	63	37			55													242
200-300	11				12		4	9					4	11			11	1												63
300-500	8				2			3					2	2			5													22
500-700	2				6								3				4													15
Total	177		73		419		123	63				4	148	69			1	212	4	2										1295

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC3 A >315µm

Profondeur (m)	Morts																	TOTAL											
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	4				8	1						0	0			3												1	18
20-40	117			5	195	12	0					11	0			20	3												363
40-60	25				62		1					4	0			7											1	100	
60-80	20				56		5	1				6	3			17											1	109	
80-100	15				72		3	0				1	1			4												96	
100-200	80			4	122		30	5				18	7			45	1									3	315		
200-300	95				203	1	25	0				14	1			37												378	
300-500	80	2		6	245	6	35	12				9	3			22	2											422	
500-700	73	2		4	221		32	9				6	1			21	1											370	
Total	509	4		21	1184	7	143	28				69	16			176	7									6	2171		

FC3 A 150-315µm

Profondeur (m)	Morts																	TOTAL										
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20					1																							1
20-40	37			15	12							4				1								1				70
40-60	3			1				1								1							1					7
60-80	7				2		1					2				1												13
80-100	7				4							1				3												15
100-200	18			4	1		2					5				14												44
200-300	40				1		5					5				23												74
300-500	20			3	3	2	4					3				5												40
500-700	21			4	2		6					5				4												42
Total	153			27	26	2	18	1				25				52							2				306	

FC3 A 100-150µm

Profondeur (m)	Morts																	TOTAL										
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20	2			2	7		1		1							3								1				17
20-40	41			18	181		12					7				21	3											283
40-60	14				62			1				4				4								2	1		88	
60-80	10			3	54		4	1				4	3			14								5	1		99	
80-100	9				68		3						1			1											82	
100-200	55				117		31	5				12	7			36	1							12	3		279	
200-300	53				202		23					9	1			20								3			311	
300-500	60	2			242	3	28	12				6	3			19	2							9			386	
500-700	50	2			219		26	8				1	1			17	1										325	
Total	294	4		23	1152	3	128	27	1			43	16			135	7							32	5		1870	

Filet WP2 / PECH 4 / le 28 Novembre 2007 / 18h30-20h40 TU

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC4 A >315µm

Profondeur (m)	FC4 A >315µm														TOTAL															
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>		<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	1			11								3				4					1	3								23
20-40				25						1		14				5														45
40-60	4			7								6				2														19
60-80	4			4								3																		11
80-100	4			13								4																		21
100-200				2								3																		5
200-300																														0
300-500																														0
Total	13			62						1		33				11					1	3								124

FC4 A 150-315µm

Profondeur (m)	FC4 A 150-315µm										TOTAL																			
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>		<i>G. trilobus trilobus</i>																		
0-20	15		23								24		25								8									95
20-40	18		42								23		25																	108
40-60	30		62	1						2	49																			144
60-80	11		38								17		7																	73
80-100	7		105								32		11																	155
100-200			12								17	1	4																	34
200-300			6								7		3																	16
300-500	3		14								9	1	9																	36
Total	84		302	1						2	178	2	84								8									661

FC4 A 100-150µm

Profondeur (m)	FC4 A 100-150µm										TOTAL																				
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>		<i>G. trilobus trilobus</i>																			
0-20	2		27	10		2					22		18																		81
20-40	18		22	17		1				2	16	5	24																		105
40-60	9		124	15		2				3	15		13																		181
60-80	17		90	7		3					14		6		2																139
80-100	17		94	11							13		5																		140
100-200	6		23	5							5	21	7																		67
200-300	5		24	5						1	2	23	4																		64
300-500	7		38	6		2				1	18	18	9																		99
Total	81		442	76		10				7	105	67	86																		876

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC4 A >315µm

		FC4 A >315µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinooides sen</i>	<i>G. truncatulinooides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20																													0
	20-40																													0
	40-60																													0
	60-80																													0
	80-100				1																									1
	100-200																													0
	200-300																													0
	300-500																													0
	Total				1																									1

FC4 A 150-315µm

		FC4 A 150-315µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinooides sen</i>	<i>G. truncatulinooides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20	2		1							2																		5	
	20-40																													0
	40-60																													0
	60-80																													0
	80-100	1																											1	
	100-200			7										4															11	
	200-300	3		1										1															5	
	300-500	6		4							1																		11	
	Total	12		13							3			5															33	

FC4 A 100-150µm

		FC4 A 100-150µm																											
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinooides sen</i>	<i>G. truncatulinooides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Profondeur (m)	0-20	6											2																8
	20-40	1																1											2
	40-60												1					1											2
	60-80				11																								11
	80-100				16	1																							17
	100-200	7			21	5							2															35	
	200-300	5	2		16	9									3			1										36	
	300-500	10			29	20		1					4	1				1										66	
	Total	29	2		93	35		1					9	4				4										177	

Multinet / PECH 5 / le 2 Mars 2008 / 12h10-14h TU

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC5 A >315µm

Profondeur (m)	FC5 A >315µm																	TOTAL											
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20																													0
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																													0
200-300																													0
300-500													1																1
500-700			1																										1
Total			1									1																	2

FC5 A 150-315µm

Profondeur (m)	FC5 A 150-315µm										TOTAL	
	Vivants											
0-20	36	39	13	2				105		68		263
20-40	28	7	3	2				58	5	36		139
40-60	18	24					1	46	3	33		126
60-80	6	3		1			1			4		15
80-100	1							1		5	1	8
100-200	5	1		1			1	18	3	6		35
200-300	16	3						40	20	12		91
300-500	8			2				11		5		26
500-700	1	1						3		1		6
Total	119	78	16	8			3	282	31	170	1	709

FC5 A 100-150µm

Profondeur (m)	FC5 A 100-150µm										TOTAL	
	Vivants											
0-20	48	34	103	66				204	40	296	1	792
20-40	27	12	23	18				15	80	60	1	309
40-60	30	7	22	17				1	63	62		261
60-80	10	3	1	3					16	30		76
80-100	3	4	3	2					8	20		50
100-200	24	2	6	2				1	14	47		118
200-300	32	21	15	9				6	42	150		326
300-500	6	9	6					3	10	11	1	58
500-700	5			2					5	2		17
Total	185	92	179	119				26	442	422	2	2007

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC5 A >315µm

Profondeur (m)	Morts																				TOTAL							
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>		<i>O. universa</i>	<i>O. universa FSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20																					0							
20-40																					0							
40-60																					0							
60-80																					0							
80-100																					0							
100-200																					0							
200-300																					0							
300-500																					0							
500-700																					0							
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FC5 A 150-315µm

Profondeur (m)	Morts										TOTAL																		
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>																			
0-20	4				1				2																			1	11
20-40	2																												4
40-60					3																								3
60-80	3																												5
80-100	2																												3
100-200																													0
200-300	8																												11
300-500	8																												15
500-700	5				1																								7
Total	32				1	4			2																				59

FC5 A 100-150µm

Profondeur (m)	Morts										TOTAL																		
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>																			
0-20	2				5						1	1																	14
20-40	5				3	7			2			1	2																23
40-60	9				3	10							4																31
60-80	3				1				1				2	2															10
80-100	4					3							1	1															9
100-200	1					1																							4
200-300	32				4	49			4				15	6															135
300-500	6				2	4			3				11	1	2														33
500-700	10					7			2				5																24
Total	72				13	86			12				1	41	11	2													283

Filet WP2 / PECH 6 / le 9 Juillet 2008 / 7h28-12h31 TU

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

FC6 A >315µm

Profondeur (m)	FC6 A >315µm																TOTAL												
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>		<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20																													0
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																											8		8
200-300																							1						1
300-500																													0
500-700																													0
Total																							1				8		9

FC6 A 150-315µm

Profondeur (m)	FC6 A 150-315µm										TOTAL	
	Vivants											
0-20	1								1			2
20-40												0
40-60												0
60-80												0
80-100												0
100-200						2	3			1		6
200-300							2					2
300-500												0
500-700												0
Total	1								1	2	5	10

FC6 A 100-150µm

Profondeur (m)	FC6 A 100-150µm										TOTAL	
	Vivants											
0-20	1											1
20-40												0
40-60												0
60-80												0
80-100						1	2					3
100-200	1						9			2		12
200-300							6					6
300-500												0
500-700	1											1
Total	3					1	17			2		23

Station A ; 44°10N - 2°20W ; 1000 m

Aucun spécimen dans la fraction >315µm

FC6 A 150-315µm

Profondeur (m)	Morts																	TOTAL											
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20												2																2	
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																													0
200-300																													0
300-500																													0
500-700																													0
Total												2																2	

FC6 A 100-150µm

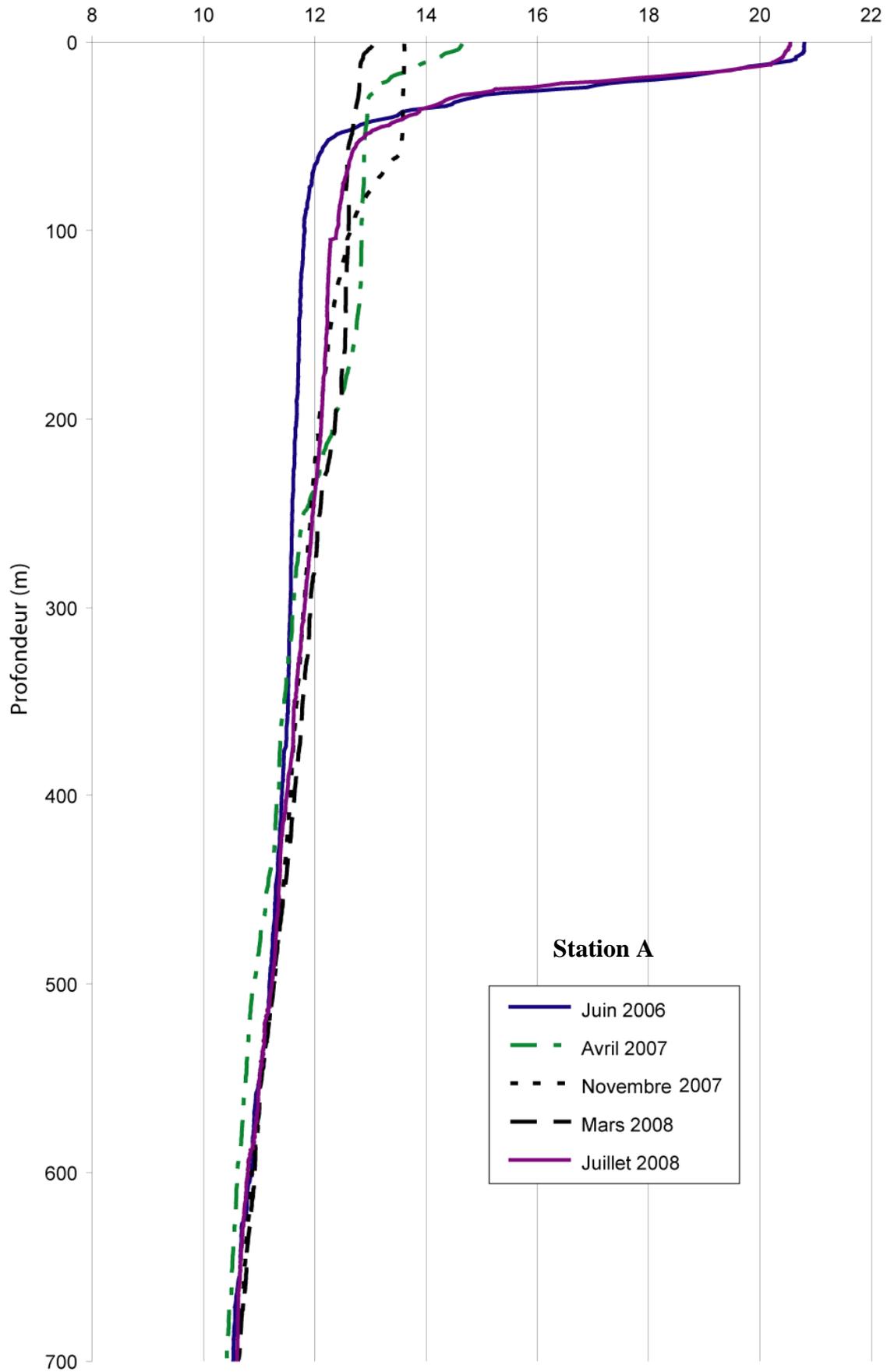
Profondeur (m)	Morts																	TOTAL											
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20																												0	
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																													0
200-300																													2
300-500																													0
500-700																													0
Total	1																											2	

DONNEES DU FLUXMETRE

PECH 1		filet WP2		PECH 3		filet WP2	
FC1 A				FC3 A			
		m3				m3	
Profondeur (m)	0-20	14.69		0-20	5.66		
	20-40	14.69		20-40	7.57		
	40-60	13.08		40-60	10.56		
	60-80	17.06		60-80	6.35		
	80-100	18.44		80-100	10.63		
	100-200	69.77		100-200	33.81		
	200-300	63.42		200-300	31.98		
	300-500	93.79		300-500	64.34		
	500-700	149.79		500-700	57.53		
PECH 4		filet WP2		PECH 5		Multinet	
FC4 A				FC5 A			
		m3				m3	
Profondeur (m)	0-20	0.23	10 m ³	0-20	8		
	20-40	18.36		20-40	6		
	40-60	10.79		40-60	10		
	60-80	10.79		60-80	9		
	80-100	12.85		80-100	7		
	100-200	30.14		100-200	34		
	200-300	35.34		200-300	32		
	300-500	40.62		300-500	54		
			500-700	65			
PECH 6		filet WP2					
FC6 A							
		m3					
Profondeur (m)	0-20	3.75					
	20-40	4.13					
	40-60	6.89					
	60-80	9.41					
	80-100	11.70					
	100-200	32.90					
	200-300	42.15					
	300-500	8.26					
	500-700	19.51					

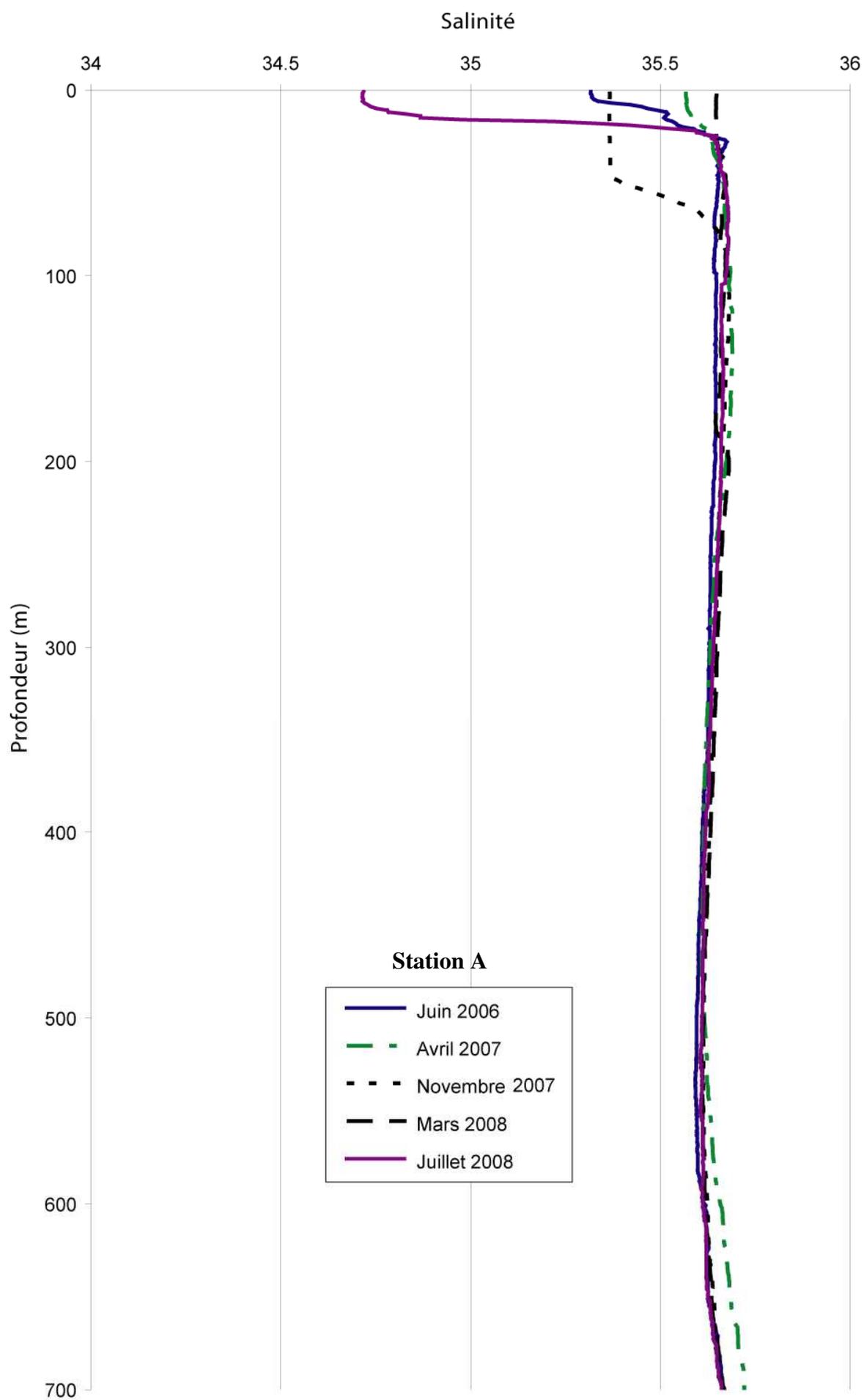
DONNEES CTD

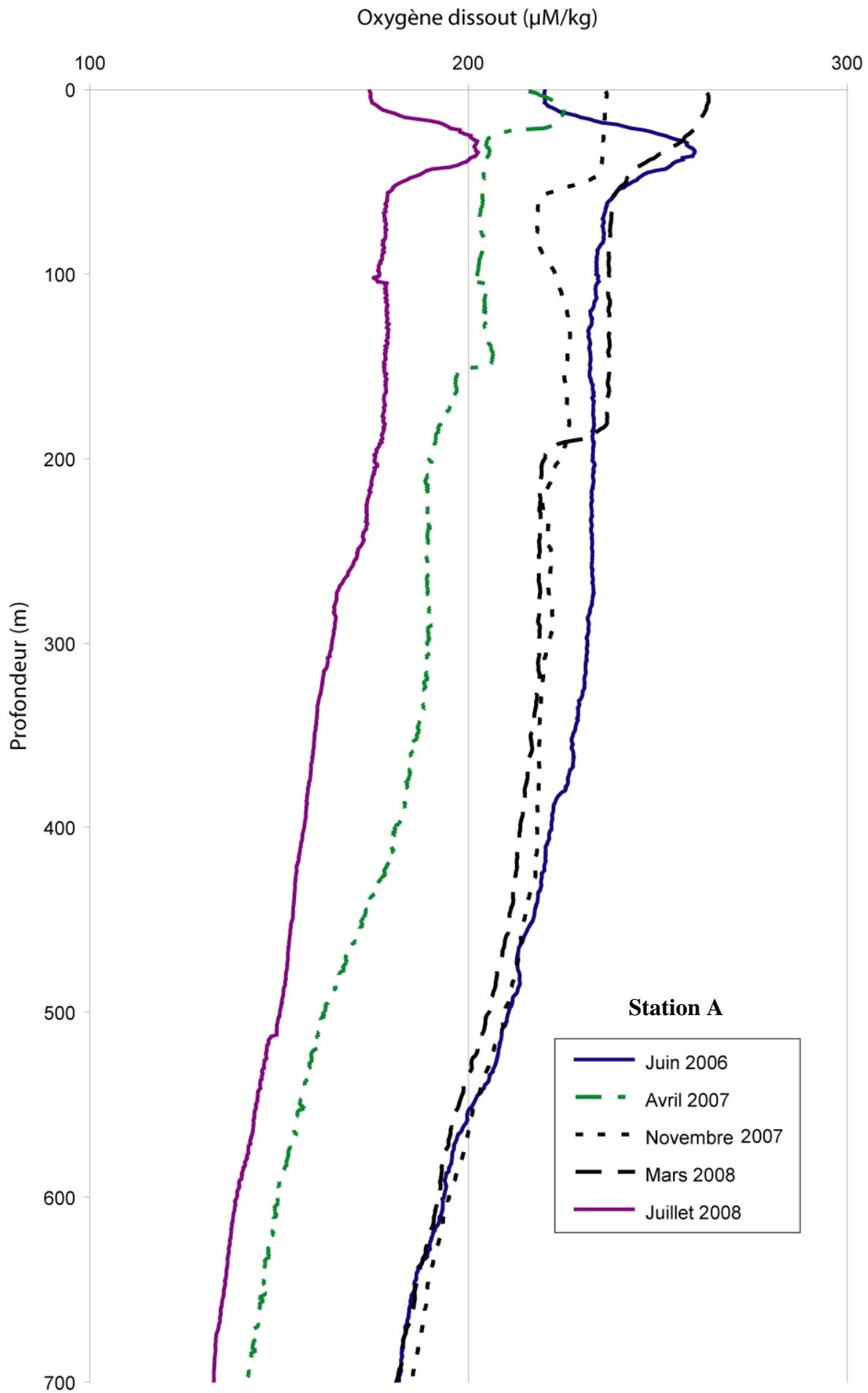
Température (°C)

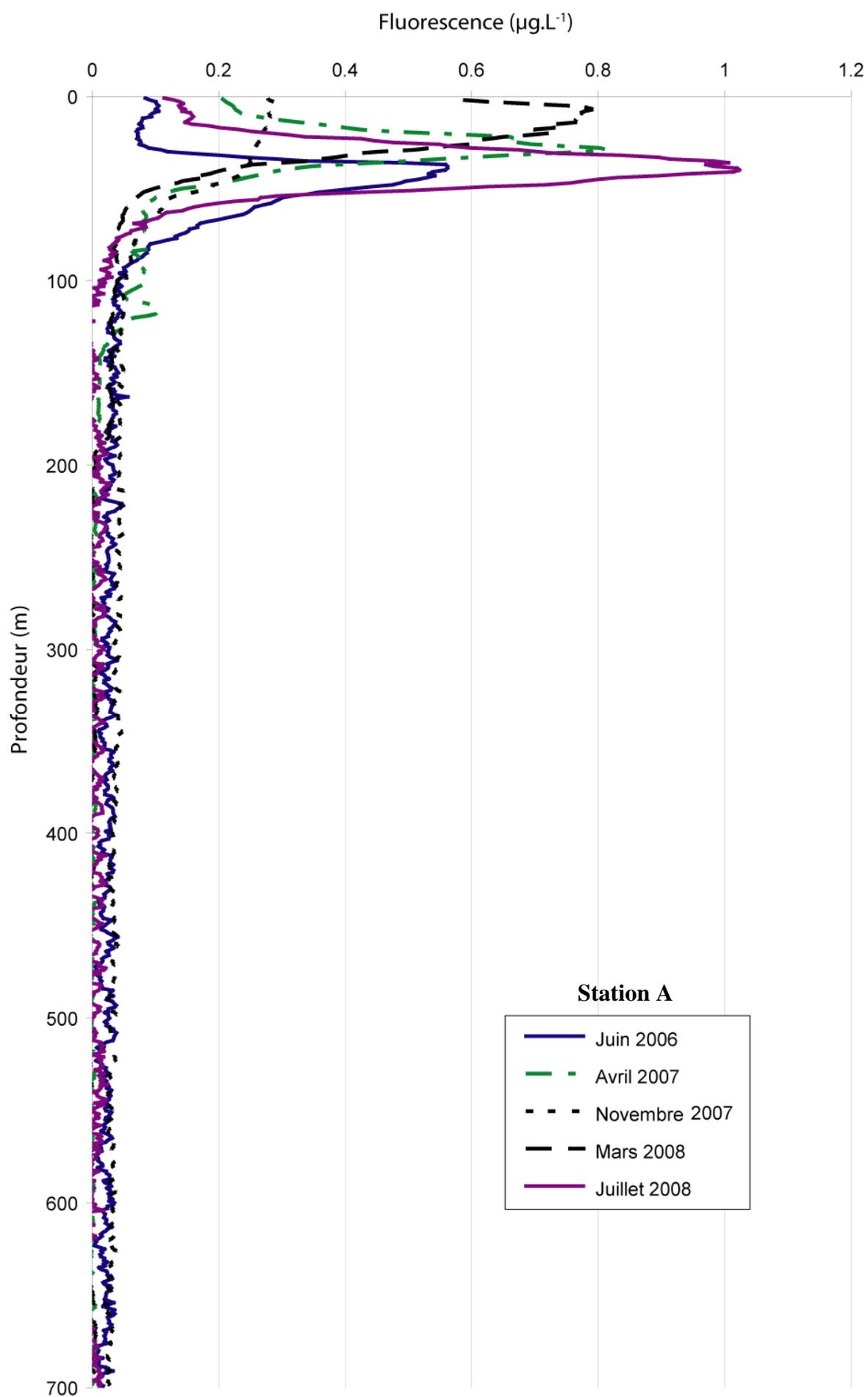


Station A

- Juin 2006
- - Avril 2007
- - Novembre 2007
- Mars 2008
- Juillet 2008







ANNEXE

👉 **Station B** 👈

DONNEES DES FORAMINIFERES

Filet WP2 / PECH 1 / le 24 Juin 2006 / 14h30-16h45 TU

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

FC1 B >150µm

Profondeur (m)	FC1 B >150µm																	TOTAL													
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
0-20	2													3									2								7
20-40	55					1								2			5					1	12								76
40-60	33																4													37	
60-80	4																3													7	
80-100	1																1													2	
100-200													2	6			1													9	
200-300	2			1									4	49			13											1		70	
300-500	6					1							2	346			5										2	3		365	
Total	103			1		2							8	406			32					1	14			2	4		573		

FC1 B 100-150µm

Profondeur (m)	FC1 B 100-150µm																	TOTAL												
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	1													2																3
20-40	3													4			4						1							12
40-60						1																								1
60-80	1																													1
80-100														1					1	1										3
100-200														1																1
200-300	2			1		4								101			6	2												116
300-500						3								264			3													270
Total	7			1		8								373			13	3	1				1						407	

Filet WP2 / PECH 1 / le 24 Juin 2006 / 14h30-16h45 TU

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

FC1 B >150µm

Profondeur (m)	FC1 B >150µm																	TOTAL												
	Morts	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20																	1													1
20-40																	1													1
40-60																														0
60-80																	1													1
80-100																														0
100-200																														0
200-300	4			1									1																	6
300-500	48			2										1			9						1			4				65
Total	52			3									1	1		12						1			4				74	

FC1 B 100-150µm

Profondeur (m)	FC1 B 100-150µm																	TOTAL												
	Morts	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20						3								3																6
20-40	3					4								2			1													10
40-60						1																								1
60-80						1																								2
80-100															1							1								1
100-200	1													1																2
200-300	2					4							1	4																11
300-500	115			2		62			2					18			7													206
Total	121			2		75			2				1	29		8	1												239	

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

FC3 B >315µm

Profondeur (m)	FC3 B >315µm																TOTAL												
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>		<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20				1																		1							2
20-40												1																	1
40-60																													0
60-80			2				1																						3
80-100																													0
100-200	2			1									7																10
200-300																													0
300-500																													0
Total	2	2	2				1					8										1							16

FC3 B 150-315µm

Profondeur (m)	FC3 B 150-315µm																TOTAL												
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>		<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20	30		41	5								3					2	1				1							83
20-40	15		18														3					1							37
40-60	17		10				1					2					2												32
60-80	10		40	1		2						13	1				13	1		1									82
80-100	7		4									10					2												23
100-200	14	1	25	4		1					6	26	1				8												86
200-300	2		2									1																	5
300-500	3		2		3						3	3					3												17
Total	98	1	142	10	3	4					9	58	2				33	2		1		2							365

FC3 B 100-150µm

Profondeur (m)	FC3 B 100-150µm																TOTAL												
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>		<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined
0-20	16		4	126	22	15						9					12												204
20-40	6		2	20													4												32
40-60	17		8	26	12	3						4	1				9												80
60-80	7		12	13	4	3						2	13	5			6												65
80-100	4		4	5								7	6				5												31
100-200	19		49	29	11	5						12	22				21								2				170
200-300	6		9	45								3	2				5												70
300-500	7		2	15								1	4	9			15												53
Total	82		90	279	49	26					3	52	45				77								2				705

Filet WP2 / PECH 3 / le 16 Avril 2007 / 17h15-20h TU

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

FC3 B >315µm

		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Morts																													
Profondeur (m)	0-20																												0
	20-40																												0
	40-60																												0
	60-80																												0
	80-100																												0
	100-200					1												1											2
	200-300					2																							2
300-500																												0	
Total					3												1											4	

FC3 B 150-315µm

		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Morts																													
Profondeur (m)	0-20	3															1												4
	20-40	1																											1
	40-60	1																											1
	60-80	36			3																								39
	80-100	2			1		2					1																	6
	100-200	1				3		2					1					9											18
	200-300	6			1	1		1										4											13
300-500	60			9	12		5						4			20	1									1		112	
Total	110			14	16		8					1	9			34	1									1		194	

FC3 B 100-150µm

		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Morts																													
Profondeur (m)	0-20	6		12	57		1	2					2				1								1				82
	20-40	1			5			1																					7
	40-60	1		2	14		1										2												20
	60-80	12		5	37		7	2					3				4								5				75
	80-100	12		11	33		6	2					4	1											3				72
	100-200	12		20	51		5	3					1				11												103
	200-300	3		1	14		3							2			1												24
300-500	106		32	531		33	9					10	2			18	1								2			744	
Total	153		83	742		56	19					20	5			37	1							11				1127	

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

aucun specimen en >315µm

FC4 B 150-315µm

Profondeur (m)	FC4 B 150-315µm																	TOTAL													
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
0-20	3			10	4		2						3				2														24
20-40	1			7									2				2													12	
40-60	1			2									1				3													7	
60-80	1			1									1																	3	
80-100				1									3				3													7	
100-200				1									2	1																4	
200-300				1					1				1	4			1													8	
300-500	1			4									3	5			3													16	
Total	7			27	4		2		1				16	10			14													81	

FC4 B 100-150µm

Profondeur (m)	FC4 B 100-150µm																	TOTAL												
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20				25						1			3				2													31
20-40	3			6	1								1				4													15
40-60	2			9	2					1			1																	15
60-80				3										1																4
80-100	1			4	1								1				1													8
100-200	1			5													3													9
200-300	3			2					1				1	7																14
300-500				11	2		2						4	19																38
Total	10			65	6		2		1	2			11	27			10													134

Multinet / PECH 4 / le 29 Novembre 2007 / 7h50-9h30 TU

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

aucun specimen en >315µm

FC4 B 150-315µm

Profondeur (m)	Morts																	TOTAL													
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined			
0-20	1			10	6							4				2															23
20-40																														0	
40-60																														0	
60-80																														0	
80-100																														0	
100-200				1																										1	
200-300	2		2	3																										7	
300-500	4			12					2			3				2														23	
Total	7		2	26	6				2			7				4														54	

FC4 B 100-150µm

Profondeur (m)	Morts																	TOTAL												
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>		<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
0-20				8								7				1														16
20-40				1																										1
40-60				1																										1
60-80	1						1																							2
80-100				1																										1
100-200				1	3								6																	10
200-300	1			9	2								2			1														15
300-500	5			16	13			1				3	6			1														45
Total	7			37	18		1	1				10	14			3														91

FC5 B >315µm

	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Vivants																												
0-20										1																		1
20-40																												0
40-60																												0
60-80																												0
80-100																												0
100-200																												0
200-300																												0
300-500																												0
Total										1																		1

FC5 B 150-315µm

	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Vivants																												
0-20	1																											1
20-40	13		8	1																								22
40-60	2																											2
60-80	2											1																3
80-100					1	1						3																5
100-200	3		5								1	6															15	
200-300	1						2					1	3														7	
300-500	3											2	4														9	
Total	25		14	2	2						1	13	7														64	

FC5 B 100-150µm

	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Vivants																												
0-20																												0
20-40	2		6	5								3	2														18	
40-60	4			5								2					3										14	
60-80	3											1															4	
80-100	2		1	1		1						1	3			4											13	
100-200	16		5	8		7						29	16			2											83	
200-300	3												1														4	
300-500	2			4		1						10	31														48	
Total	32		12	23		9						46	53			9											184	

Multinet / PECH 5 / le 3 Mars 2008 / 6h38-8h20 TU

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

Aucun spécimen >315µm

FC5 B 150-315µm

Profondeur (m)	FC5 B 150-315µm																		TOTAL										
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>		<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20																												0	
20-40																													0
40-60	1																											1	
60-80																												0	
80-100	2																											2	
100-200	4											1																5	
200-300																												0	
300-500	2																											2	
	9											1																10	

FC5 B 100-150µm

Profondeur (m)	FC5 B 100-150µm						TOTAL
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	
0-20							0
20-40	1					1	3
40-60	3			1			4
60-80						1	1
80-100			1	3			4
100-200	7			3			14
200-300	2						3
300-500	11			5		4	21
	24		1	12		5	50

Multinet / PECH 5 / le 7 Mars 2008 / 10h45-11h20 TU

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

Aucun spécimen dans la fraction >315µm

		FC5 B* 150-315µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	Vivants																													
	0-20	5			1	1								5				6												18
	20-40	8			7									7				7											1	30
	40-60	11			2									11				12												36
	60-80	7												3				4											14	
	80-100																													0
	Total	31			10	1							26				29											1	98	
		FC5 B* 100-150µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	Vivants																													
	0-20	1			2	5		4					2	3			7													24
	20-40	4				8							5	2			15											1	35	
	40-60	12			3	22		4	1				11	6			20												79	
	60-80	2				5							5	3			1												16	
	80-100	1				1								1															3	
	Total	20			5	41		8	1			23	15			43											1	157		

Multinet / PECH 5 / le 7 Mars 2008 / 10h45-11h20 TU

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

Aucun spécimen dans la fraction >315µm

		FC5 B* 150-315µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	Morts																													
	0-20																													0
	20-40																													0
	40-60																													0
	60-80	1																												1
	80-100																													0
	Total	1																											1	
		FC5 B* 100-150µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoïdes sen</i>	<i>G. truncatulinoïdes dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	Morts																													
	0-20		1			1																								2
	20-40																													0
	40-60					2																								2
	60-80					1							1		1															3
	80-100																													0
	Total		1			4						1		1															7	

Filet WP2 / PECH 6 / le 10 Juillet 2008 / 8h55-11h42 TU

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

FC6 B >315µm

	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Vivants																													
0-20																													0
20-40																													0
40-60																													0
60-80																													0
80-100																													0
100-200																													0
200-300																											3	3	
300-500																										6	6	6	
Total																										9	9	9	

FC6 B 150-315µm

	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Vivants																												
0-20	4			1																								5
20-40					1					1																		2
40-60										1		2																3
60-80												2				1												3
80-100												4																4
100-200												1																1
200-300														1												1	1	
300-500				1					1					2											1	1	5	
Total	4			2	1				3			9	3		1										1	1	24	

FC6 B 100-150µm

	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Vivants																												
0-20	2			2	2							1				1												8
20-40					10							1	2															13
40-60	2				2							6				1												11
60-80				2								3																5
80-100													3		1													4
100-200	2																											2
200-300	3				2									1														6
300-500	3				2							3	2													1	11	
Total	12			4	18							14	8		3											1	60	

Station B ; 43°50N - 2°03W ; 550 m

Aucun spécimen dans la fraction >315µm

FC6 B 150-315µm

		Morts																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20																													0
	20-40																													0
	40-60																													0
	60-80																													0
	80-100					1					1																			2
	100-200																													0
	200-300																													0
	300-500		1																											1
	Total		1		1						1																			3

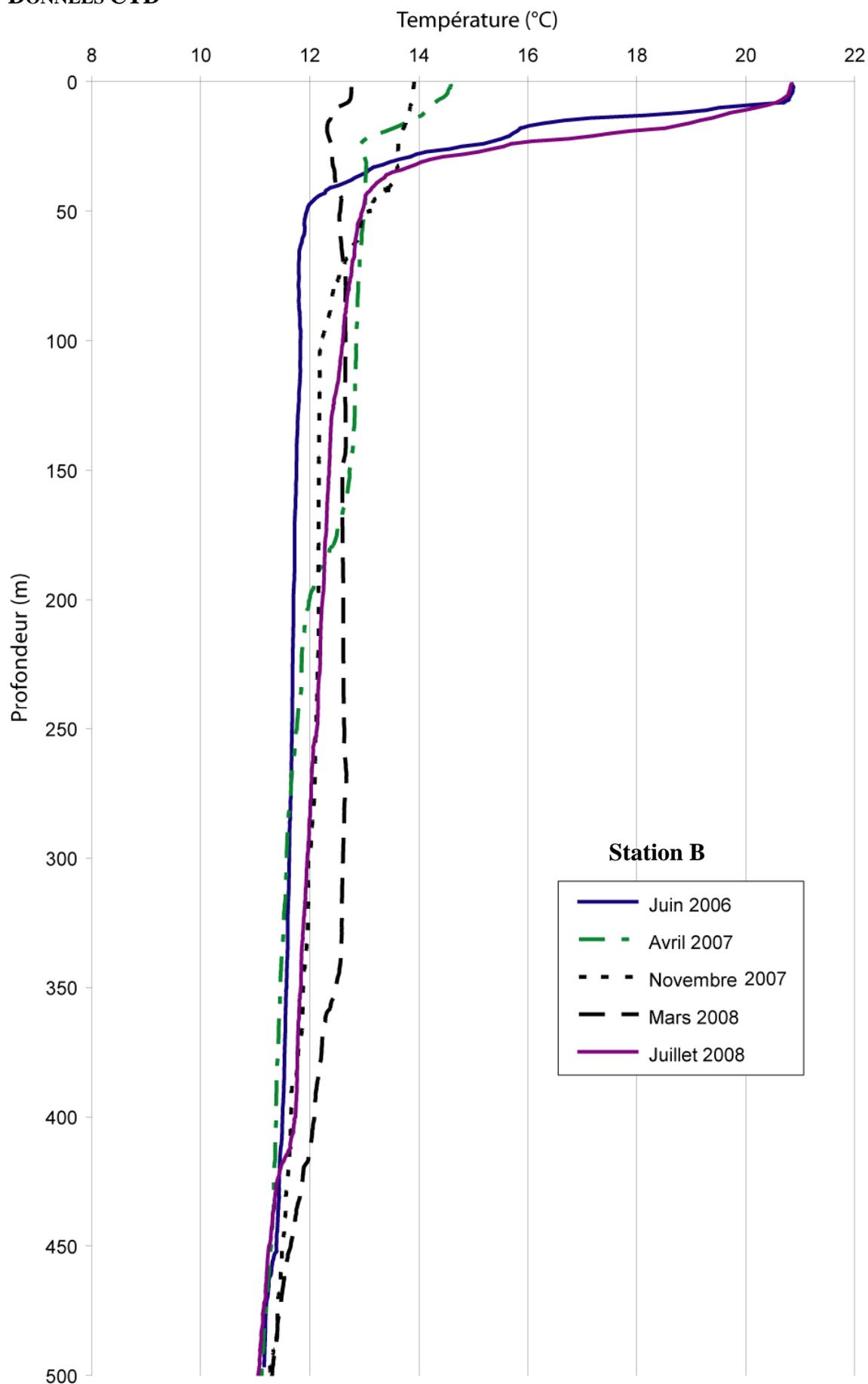
FC6 B 100-150µm

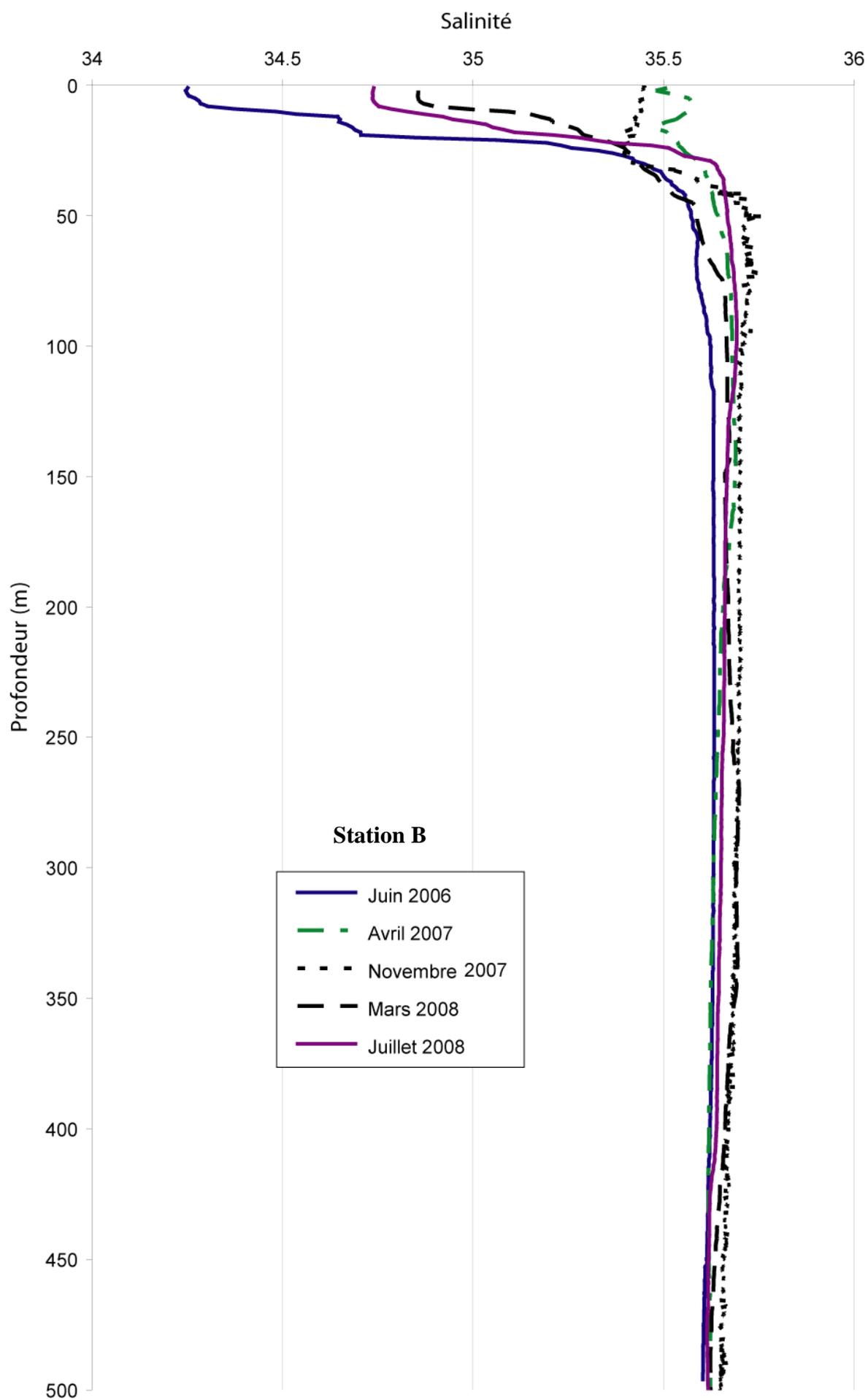
		Morts																												
Profondeur (m)	0-20																													0
	20-40					1																								1
	40-60	2																												2
	60-80																													0
	80-100																													0
	100-200																													0
	200-300					1			1					2																4
	300-500	1			2																									3
	Total	3			4				1					2																10

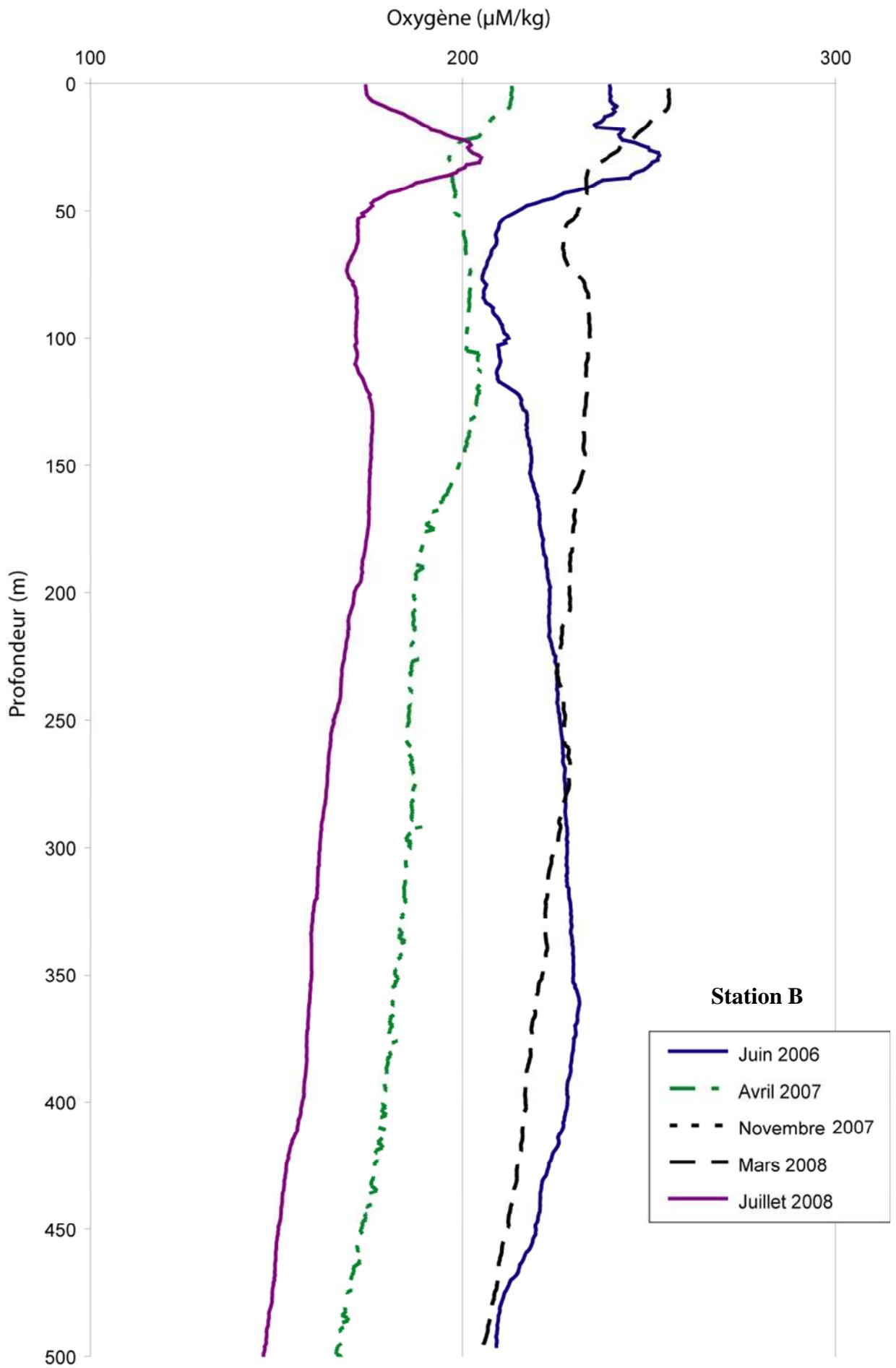
DONNEES DU FLUXMETRE

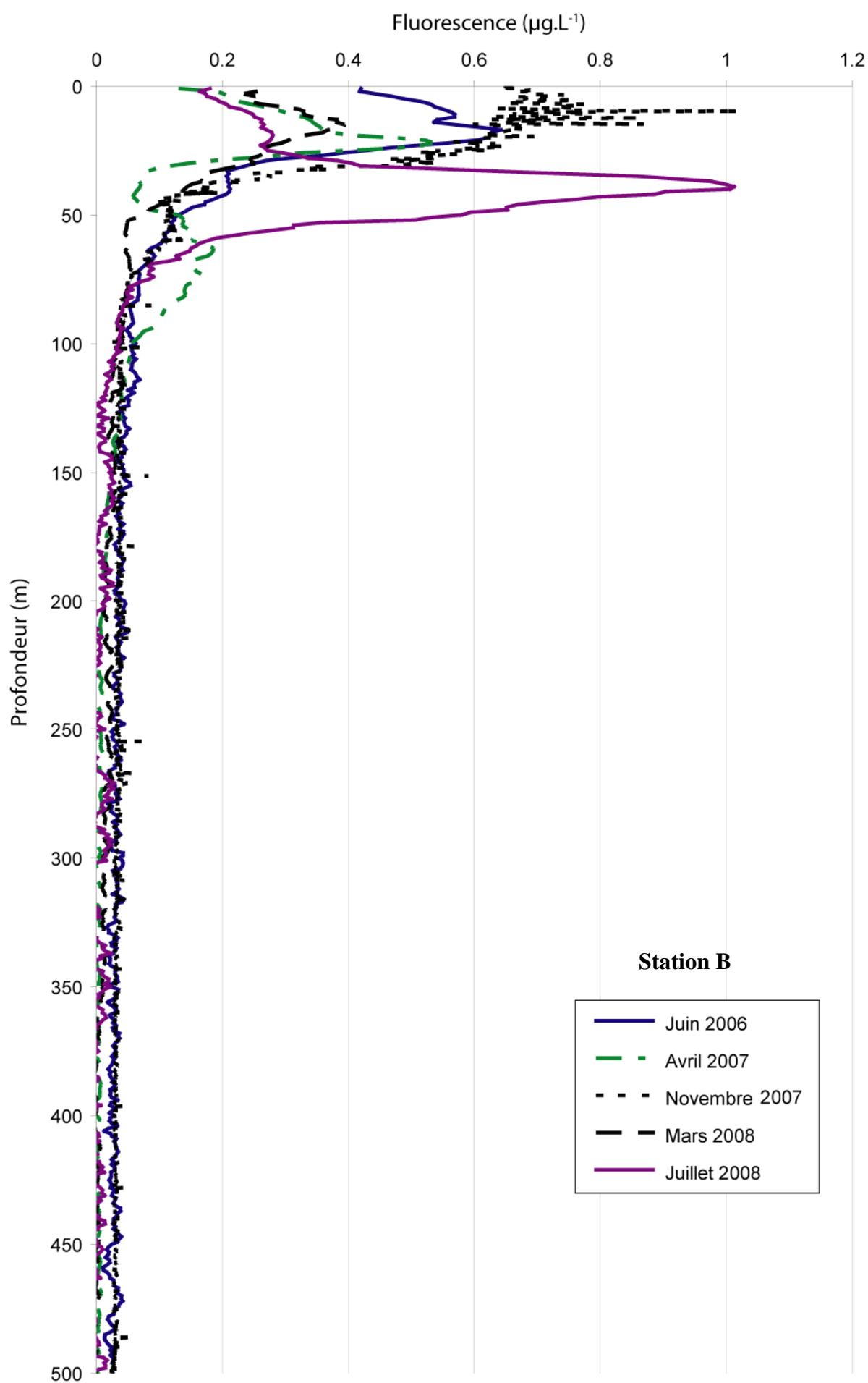
	PECH 1	filet WP2		PECH 3	filet WP2
	FC1 B			FC3 B	
		m3			m3
Profondeur (m)	0-20	9.72		0-20	5.36
	20-40	8.03		20-40	6.58
	40-60	15.84		40-60	4.82
	60-80	17.14		60-80	7.19
	80-100	15.53		80-100	5.58
	100-200	23.49		100-200	25.40
	200-300	65.41		200-300	24.17
	300-500	86.67		300-500	80.33
	PECH 4	Multinet		PECH 5	Multinet
	FC4 B			FC5 B	
		m3			m3
Profondeur (m)	0-20	6		0-20	14
	20-40	7		20-40	13
	40-60	4		40-60	11
	60-80	5		60-80	14
	80-100	8		80-100	15
	100-200	27		100-200	74
	200-300	44		200-300	62
	300-500	103		300-500	164
	PECH 5	Multinet		PECH 6	filet WP2
	FC5 B*			FC6 B	
		m3			m3
Profondeur (m)	0-20	11		0-20	2.83
	20-40	11		20-40	2.68
	40-60	14		40-60	5.66
	60-80	11		60-80	6.35
	80-100	15		80-100	6.04
			100-200	19.05	
			200-300	24.56	
			300-500	45.52	

DONNEES CTD









ANNEXE

👉 **Station D** 👈

DONNEES DES FORAMINIFERES

Filet WP2 / PECH 1 / le 25 Juin 2006 / 6h30-7h30 TU

Station D ; 43°42N - 1°34W ; 145 m

FC1 D >150µm

Profondeur (m)	FC1 D >150µm																	TOTAL													
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
0-20	2													46		1						2	40								91
20-40	8												1	12		8						2	4							35	
40-60	11	1											5	12		38						1	1							69	
60-80	3				1									1		34	1					2								42	
80-100	4						2						2	1		8														17	
Total	28	1			1		2						8	72		89	1					7	45							254	

FC1 D 100-150µm

Profondeur (m)	FC1 D 100-150µm																	TOTAL												
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	2					1									35		2						4							44
20-40						6							1	8		8		1												24
40-60	2			1	11									10		12														36
60-80	4				10								1			10														25
80-100	1								1						21								3							26
Total	9			1	28				1				2	74		32	1					7								155

Filet WP2 / PECH 1 / le 25 Juin 2006 / 6h30-7h30 TU

Station D ; 43°42N - 1°34W ; 145 m

FC1 D >150µm

Profondeur (m)	FC1 D >150µm																	TOTAL												
	Morts	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	8					1											3													12
20-40	2																1													3
40-60	4									1			1				3													9
60-80	1	1															1													3
80-100	2																3													5
Total	17	1			1					1			1				11													32

FC1 D 100-150µm

Profondeur (m)	FC1 D 100-150µm																	TOTAL												
	Morts	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	2	1			12			2					2	2																21
20-40	6				3									3																12
40-60	5				7												2													14
60-80	3				2									2			1													8
80-100	8				8									2			2													18
Total	24	1			32			2					2	9			3													73

Filet WP2 / PECH 3 / le 17 Avril 2007 / 9h10-10h30 TU

Station D ; 43°42N - 1°34W ; 145 m

FC3 D >315µm

		FC3 D >315µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinooides sen</i>	<i>G. truncatulinooides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	Morts																													
	0-20						1																						1	
	20-40																													0
	40-60																													0
	60-80																													0
	80-100																													0
	Total						1																						1	

FC3 D 150-315µm

		FC3 D 150-315µm																											
Profondeur (m)	Morts																												
	0-20	7								1						1	14												23
	20-40	5		1													4												10
	40-60	5			1																				1				7
	60-80	2																											2
	80-100	1																											1
	Total	20		1	1					1						1	18								1				43

FC3 D 150-100µm

		FC3 D 150-100µm																											
Profondeur (m)	Morts																												
	0-20	7														1	4	1											13
	20-40	2			3		1										1												7
	40-60				1																								1
	60-80				3											1								1				1	6
	80-100				3																								3
	Total	9			10		1								1	6	1						1				1	30	

Multinet / PECH 4 / le 29 Novembre 2007 / 12h35-12h55 TU

Station D ; 43°42N - 1°34W ; 145 m

		FC4 D >315µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Vivants																														
Profondeur (m)	0-20				17																									17
	20-40				6																									6
	40-60	1			12								1																14	
	60-80																												0	
	80-100																												0	
	Total	1			35							1																	37	
		FC4 D 150-315µm																												
Profondeur (m)	0-20	59		384	15					9		8				7					1								483	
	20-40	26		159						5		13				7													210	
	40-60	14	1	137								2				3												157		
	60-80	1		29								1	3															34		
	80-100	5		10								5																20		
	Total	105	1	719	15					14		29	3			17					1							904		
		FC4 D 100-150µm																												
Profondeur (m)	0-20	1		77	21							24				12													135	
	20-40	22		113	6		3					15				17													176	
	40-60	13		85	2							4	8			1													113	
	60-80	9		23									6																38	
	80-100	6		12								2	3																23	
	Total	51		310	29		3					45	17			30													485	

Multinet / PECH 4 / le 29 Novembre 2007 / 12h35-12h55 TU

Station D ; 43°42N - 1°34W ; 145 m

		FC4 D 150-315µm																	aucun spécimen en >315µm										
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Morts																													
Profondeur (m)	0-20																												0
	20-40																												0
	40-60			2																									2
	60-80			7																									7
	80-100	1		8													1												10
	Total	1		17													1												19
		FC4 D 100-150µm																											
Profondeur (m)	0-20	2		7													1												10
	20-40																												0
	40-60			13																									13
	60-80			10									1																11
	80-100	2		7									1																10
	Total	4		37									2				1												44

Multinet / PECH 5 / le 3 Mars 2008 / 10h20-10h50 TU

Station D ; 43°42N - 1°34W ; 145 m

FC5 D >315µm

		FC5 D >315µm																											
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Profondeur (m)	Vivants																												
	0-20																												
	20-40																												
	40-60																												
	60-80																												
	80-100	1																										1	
	Total	1																									1		

FC5 D 150-315µm

		FC5 D 150-315µm																												
Profondeur (m)	Vivants																													
	0-20	2																									2			
	20-40	16		10	2								5					4												37
	40-60	13		9	1								4					8												35
	60-80	11		2									4					3												20
	80-100	14		4	2		1						8					9	1											39
	Total	56		25	5	1						21					24	1											133	

FC5 D 100-150µm

		FC5 D 100-150µm																												
Profondeur (m)	Vivants																													
	0-20			2		1																					3			
	20-40	5		7	9	1							4	1				4												31
	40-60	7		4	14							1	4	5				11												46
	60-80	1			5								5					3												14
	80-100	1		5	18	6							7	1				8												46
	Total	14		18	46	8						1	20	7			26												140	

Aucun spécimen dans la fraction > 315µm

FC5 D 150-315µm

		FC5 D 150-315µm																											
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL
Profondeur (m)	Morts																												
	0-20	2																									2		
	20-40				1																					1			
	40-60																											0	
	60-80																											0	
	80-100	1																			1	2							
	Total	3			1																					1	5		

FC5 D 100-150µm

		FC5 D 100-150µm																											
Profondeur (m)	Morts																												
	0-20																										1		
	20-40	1																			1	2							
	40-60																											0	
	60-80			2																					2				
	80-100	1		4				4																					
	Total	2		6																					5	1	14		

Station D ; 43°42N - 1°34W ; 145 m

FC6 D >315µm

		Vivants																	TOTAL											
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>G. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
Profondeur (m)	0-20	1			1						1											5								8
	20-40																													0
	40-60																													0
	60-80			1	1																		5							7
	80-100																													0
	Total		1		1	2						1											10							15

FC6 D 150-315µm

		Vivants																	TOTAL											
Profondeur (m)	0-20	4		1	1									1																7
	20-40													1																1
	40-60	7		8	1							2		4				6												28
	60-80	3		2	1									6					2				1							15
	80-100																													0
	Total		14		11	3						2		12				8					1							51

FC6 D 150-100µm

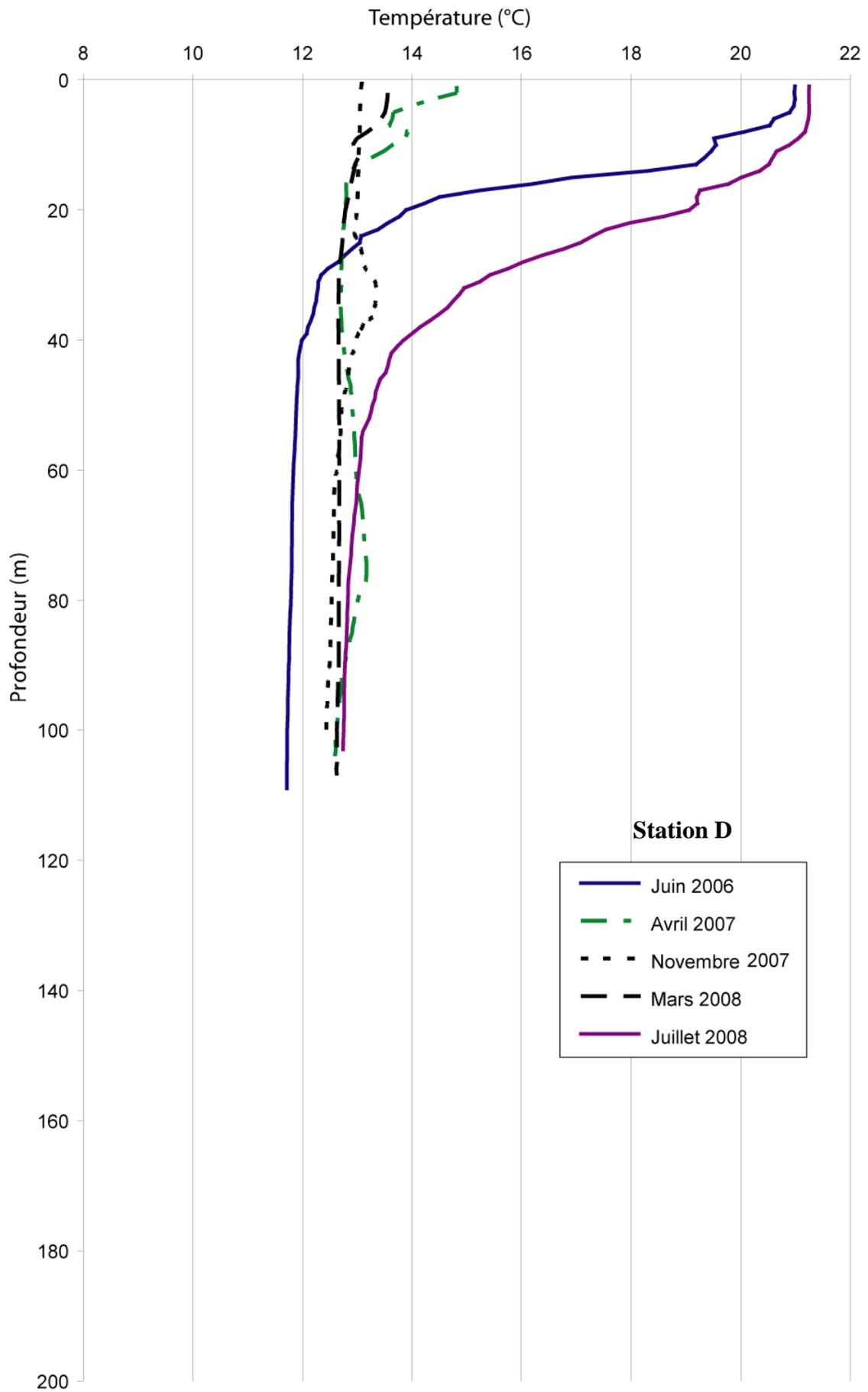
		Vivants																	TOTAL											
Profondeur (m)	0-20	3		1										1																5
	20-40	2		11										6			3													22
	40-60			47										19			11													77
	60-80	1		37										3			6													47
	80-100																													0
	Total		6		96									29			20													151

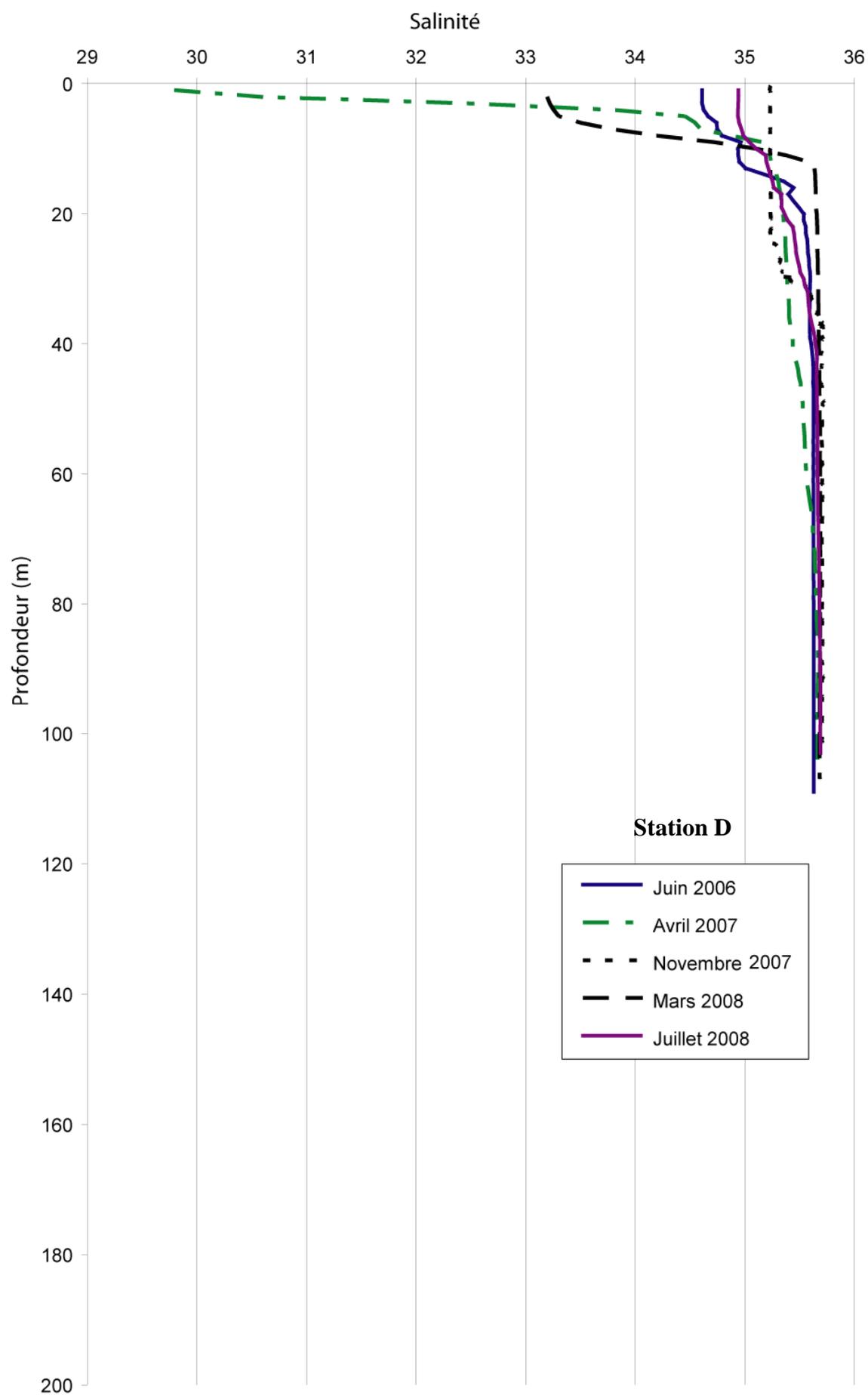
Aucun spécimen mort

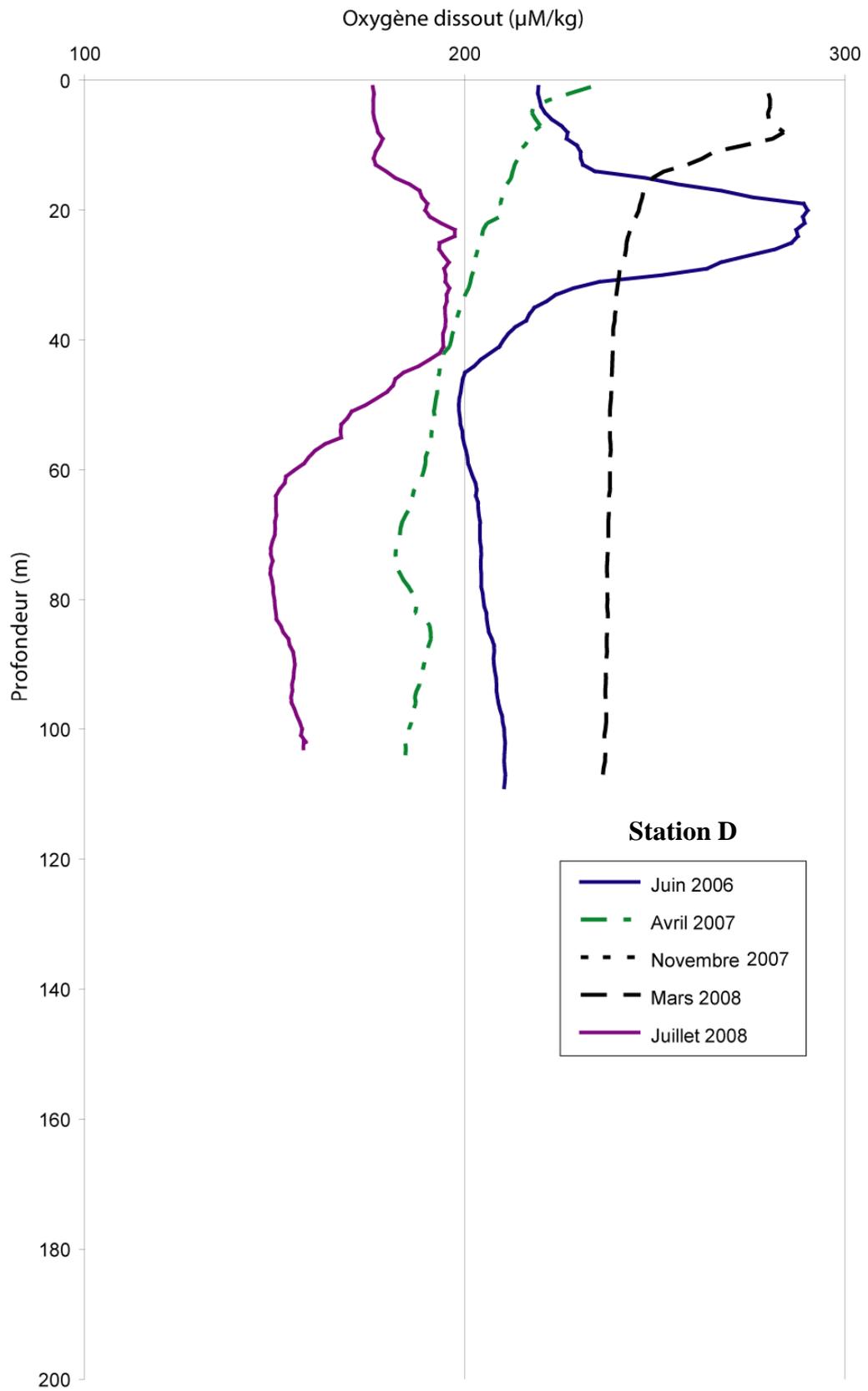
DONNEES DU FLUXMETRE

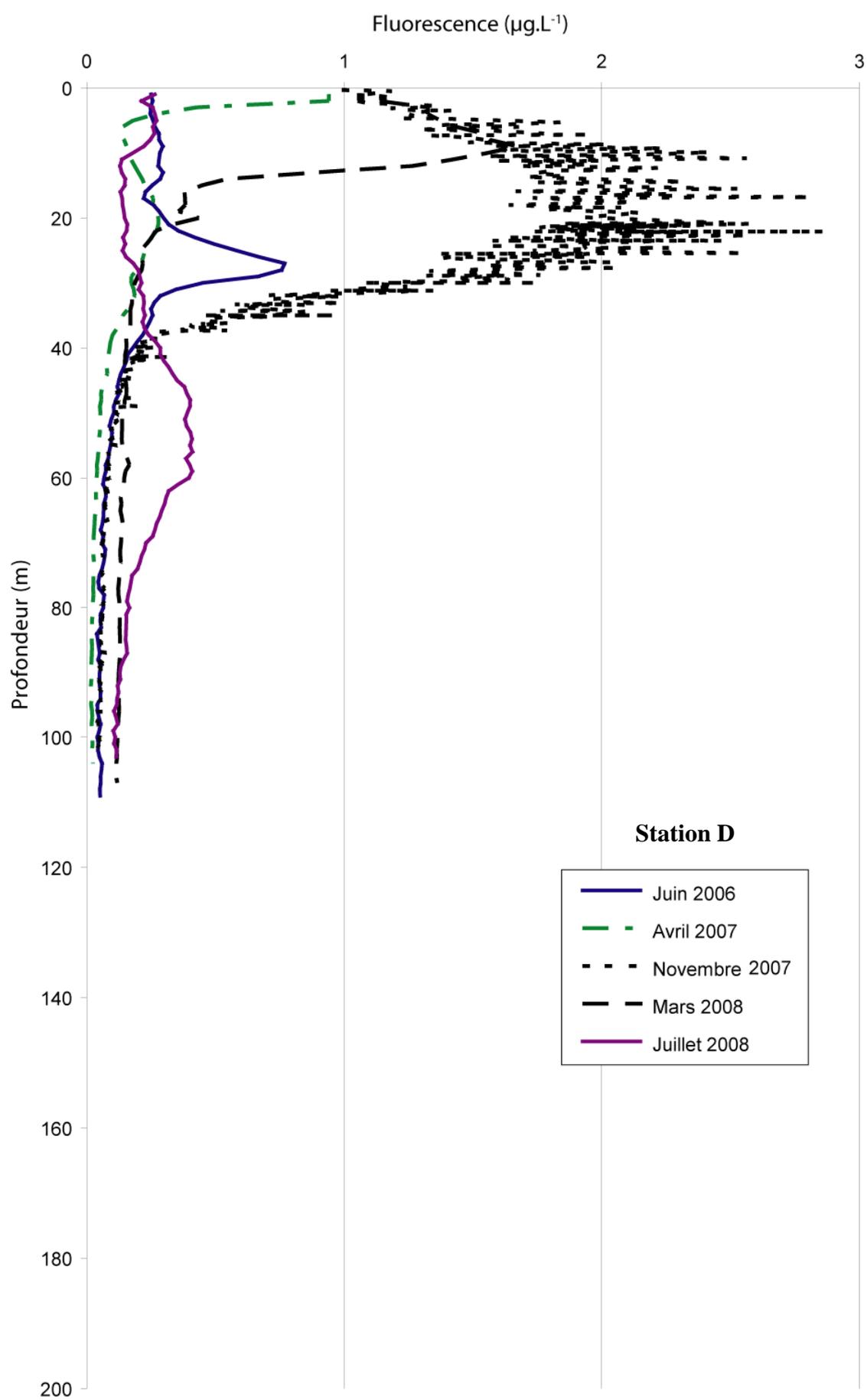
	PECH 1	filet WP2		PECH 3	filet WP2
	FC1 D			FC3 D	
		m3			m3
Profondeur (m)	0-20	9.26		0-20	5.36
	20-40	14.92		20-40	5.58
	40-60	18.13		40-60	4.36
	60-80	23.56		60-80	4.28
	80-100	15.99		80-100	1.38
	PECH 4	Multinet		PECH 5	Multinet
	FC4 D			FC5 D	
		m3			m3
Profondeur (m)	0-20	7		0-20	13
	20-40	8		20-40	10
	40-60	9		40-60	13
	60-80	8		60-80	12
	80-100	11		80-100	15
	PECH 6	filet WP2			
	FC6 D				
		m3			
Profondeur (m)	0-20	6.81			
	20-40	16.45			
	40-60	21.11			
	60-80	24.48			
	80-100	4.67			

DONNEES CTD









ANNEXE A

 **Station K** 

Multinet / PECH 4 / le 29 Novembre 2007 / 16h35-18h25 TU

Station K ; 43°38N - 1°43W ; 650 m

FC4 K >315µm

Profondeur (m)	FC4 K >315µm																TOTAL														
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>		<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
0-20		1		11																											0
20-40		2		10																										0	
40-60		1	4	38									1				1					1						1	3		
60-80				1																									0		
80-100																						2							2		
100-200																													0		
200-300																													0		
300-500																													0		
Total		3	5	60									1				1					3						1	0		

FC4 K 150-315µm

Profondeur (m)	FC4 K 150-315µm																TOTAL													
	Vivants																													
0-20	8	21	251	11	3	1	2	20							12															12
20-40	14	9	246	3				32							10						1								11	
40-60	6	4	187					13							6						1								7	
60-80	1		21					5																					0	
80-100		1	19					5							1														1	
100-200			29					12	1						2							1							3	
200-300			6					3							1														1	
300-500			1			7		2	1																				0	
Total	29	35	760	14	3	8	2	92	2						32						2	1		0					35	

FC4 K 100-150µm

Profondeur (m)	FC4 K 100-150µm																TOTAL													
	Vivants																													
0-20	2	4	317	5	1			23							20	1														21
20-40	8	17	219		1			37	1						23						1								24	
40-60	11	1	159	18				2							6														6	
60-80			72	3	1				1						2														2	
80-100	1		36	3				2	6																				0	
100-200			45	3				6	23												1								1	
200-300			17	2				1	1																				1	
300-500			15		4				8						5							1							5	
Total	22	22	880	34	7			71	40						56	1					1	2							60	

Filet WP2 / PECH 6 / le 12 Juillet 2008 / 15h40-16h51 TU

Station K ; 43°38N - 1°43W ; 650 m

FC6 K >315µm

		FC6 K >315µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20																													0
	20-40												1					1					1							3
	40-60																	2												2
	60-80												1																	1
	80-100												2										1							3
	100-200												7										2							9
	Total												11					3				4								18

FC6 K 150-315µm

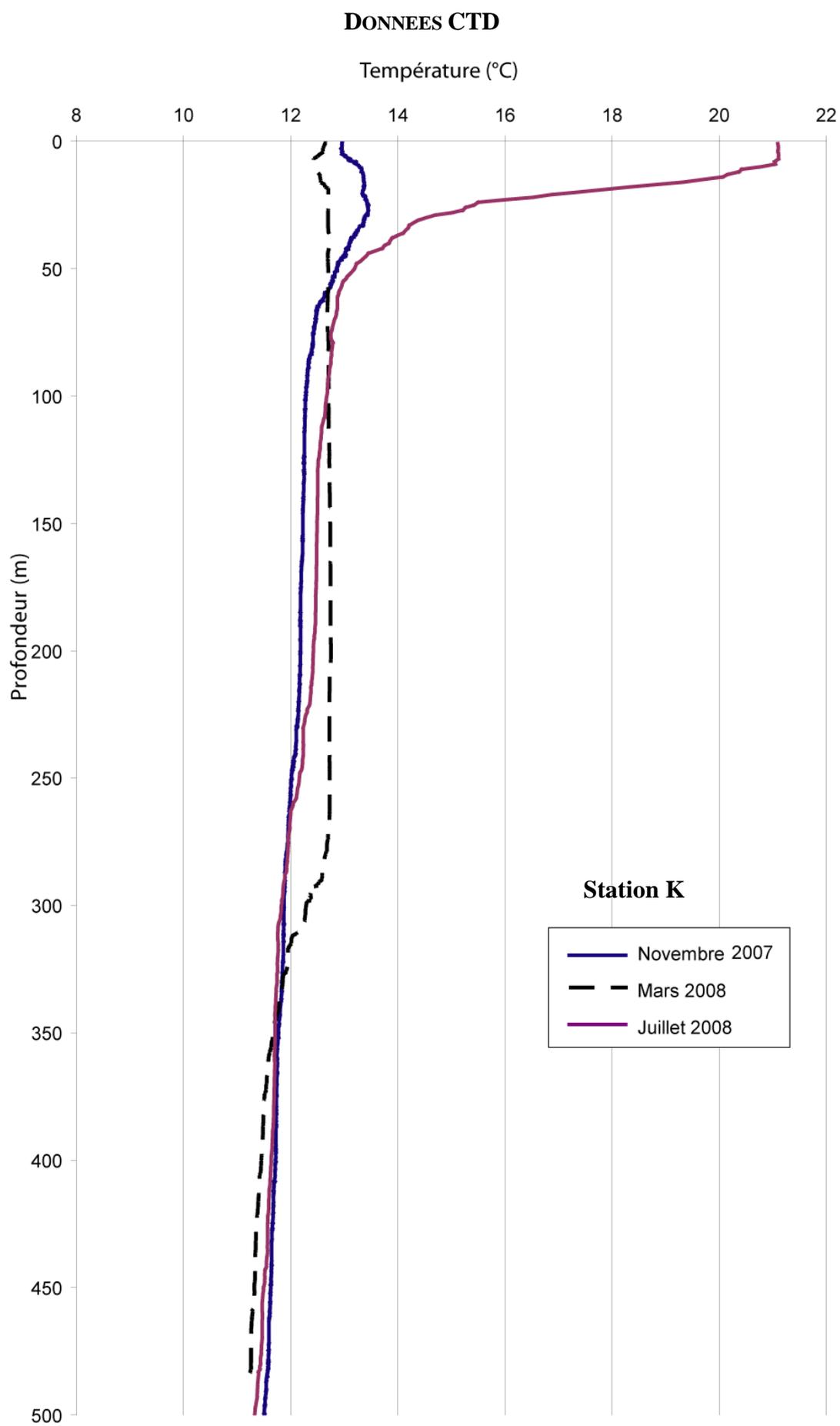
		FC6 K 150-315µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20											1						2											3	
	20-40				2							10						4												16
	40-60				1							6						1												8
	60-80											3						2												5
	80-100											1						3												4
	100-200	1			2							7						2												12
	Total	1			5							28						14												48

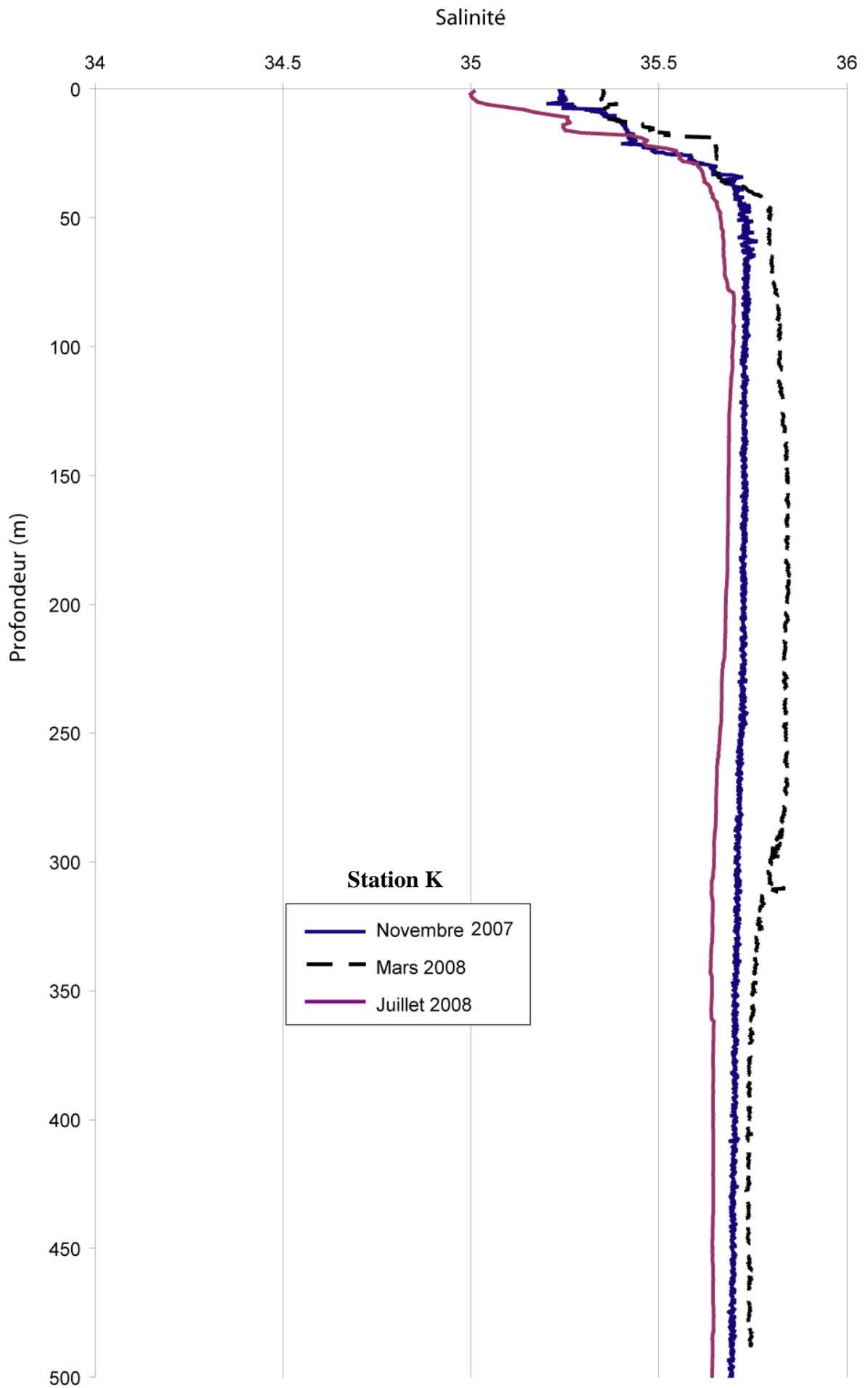
FC6 K 100-150µm

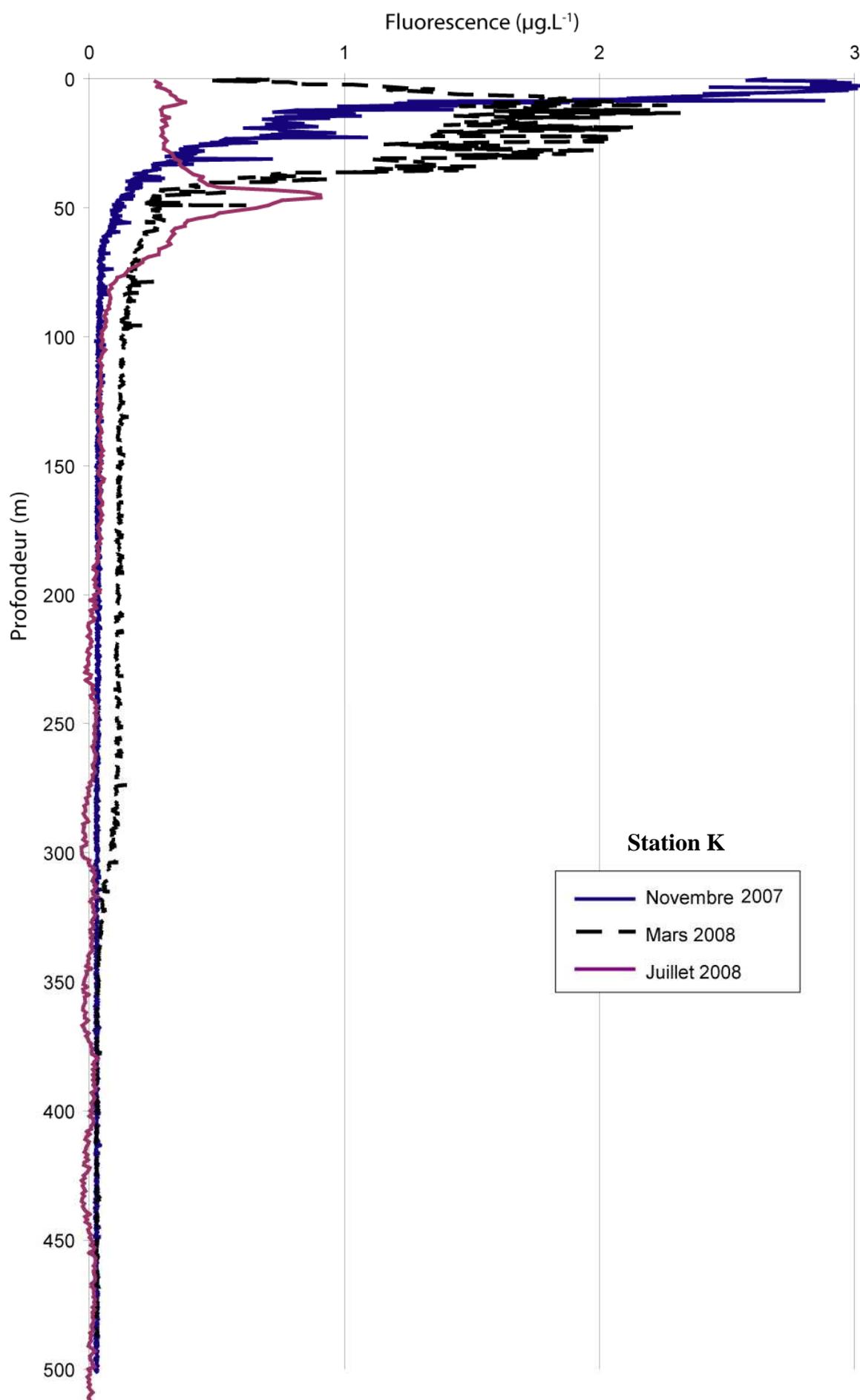
		FC6 K 100-150µm																												
		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	PD - intergrade	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Profondeur (m)	0-20											1																	2	
	20-40				1	1						7																		9
	40-60				4	1						8						5												18
	60-80				1	4						7																		12
	80-100				1	3						9						1												14
	100-200				3	1						4	1																	9
	Total				11	10						36	1					6												64

DONNEES DU FLUXMETRE

PECH 4		Multinet	PECH 5		Multinet	PECH 6		filet WP2
FC4 K			FC5 K			FC6 K		
Profondeur (m)		m3	Profondeur (m)		m3	Profondeur (m)		m3
	0-20	5		0-20	15		0-20	2.22
	20-40	6		20-40	13		20-40	3.52
	40-60	6		40-60	12		40-60	8.34
	60-80	6		60-80	11		60-80	11.32
	80-100	11		80-100	11		80-100	10.48
	100-200	43		100-200	42		100-200	39.24
	200-300	49		200-300	46			
	300-500	100		300-500	76			







ANNEXE A

 **Station FP15** 

DONNEES DES FORAMINIFERES

Multinet / PECH 4 / le 29 Novembre 2007 / 18h55-19h20 TU

Station FP15 ; 43°40,4N – 1°32,8W ; 250 m

FC4 FP15 >315µm

Profondeur (m)	FC4 FP15 >315µm																TOTAL														
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>		<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined		
0-20	8				79									1																	88
20-40					53																									53	
40-60					20																									20	
60-80					1																	1								2	
80-100					2																	2								4	
Total	8				155									1								3								167	

FC4 FP15 150-315µm

Profondeur (m)	FC4 FP15 150-315µm																TOTAL													
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>		<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	33				478	9	3							16		8					2									549
20-40	7	12			372	3		3						6		18														421
40-60	1	4			169	3								1	1		1	2												182
60-80					43									2																45
80-100					39									2	1															42
Total	41	16			1101	15	3	3						27	2		27	2			2								1239	

FC4 FP15 100-150µm

Profondeur (m)	FC4 FP15 100-150µm																TOTAL													
	Vivants	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>		<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20	1	1			252	59	2							43		30	2				2									392
20-40	1	5			272	4	5							5	1	19	1				6									319
40-60		2			25	8	1	1						2	1	3	1													44
60-80					8									0			1													9
80-100					19	1								0	3	1														24
Total	2	8			576	72	8	1						50	5	53	5				8								788	

Station FP15 ; 43°40,4N – 1°32,8W ; 250 m

FC5 FP15 >315µm

		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Vivants																														
Profondeur (m)	0-40																													
	40-60	4			4	1								1																10
	60-80					1								2				1												4
	80-100	9			1									1																11
	100-200	20	2		6	1							1	7	1			2												40
	Total	33	2		11	3							1	11	1			3												65

FC5 FP15 150-315µm

		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Vivants																														
Profondeur (m)	0-40	1											2																	3
	40-60	3				1							13				8				4									29
	60-80	8			3			3					4				12				1									31
	80-100	6			6	2							1				1													16
	100-200	18			20	3		1					36				19													97
	Total	36			29	6		4					56				40				5									176

FC5 FP15 100-150µm

		<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>	<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	TOTAL	
Vivants																														
Profondeur (m)	0-40		1		1									1			1													4
	40-60	1			1	5		2					6	1			14													30
	60-80	1			6	6		2	1				8	1			12					1								38
	80-100					3							1				2													6
	100-200		1		13	30		5					27	7			29								1					113
	Total	2	2		21	44		9	1				43	9			58					1		1						191

Filet WP2 / PECH 6 / le 12 Juillet 2008 / 7h58-9h15 TU

Station FP15 ; 43°40,4N – 1°32,8W ; 250 m

FC6 FP15 >315µm

Profondeur (m)	Vivants																TOTAL												
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>G. uvula</i>	<i>G. ruber (white)</i>	<i>G. trilobus trilobus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. hirsuta</i>	<i>G. inflata</i>	<i>G. scitula</i>	<i>G. truncatulinoides sen</i>	<i>G. truncatulinoides dextre</i>		<i>N. pachyderma d</i>	<i>N. pachyderma s</i>	<i>N. incompta</i>	<i>PD - intergrade</i>	<i>O. universa</i>	<i>O. universa PSS</i>	<i>T. humilis</i>	<i>O. riedeli</i>	<i>H. digitata</i>	<i>H. pelagica</i>	indetermined	
0-20																													0
20-40																													0
40-60																													0
60-80	1											4									3							8	
80-100	1											1									1							3	
100-200																												0	
Total	2										5									4								11	

FC6 FP15 150-315µm

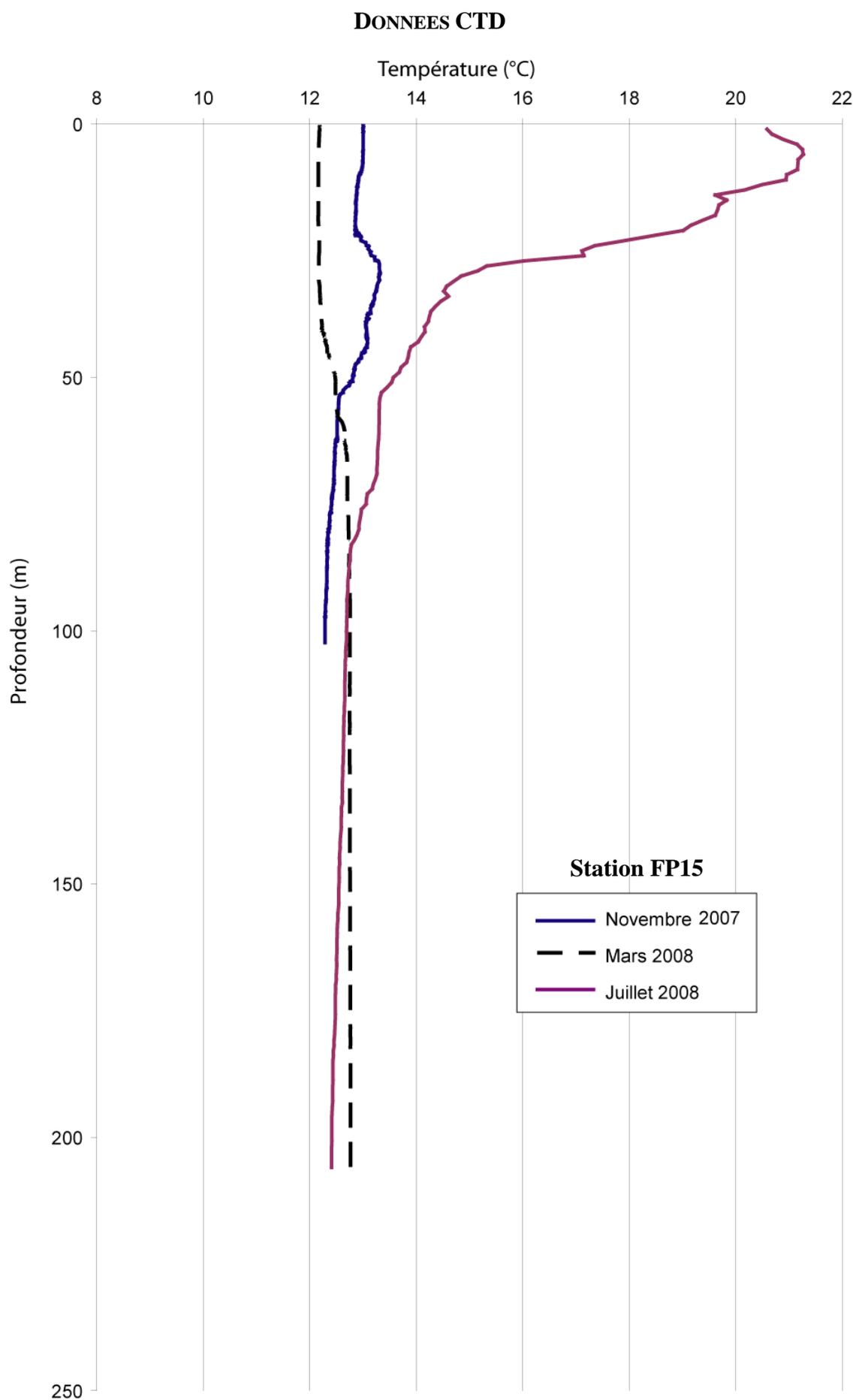
Profondeur (m)	Vivants							TOTAL		
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>			
0-20	1		3				17	5	1	27
20-40	2		1				3	4		10
40-60			1				13	2		16
60-80			2	6			13	4		25
80-100							8			8
100-200	1			3			10	3		17
Total	4		7	9			64	18	1	103

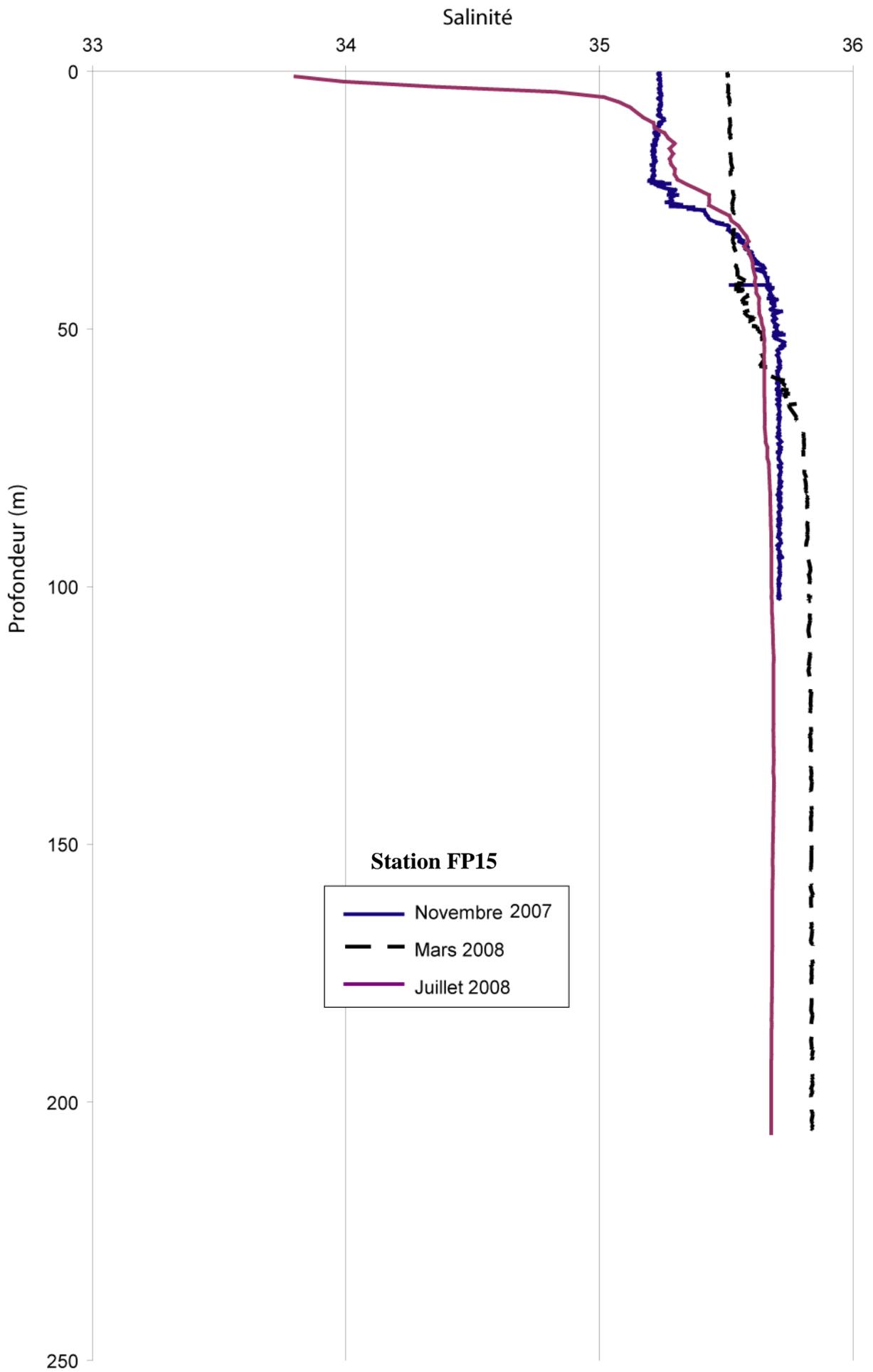
FC6 FP15 100-150µm

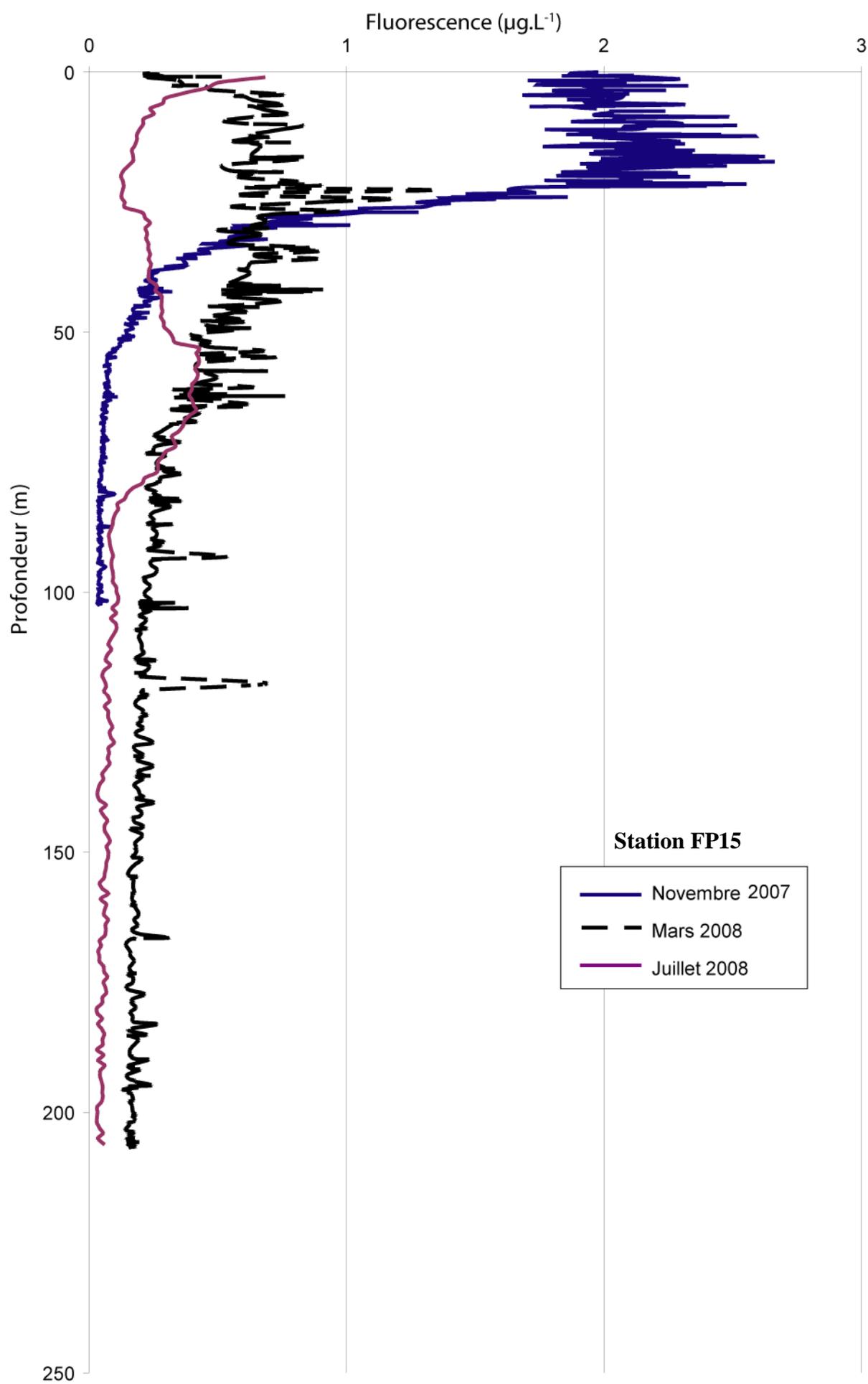
Profondeur (m)	Vivants							TOTAL		
	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. siphonifera</i>	<i>G. calida</i>	<i>T. quinqueloba</i>	<i>G. digitata</i>	<i>G. glutinata</i>			
0-20			9	17			23	8		57
20-40			2	6			5	1		14
40-60				17			5	3		25
60-80			1	38			6	1	3	49
80-100				8			1	1	4	14
100-200			6	28		1	9		18	62
Total			18	114		1	49	2	37	221

DONNEES DU FLUXMETRE

PECH 4 Multinet FC4 FP16			PECH 5 Multinet FC5 FP15			PECH 6 filet WP2 FC6 FP15		
		m3			m3			m3
Profondeur (m)	0-20	9	Profondeur (m)	0-40	16	Profondeur (m)	0-20	5.74
	20-40	8		40-60	8		20-40	4.21
	40-60	8		60-80	9		40-60	10.71
	60-80	9		80-100	7		60-80	11.93
	80-100	7		100-200	31		80-100	11.25
						100-200	37.87	



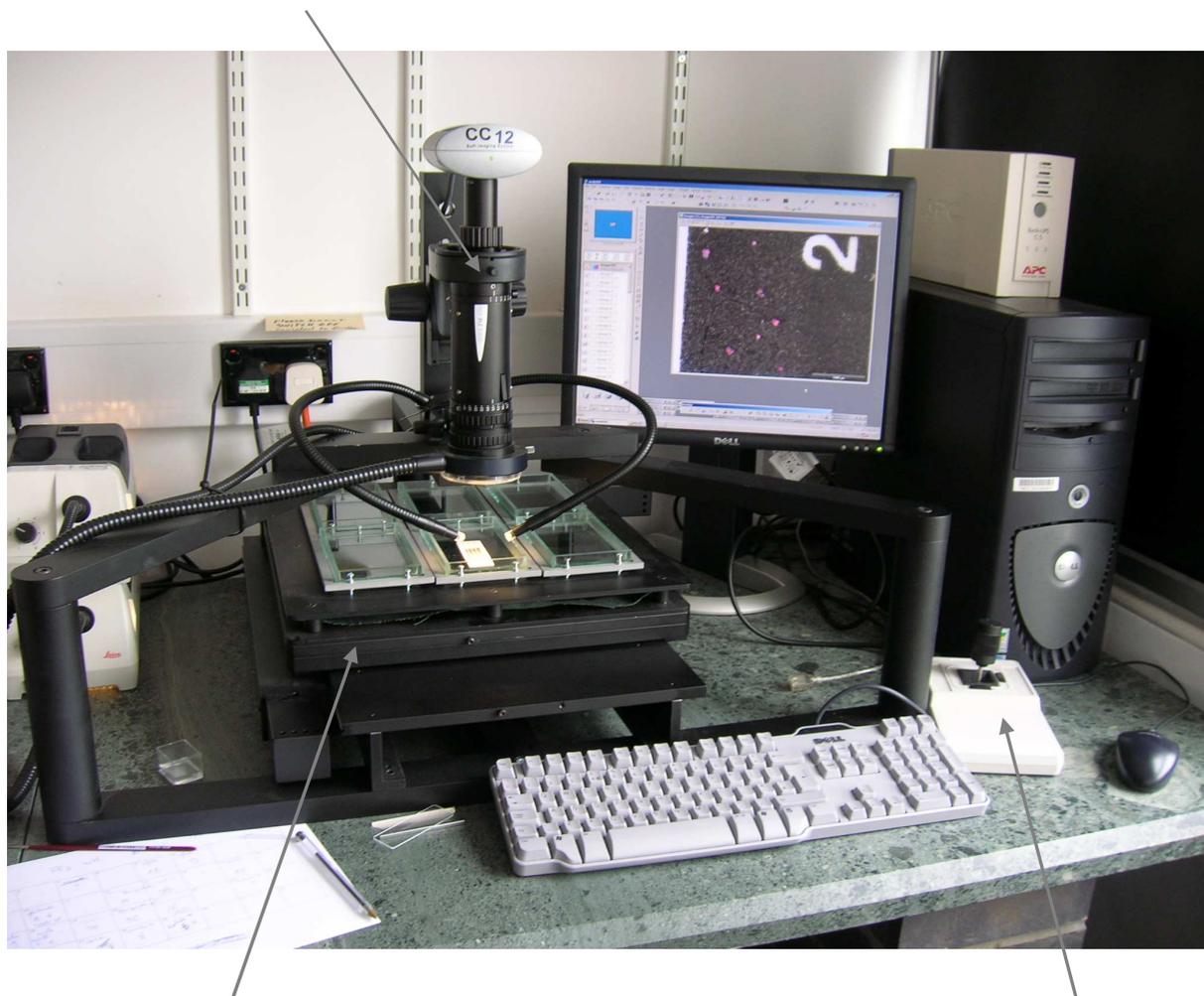




ANNEXE B

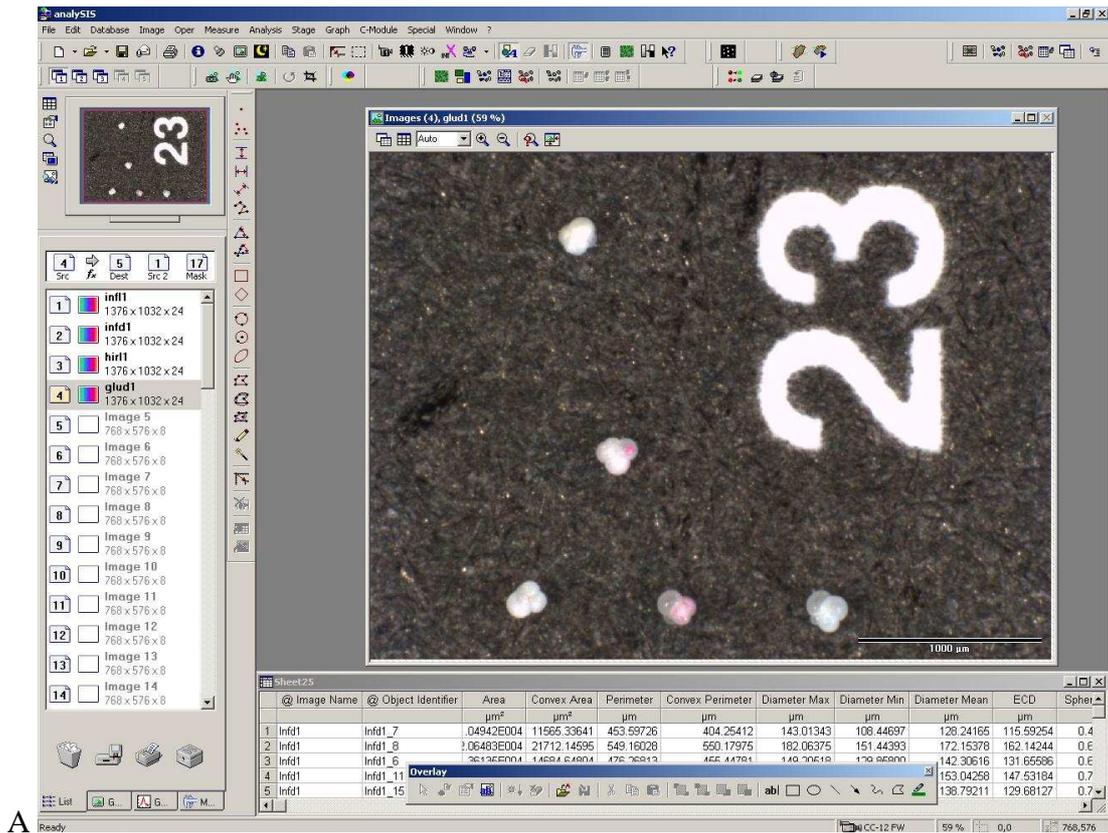
Dispositif pour l'analyse de taille au National Oceanographic Centre, Southampton (NOCS)

Microscope monoculaire Leica®
ajusté à un appareil photo
couleur SIS/Olympus® CC12

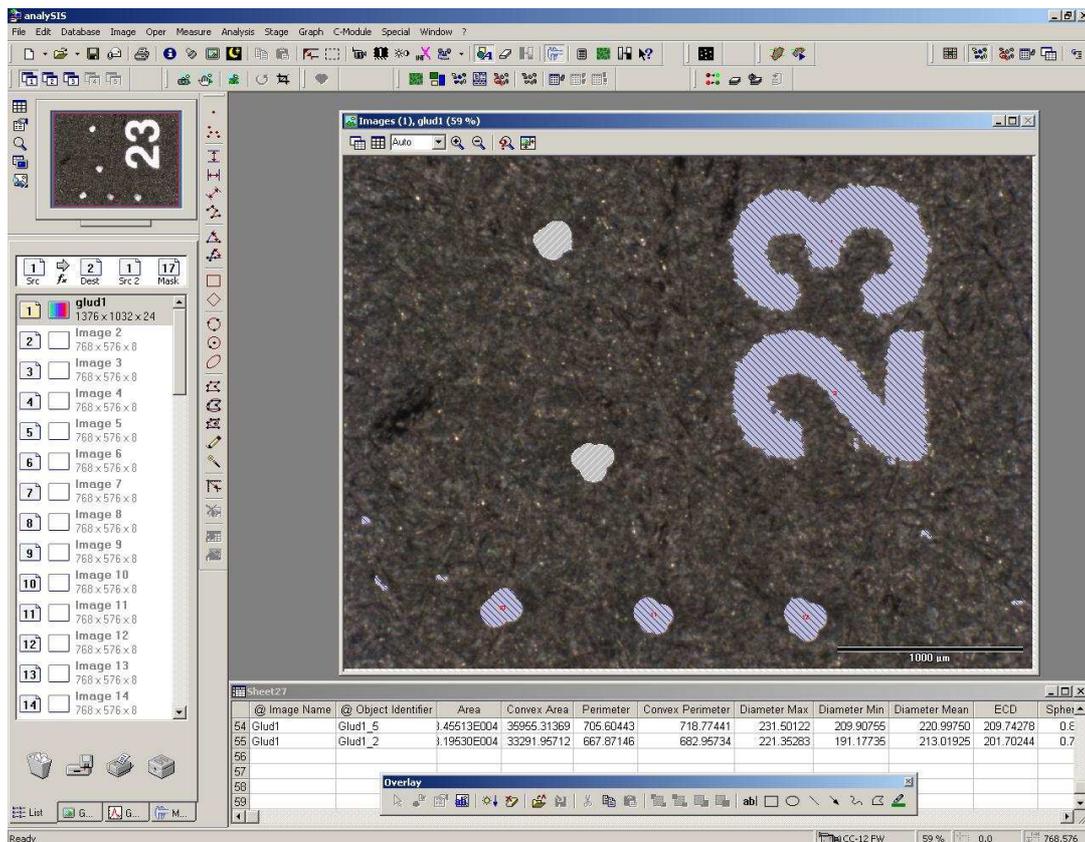


Plateau amovible Märzhäuser®
motorisé, sur lequel sont positionnés
les échantillons.

Manette pour diriger le
plateau motorisé



A



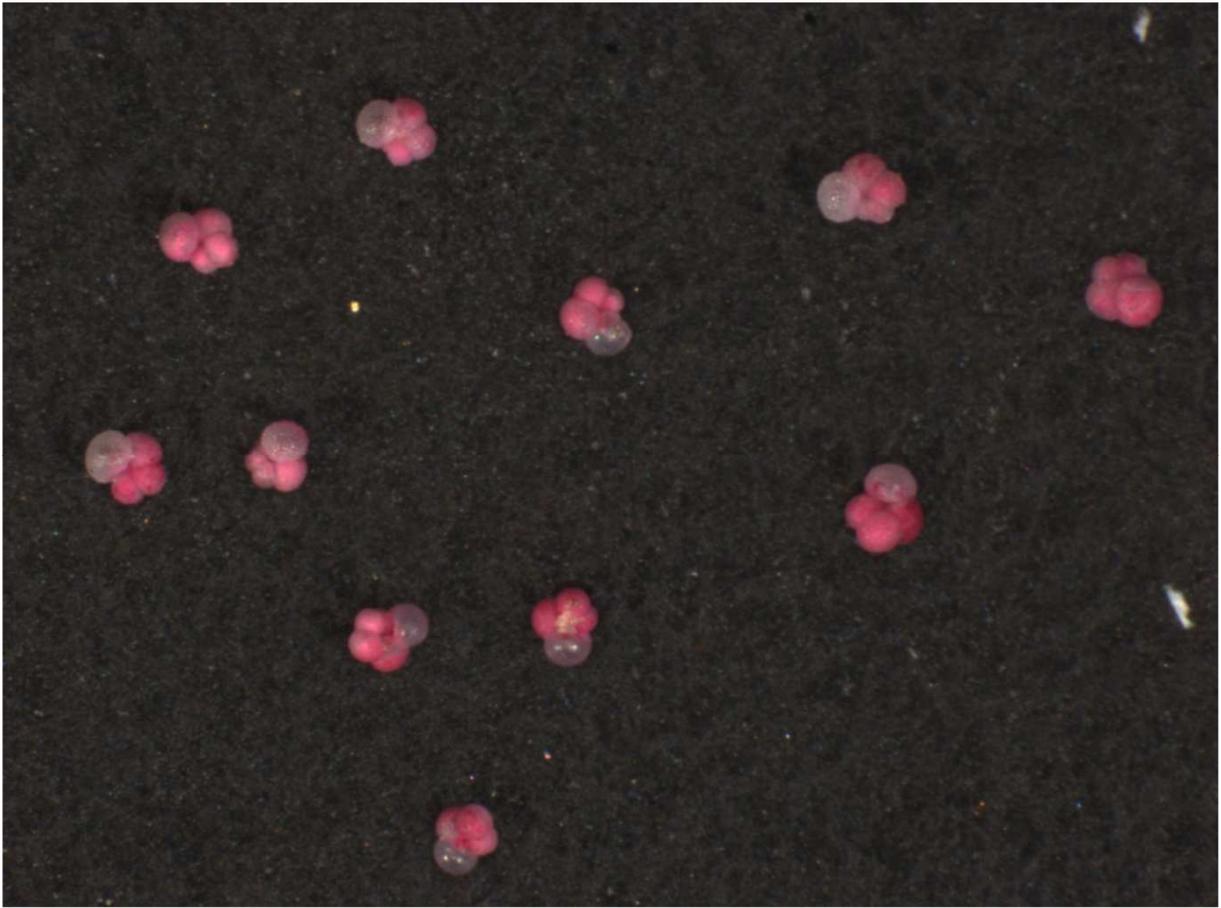
B

Exemple d'analyse de taille de spécimens de *G. glutinata* avec le logiciel *analysisIS*® (cf. Chapitre III partie B) ; A. avant l'analyse ; B. lors de la sélection manuelle des spécimens pour l'analyse.

@ Image Name	@ Object Identifier	Area µm²	Convex Area µm²	Perimeter µm	Convex Perimeter µm	Diameter Min µm	Diameter Mean µm	ECD µm	Sphericity	Aspect Ratio	Elongation	Convexity	Shape Factor	Center Gravity X µm	Center Gravity Y µm	Center Convex X µm	Center Convex Y µm	Central Distance Max µm	Central Distance Min µm	Diameter Inner Max µm	Diameter Inner Mean µm	Diameter Inner Min µm	Extent Inner Max µm	Extent Inner Mean µm	Extent Inner Min µm	
Bull1	Bull1_1	7859.80	8634.20	355.63	351.64	118.65	100.73	109.45	100.04	0.63	1.24	1.26	0.91	0.78	614.57	89.12	614.88	90.25	60.78	34.66	118.91	99.58	82.42	120.31	105.36	88.45
Bull1	Bull1_2	8417.08	8800.66	346.41	349.14	119.47	87.59	112.41	103.52	0.48	1.41	1.44	0.96	0.88	1195.92	338.55	1196.28	338.58	60.43	33.52	121.98	102.37	74.15	122.32	105.22	84.07
Bull1	Bull1_3	9531.63	10588.29	399.99	398.22	138.67	101.27	125.07	110.16	0.62	1.31	1.27	0.90	0.75	614.17	746.35	614.12	747.01	72.84	40.55	138.11	108.70	87.20	137.31	117.14	99.55
Bull1	Bull1_4	9155.29	9661.90	366.71	371.86	138.98	83.57	121.63	107.97	0.42	1.56	1.55	0.95	0.86	188.90	1090.20	189.46	1090.38	68.97	38.48	137.28	106.38	80.90	138.49	110.53	84.55
Bull1	Bull1_7	10291.56	11598.10	435.31	420.67	156.24	105.71	134.71	114.47	0.49	1.52	1.43	0.89	0.68	624.18	1388.93	625.00	1387.99	78.50	39.42	147.77	112.73	91.47	158.52	120.43	96.96
Bull1	Bull1_9	8221.67	10530.39	476.52	408.10	143.90	110.40	128.09	102.31	0.62	1.44	1.27	0.78	0.48	1166.46	910.28	1163.94	914.66	81.19	30.01	109.33	97.53	78.20	136.41	111.67	95.82
Bull1	Bull1_6	8279.56	8713.81	344.65	353.76	124.63	85.07	113.93	102.67	0.44	1.44	1.50	0.95	0.88	1788.12	645.38	1787.99	645.03	63.22	33.37	122.22	101.15	78.02	124.15	105.13	85.37
Bull1	Bull1_4	14322.78	15987.38	504.59	492.84	175.92	123.46	159.06	135.04	0.44	1.48	1.52	0.90	0.71	2179.99	506.97	2179.07	507.16	95.08	39.91	168.81	132.12	97.20	174.87	142.31	110.08
Bull1	Bull1_5	14141.84	15314.30	488.28	473.93	162.60	121.06	147.28	134.19	0.55	1.30	1.35	0.92	0.75	2949.20	537.40	2948.19	536.84	80.14	42.97	169.21	132.50	102.66	161.00	140.42	121.29
Bull1	Bull1_10	10848.84	11594.29	400.67	407.14	137.73	107.61	127.01	117.53	0.68	1.21	1.24	0.94	0.85	3476.66	944.01	3477.18	943.44	67.82	40.66	137.28	116.78	94.52	137.28	121.93	108.39
Bull1	Bull1_15	9278.32	10624.48	464.65	400.72	150.75	95.19	131.16	108.69	0.36	1.62	1.62	0.87	0.54	2551.77	1097.19	2547.36	1099.71	83.98	40.52	144.57	104.56	83.86	144.59	112.88	88.34
Bull1	Bull1_13	7056.45	7476.22	321.28	329.47	115.56	91.35	102.88	94.79	0.61	1.28	1.29	0.94	0.86	1789.38	1001.26	1789.35	1001.28	59.94	35.33	115.68	94.07	81.99	116.30	98.70	86.19
Bull1	Bull1_16	10588.29	11449.54	414.19	403.22	134.51	109.51	125.67	116.11	0.63	1.26	1.26	0.92	0.78	1283.06	1338.41	1283.14	1340.08	68.01	43.19	136.05	115.02	96.49	138.40	120.38	106.49
Bull1	Bull1_18	15133.37	16834.15	542.58	521.43	200.24	120.31	169.79	138.81	0.46	1.61	1.47	0.90	0.65	1489.69	1540.90	1470.59	1539.69	106.97	48.25	188.81	136.87	110.30	196.69	148.21	118.56
Bull1	Bull1_25	11037.01	11789.70	409.77	411.75	141.18	110.69	131.38	118.54	0.54	1.31	1.36	0.94	0.83	609.92	2101.51	610.27	2101.35	73.66	39.45	136.82	116.43	88.91	140.62	123.97	103.16
Bull1	Bull1_26	12498.96	13461.53	478.07	453.06	165.51	106.43	148.80	126.15	0.41	1.55	1.57	0.93	0.69	1043.39	2223.95	1043.22	2225.53	90.49	40.87	160.23	123.78	84.59	162.25	129.96	98.18
Bull1	Bull1_24	12566.86	14040.52	487.41	469.09	164.90	108.45	149.75	126.44	0.43	1.50	1.52	0.89	0.66	2616.76	2104.40	2616.45	2106.82	87.54	35.64	152.61	123.03	86.27	164.47	135.47	105.90
Bull1	Bull1_22	9104.63	9621.13	385.97	380.77	131.93	104.68	121.65	107.67	0.50	1.30	1.41	0.93	0.77	3105.89	1955.83	3106.65	1956.37	72.88	32.72	125.37	105.83	80.83	133.37	114.31	96.85
Bull2	Bull2_10	16023.56	17268.39	511.80	506.21	181.86	130.03	160.00	142.83	0.44	1.40	1.51	0.93	0.77	1646.84	1537.34	1646.44	1538.17	95.82	39.42	160.08	140.47	93.01	181.57	149.23	116.50
Bull2	Bull2_16	11065.96	11905.49	425.64	424.09	148.57	111.47	136.40	118.70	0.51	1.41	1.39	0.93	0.77	1023.41	1898.14	1023.74	1897.35	80.67	40.53	143.24	116.74	93.55	151.75	126.30	102.23
Bull2	Bull2_15	6513.64	7056.45	319.89	315.17	102.97	84.43	98.59	91.07	0.78	1.10	1.13	0.92	0.80	747.20	1892.65	746.78	1892.28	51.78	33.43	102.89	90.50	73.98	103.31	94.77	83.81
Bull2	Bull2_17	12636.47	14141.84	494.96	468.17	173.45	108.31	150.48	126.84	0.39	1.64	1.60	0.89	0.65	323.99	2078.87	322.70	2061.90	91.97	39.16	164.61	123.12	87.07	173.84	131.41	101.80
Bull2	Bull2_26	8438.79	9278.32	369.96	363.06	122.01	104.47	113.12	103.66	0.69	1.20	1.20	0.91	0.77	619.11	2587.25	619.20	2588.27	62.23	36.03	120.40	103.08	86.02	122.89	109.46	94.81
Bull2	Bull2_22	9734.28	10747.51	429.41	407.41	158.38	96.44	133.41	111.33	0.42	1.56	1.54	0.91	0.66	1206.78	2246.08	1206.78	2245.27	78.42	34.86	151.80	109.58	83.04	157.79	115.84	91.31
Bull2	Bull2_24	7874.27	9025.02	434.15	370.40	139.53	86.13	120.61	100.13	0.46	1.52	1.42	0.84	0.52	1685.50	2507.11	1684.05	2503.41	77.03	33.23	117.94	96.09	74.15	127.23	104.50	86.17
Bull2	Bull2_21	9850.08	11710.08	488.76	423.82	160.87	108.58	134.34	111.99	0.49	1.37	1.42	0.84	0.52	3504.87	2203.91	3503.60	2208.87	83.99	42.05	150.27	109.58	91.24	154.38	121.19	100.53
Bull2	Bull2_9	9097.39	9596.77	373.62	376.97	141.05	81.82	123.95	107.63	0.35	1.63	1.69	0.95	0.82	3226.16	1489.09	3226.27	1488.50	70.59	36.16	137.87	105.53	77.16	139.03	109.08	83.75
Bull3	Bull3_11	13345.73	14720.83	495.38	469.85	173.52	109.24	152.60	130.35	0.33	1.60	1.74	0.91	0.68	2182.86	1638.81	2182.33	1637.07	92.13	26.03	174.85	126.36	78.20	175.69	135.19	103.25
Bull3	Bull3_7	8134.82	8829.61	358.66	363.60	128.60	90.43	115.33	101.77	0.49	1.34	1.43	0.92	0.79	365.54	1136.25	365.32	1136.00	66.39	35.03	125.24	100.11	78.87	128.08	106.21	83.81
Bull3	Bull3_6	6600.49	6875.51	300.49	308.22	99.21	90.23	95.80	91.67	0.93	1.04	1.04	0.96	0.82	809.44	946.81	809.60	946.88	51.87	36.48	96.49	91.22	83.44	98.77	95.04	91.51
Bull3	Bull3_3	7273.57	7787.42	337.46	337.73	118.00	84.48	107.16	96.23	0.52	1.43	1.38	0.93	0.80	1071.78	454.94	1071.52	455.33	62.65	34.28	114.39	95.42	70.48	118.80	99.76	80.00
Bull3	Bull3_11	9538.67	10356.69	384.89	386.15	135.18	106.15	121.69	110.21	0.55	1.28	1.34	0.92	0.81	1622.11	507.40	1623.61	507.28	68.03	40.08	131.39	109.24	86.27	135.52	115.20	97.01
Bull3	Bull3_11	11348.21	12223.94	427.48	422.13	148.38	95.53	136.81	120.20	0.50	1.45	1.42	0.93	0.78	300.16	1983.16	300.21	1984.81	74.95	37.87	147.77	117.81	86.09	147.45	123.90	97.40
Bull4	Bull4_5	16689.40	19316.57	614.88	531.27	180.47	147.18	163.69	145.77	0.73	1.18	1.17	0.86	0.55	839.56	1025.55	836.99	1023.59	97.38	47.50	169.57	142.89	115.89	179.64	158.35	141.44
Bull4	Bull4_11	13345.73	14720.83	495.38	469.85	173.52	109.24	152.60	130.35	0.33	1.60	1.74	0.91	0.68	2182.86	1638.81	2182.33	1637.07	92.13	26.03	174.85	126.36	78.20	175.69	135.19	103.25
Bull4	Bull4_8	4726.01	5688.58	362.51	301.53	110.92	63.03	101.18	77.57	0.34	1.66	1.70	0.83	0.45	3280.93	1290.48	3282.92	1293.16	59.21	26.41	101.97	73.35	55.94	105.06	80.67	60.25
Bull4	Bull4_15	6795.90	7678.86	355.55	338.38	124.63	93.23	108.10	93.02	0.51	1.40	1.40	0.89	0.68	1497.11	2103.32	1498.28	2104.75	62.97	31.20	118.53	91.80	72.20	125.48	98.93	81.90
Bull5	Bull5_22	8764.47	9104.63	350.85	355.72	124.01	93.97	113.14	105.64	0.51	1.36	1.40	0.96	0.89	1220.93	2022.20	1220.92	2022.00	63.06	35.98	126.10	104.35	77.08	127.56	107.50	90.46
Bull5	Bull5_19	16240.69	17413.14	499.09	498.49	173.02	124.22	158.40	143.80	0.59	1.30	1.30	0.93	0.82	1867.64	1768.09	1868.08	1766.77	86.28	49.53	170.24	141.35	111.98	172.98	149.57	126.92
Bull5	Bull5_13	14308.30	15661.69	508.37	489.58	178.65	107.74	159.96	134.97	0.49	1.51	1.42	0.91	0.70	1706.91	1296.07	1706.97	1299.09	98.17	43.52	171.61	132.20	101.52	177.46	142.31	110.44

Exemple de tableau de données obtenu pour les analyses de tailles de quelques individus de *G. bulloides* entre 0 et 20 m de profondeur à la Station WH en Avril 2007.

Exemples de photos de mesure :



N. pachyderma dextre



et *G. inflata*



G. bulloides vivants et morts



H. pelagica

ANNEXE C - ISOTOPES

POIDS VS TAILLES

Des pesées ont été effectuées avant les mesures isotopiques des échantillons, nous avons donc réalisé une petite étude sur les rapports entre les poids et les gammes de tailles des individus.

La plupart des foraminifères planctoniques ont des formes sphériques. Si l'on compare l'évolution massique des foraminifères planctoniques à une sphère :

$$V = 4/3 \pi r^3$$

Où r est le rayon de la sphère. Le volume peut aussi s'estimer par :

$$V = m / \rho$$

Où m est la masse de la coquille et ρ la densité de la calcite ($2,79 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\mu\text{m}^3$). La relation du volume avec la masse est donc :

$$m = \rho * (4/3 \pi r^3)$$

Les foraminifères planctoniques ne pouvant être assimilés à une sphère pleine, nous prendrons comme relation le volume d'une sphère d'une épaisseur de quelques μm de calcite. Dans la Figure VII-2, nous avons représenté la relation poids – gamme de taille selon différentes épaisseurs de tests.

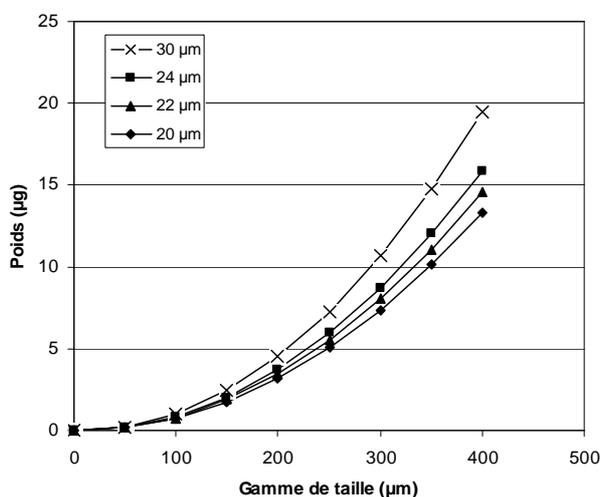


Figure 1 : Relation entre le poids et la taille d'une sphère d'une épaisseur de 20, 22, 24 et 30 μm de calcite.

Billups et Spero (1995) ont réalisé cette relation pour des spécimens de *O. universa* et on trouvé des épaisseurs de tests de 8 à 26 μm d'épaisseur dans les sédiments. Nous avons testé plusieurs épaisseurs de 1 à 10 μm d'épaisseur et retranscrit la relation de 5 μm sur la Figure VII-3.

Intégrée sur les périodes d'échantillonnage de Mars 2008, Avril 2007 et Juin 2006, les relations entre le poids et les gammes de taille des espèces *G. inflata*, *G. bulloides* et *N. pachyderma* dextre montrent des augmentations exponentielles de leurs poids en fonction de la taille (Figure VII-3). *G. inflata* étant l'espèce ayant une augmentation de poids plus importante par rapport à la taille.

Les relations avec une sphère de calcite de quelques μm d'épaisseur de calcite sont proches des relations observées pour les espèces de *G. bulloides*, *N. pachyderma* dextre et *G. inflata*, bien que pour 20 μm d'épaisseur les poids sont sous évalués sous 300 μm de diamètre et sur évalués dépassé 350 μm . Les spécimens de tailles supérieures à 315 μm de diamètre ont été réunis dans cette unique catégorie (représentée à 350 μm sur la Figure VII-4), expliquant les valeurs plus importantes des poids pour cette catégorie (Figure 3), bien que les spécimens furent rarement supérieurs à 450 μm .

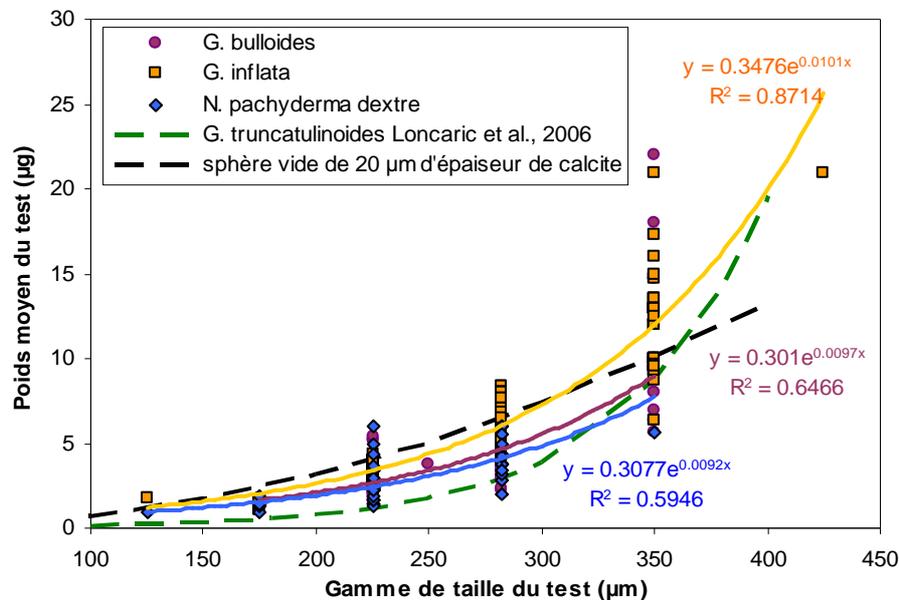


Figure 2 : Poids moyen des foraminifères en fonction de la gamme de taille des tests de foraminifères planctoniques pour les spécimens des espèces *G. bulloides*, *G. inflata* et *N. pachyderma dextre*, ainsi que la relation de masse de Lončarić et al. (2006) pour l'espèce *G. truncatulinoides* et l'évolution théorique du poids d'une sphère de 20 μm d'épaisseur de calcite (densité = 2.79).

Les relations entre le poids et la taille montrent ici des coefficients de corrélations importants avec une distribution exponentielle. D'autres chercheurs ont aussi trouvée de telles distributions exponentielles ($y=0,03e^{0,0162*S}$, pour *G. truncatulinoides*, Lončarić et al., 2006) ou polynomiales du second degré (Stangeew, 2001).

Les données brutes des mesures isotopiques sont ici reportées pour les trois espèces et trois périodes investies.

G. bulloides

PECH 1		G. bulloides												
Station	WH	depth	δ18O PDB	δ13C PDB	RunIndex	Acquisition Date	δ18O GIF	δ13C GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction µm
		10	-0.96	-1.04	4707	12/06/08	-0.90	-1.09	BIP2	F10=14	1.58E-09	1.05	IsoPrime	250-315µm
		30	-0.65	-2.77	4571	18/04/08	-0.64	-2.89	BIP2	F30=31	4.51E-09	0.26	IsoPrime	150-200µm
		30	-0.52	-2.46	4572	18/04/08	-0.51	-2.58	BIP2	F31=32	5.19E-09	0.30	IsoPrime	150-200µm
		30	-0.46	-2.06	4573	18/04/08	-0.45	-2.18	BIP2	F18=35	5.09E-09	0.29	IsoPrime	200-250µm
		30	-0.20	-1.82	4575	18/04/08	-0.19	-1.94	BIP2	F10=35	4.80E-09	0.38	IsoPrime	250-315µm
		50	0.23	-2.27	4576	18/04/08	0.24	-2.39	BIP2	F16=29	3.71E-09	0.11	IsoPrime	150-200µm
		50	0.02	-2.35	4577	18/04/08	0.03	-2.47	BIP2	F16=29	3.87E-09	0.11	IsoPrime	150-200µm
		50	0.20	-1.78	4582	21/04/08	0.21	-1.90	BIP2	F14=37	5.03E-09	1.47	IsoPrime	200-250µm
		50	0.41	-1.86	4642	10/06/08	0.49	-1.88	BIP2	F15=40	5.67E-09	0.21	IsoPrime	200-250µm
		50	0.16	-2.10	4643	10/06/08	0.24	-2.12	BIP2	F7=35	3.53E-09	-0.23	IsoPrime	250-315µm
		50	0.29	-1.05	4583	21/04/08	0.30	-1.17	BIP2	F3=30	4.77E-09	-0.75	IsoPrime	>315µm
		50	0.04	-1.69	4644	10/06/08	0.12	-1.71	BIP2	F3=30	4.29E-09	0.27	IsoPrime	>315µm
		70	0.15	-1.61	4584	21/04/08	0.16	-1.73	BIP2	F8=32	3.48E-09	-1.53	IsoPrime	200-250µm
		70	0.11	-1.55	4586	21/04/08	0.12	-1.67	BIP2	F8=32	4.20E-09	-0.87	IsoPrime	200-250µm
		70	0.39	-1.61	4645	12/06/08	0.47	-1.63	BIP2	F8=32	4.78E-09	0.01	IsoPrime	200-250µm
		70	0.16	-1.71	4708	12/06/08	0.32	-1.73	BIP2	F8=32	4.00E-09	-0.03	IsoPrime	200-250µm
		70	0.35	-1.41	4709	12/06/08	0.51	-1.43	BIP2	F8=32	4.19E-09	0.12	IsoPrime	200-250µm
		70	0.34	-1.69	4587	21/04/08	0.35	-1.81	BIP2	F6=35	4.16E-09	0.12	IsoPrime	250-315µm
		70	0.40	-1.37	4588	21/04/08	0.41	-1.49	BIP2	F6=35	4.09E-09	0.08	IsoPrime	250-315µm
		70	0.33	-1.59	4589	21/04/08	0.34	-1.71	BIP2	F3	2.63E-09	0.26	IsoPrime	250-315µm
		70	0.08	-1.46	4710	12/06/08	0.24	-1.48	BIP2	F6=35	5.43E-09	-0.12	IsoPrime	250-315µm
		70	0.33	-1.78	4711	12/06/08	0.49	-1.80	BIP2	F6=35	4.19E-09	-0.81	IsoPrime	250-315µm
		70	0.37	-1.66	4712	12/06/08	0.53	-1.68	BIP2	F6=35	4.18E-09	0.59	IsoPrime	250-315µm
		70	0.44	-0.75	4590	21/04/08	0.45	-0.87	BIP2	F4=32	5.73E-09	-0.14	IsoPrime	>315µm
		70	0.55	-1.27	4662	11/06/08	0.63	-1.29	BIP2	F4=32	5.84E-09	0.25	IsoPrime	>315µm
		90	0.43	-1.52	4591	21/04/08	0.44	-1.64	BIP2	F12=35	4.94E-09	0.26	IsoPrime	200-250µm
		90	0.47	-1.66	4663	11/06/08	0.55	-1.68	BIP2	F13=39	4.86E-09	0.13	IsoPrime	200-250µm
		90	0.34	-1.61	4592	21/04/08	0.35	-1.73	BIP2	F7=32	5.32E-09	0.30	IsoPrime	250-315µm
		90	0.14	-1.85	4664	11/06/08	0.22	-1.87	BIP2	F7=32	5.29E-09	-0.33	IsoPrime	250-315µm
		90	0.61	-1.05	4595	21/04/08	0.62	-1.17	BIP2	F3=28	3.87E-09	-0.10	IsoPrime	>315µm
		90	0.33	-1.42	4665	11/06/08	0.41	-1.44	BIP2	F3=28	4.36E-09	-0.37	IsoPrime	>315µm
		150	0.50	-1.59	4596	21/04/08	0.51	-1.71	BIP2	F14=34	5.36E-09	0.39	IsoPrime	200-250µm
		150	0.67	-1.59	4597	21/04/08	0.68	-1.71	BIP2	F5=25	3.43E-09	0.00	IsoPrime	250-315µm
		150	0.52	-1.51	4666	11/06/08	0.60	-1.53	BIP2	F5=24	3.84E-09	-1.18	IsoPrime	250-315µm
		150	0.40	-0.72	4598	21/04/08	0.41	-0.84	BIP2	F3=44	5.86E-09	0.49	IsoPrime	>315µm
		250	0.41	-1.35	4646	10/06/08	0.39	-1.40	BIP2	F1=22	1.81E-09	-0.40	IsoPrime	>315µm
		250	0.49	-1.23	4667	11/06/08	0.47	-1.28	BIP2	F1=18	2.23E-09	-1.02	IsoPrime	>315µm
Forams non grillés														
		50	0.36	-1.89	4693	12/06/08	0.52	-1.91	BIP2	X	4.80E-09	-0.53	IsoPrime	200-250µm
		50	0.42	-1.12	4694	12/06/08	0.58	-1.14	BIP2	X	3.39E-09	-0.29	IsoPrime	250-315µm
		50	0.42	-1.45	4695	12/06/08	0.48	-1.50	BIP2	X	1.89E-09	0.17	IsoPrime	>315µm
		70	0.35	-1.38	4696	12/06/08	0.41	-1.43	BIP2	X	1.73E-09	-1.79	IsoPrime	>315µm
		90	0.14	-1.72	4697	12/06/08	0.30	-1.74	BIP2	X	3.64E-09	-1.40	IsoPrime	250-315µm
		90	-0.05	-1.70	4698	12/06/08	0.11	-1.72	BIP2	X	2.56E-09	0.77	IsoPrime	>315µm

PECH 1		G. bulloides												
Station	A	depth	δ18O PDB	δ13C PDB	RunIndex	Acquisition Date	δ18O GIF	δ13C GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction µm
		10	-0.01	-1.23	3700	22/01/08	0.05	-1.32	BIP2	F2	1.85E-09	-0.70	IsoPrime	>315µm
		30	-0.33	-2.23	3701	23/01/08	-0.27	-2.32	BIP2	F15	3.97E-09	0.29	IsoPrime	200-250µm
		50	0.33	-2.03	3702	24/01/08	0.39	-2.12	BIP2	F12	2.73E-09	0.21	IsoPrime	200-250µm
		50	0.42	-1.84	3703	25/01/08	0.48	-1.93	BIP2	F12	4.18E-09	-0.55	IsoPrime	200-250µm
		50	0.29	-1.44	3704	26/01/08	0.35	-1.53	BIP2	F9	4.58E-09	-0.60	IsoPrime	250-315µm
		50	0.42	-1.45	3705	27/01/08	0.48	-1.54	BIP2	F9	4.59E-09	0.50	IsoPrime	250-315µm
		70	0.37	-2.15	3706	28/01/08	0.43	-2.24	BIP2	F16	3.82E-09	0.05	IsoPrime	150-200µm
		70	0.65	-1.71	3707	29/01/08	0.71	-1.80	BIP2	F16	5.86E-09	-0.35	IsoPrime	200-250µm
		70	0.61	-1.72	3710	30/01/08	0.67	-1.81	BIP2	F9	5.78E-09	-0.08	IsoPrime	200-250µm
		70	0.61	-1.38	3711	31/01/08	0.67	-1.47	BIP2	F9	5.09E-09	0.02	IsoPrime	250-315µm
		90	0.65	-1.34	3712	01/02/08	0.71	-1.43	BIP2	F9	3.47E-09	0.29	IsoPrime	200-250µm
		90	0.69	-1.15	3713	02/02/08	0.75	-1.24	BIP2	F4	2.75E-09	-0.21	IsoPrime	250-315µm
		150	0.08	-1.90	3714	03/02/08	0.14	-1.99	BIP2	F10	3.04E-09	0.29	IsoPrime	200-250µm
		150	0.74	-1.23	3715	04/02/08	0.80	-1.32	BIP2	F3	2.98E-09	-0.54	IsoPrime	>315µm

PECH 3		G. bulloides												
Station	WH	depth	δ 18O PDB	δ 13C PDB	RunIndex	Acquisition Date	δ 18O GIF	δ 13C GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μ m
		10	0.06	-3.17	6266	20/10/08	0.19	-3.21	KORO	F10=16	2.31E-09	-0.09	IsoPrime	200-250 μ m
		30	0.41	-2.61	6267	20/10/08	0.54	-2.65	KORO	F12=23	3.05E-09	-0.45	IsoPrime	200-250 μ m
		30	0.52	-2.16	6268	20/10/08	0.65	-2.20	KORO	F11=20	3.89E-09	0.39	IsoPrime	200-250 μ m
		30	0.57	-1.99	6269	20/10/08	0.70	-2.03	KORO	F7=20	2.28E-09	-0.46	IsoPrime	250-315 μ m
		30	0.56	-2.06	6270	20/10/08	0.69	-2.10	KORO	F6=20	2.23E-09	0.37	IsoPrime	250-315 μ m
		30	0.47	-2.03	6271	20/10/08	0.60	-2.07	KORO	F5=32	4.76E-09	-0.36	IsoPrime	315-400 μ m
		50	0.63	-2.24	6272	20/10/08	0.76	-2.28	KORO	F16=36	6.16E-09	0.78	IsoPrime	200-250 μ m
		50	0.63	-1.96	6276	20/10/08	0.76	-2.00	KORO	F4=15	2.26E-09	-0.41	IsoPrime	200-250 μ m
		150	0.57	-2.13	6277	20/10/08	0.70	-2.17	KORO	F7=18	2.90E-09	0.16	IsoPrime	200-250 μ m
		250	0.74	-1.93	6278	20/10/08	0.87	-1.97	KORO	F6=23	4.43E-09	0.42	IsoPrime	200-250 μ m
		250	0.81	-1.27	6279	20/10/08	0.94	-1.31	KORO	F4=21	4.23E-09	0.41	IsoPrime	200-250 μ m

PECH 3		G. bulloides												
Station	A	depth	δ 18O PDB	δ 13C PDB	RunIndex	Acquisition Date	δ 18O GIF	δ 13C GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μ m
		10	0.01	-2.97	6203	17/10/08	0.14	-3.01	KORO	F12=26	3.35E-09	-0.53	IsoPrime	200-250 μ m
		10	0.15	-2.49	6204	17/10/08	0.28	-2.53	KORO	F3=18	1.66E-09	-0.22	IsoPrime	250-315 μ m
		30	0.39	-2.31	6205	17/10/08	0.52	-2.35	KORO	F11=28	4.22E-09	0.48	IsoPrime	200-250 μ m
		30	0.43	-2.09	6206	17/10/08	0.56	-2.13	KORO	F5=22	2.82E-09	-0.53	IsoPrime	250-315 μ m
		30	0.44	-2.08	6207	17/10/08	0.57	-2.12	KORO	F4=18	2.43E-09	0.43	IsoPrime	250-315 μ m
		50	0.30	-2.39	6208	17/10/08	0.43	-2.43	KORO	F7=21	2.45E-09	-0.15	IsoPrime	200-250 μ m
		50	0.56	-2.22	6209	17/10/08	0.69	-2.26	KORO	F7=21	2.86E-09	-0.85	IsoPrime	200-250 μ m
		50	0.67	-1.76	6210	17/10/08	0.80	-1.80	KORO	F5=27	4.56E-09	-0.39	IsoPrime	200-250 μ m
		50	0.64	-1.65	6211	17/10/08	0.77	-1.69	KORO	F5=26	3.86E-09	0.36	IsoPrime	200-250 μ m
		50	0.54	-1.90	6212	17/10/08	0.67	-1.94	KORO	F5=26	2.46E-09	-0.67	IsoPrime	200-250 μ m
		70	0.47	-2.11	6215	17/10/08	0.60	-2.15	KORO	F8=22	2.62E-09	0.51	IsoPrime	200-250 μ m
		70	0.74	-1.45	6216	17/10/08	0.87	-1.49	KORO	F6=31	4.65E-09	0.58	IsoPrime	250-315 μ m

PECH 5		G. bulloides												
Station	WH	depth	δ 18O PDB	δ 13C PDB	RunIndex	Acquisition Date	δ 18O GIF	δ 13C GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μ m
		10	0.52	-1.95	7292	04/02/05	0.65	-2.09	BIP2	F12=27	3.92E-09	0.33	IsoPrime	250-315 μ m
		30	0.47	-1.80	7293	04/02/05	0.66	-2.05	BIP2	F7=15	1.98E-09	-0.14	IsoPrime	200-250 μ m
		30	0.64	-1.92	7294	04/02/05	0.77	-2.06	BIP2	F9=35	3.25E-09	0.19	IsoPrime	250-315 μ m
		50	0.52	-1.80	7296	04/02/05	0.65	-1.94	BIP2	F10=20	2.41E-09	-0.43	IsoPrime	200-250 μ m
		50	0.55	-1.71	7297	04/02/05	0.68	-1.85	BIP2	F10=30	3.82E-09	0.67	IsoPrime	250-315 μ m
		70	0.57	-1.67	7298	04/02/05	0.76	-1.92	BIP2	F10=25	1.90E-09	-0.16	IsoPrime	200-250 μ m
		70	0.65	-1.46	7299	04/02/05	0.84	-1.71	BIP2	F5=15	1.65E-09	-0.21	IsoPrime	250-315 μ m
		150	0.61	-1.50	7300	04/02/05	0.80	-1.75	BIP2	F5=14	1.11E-09	-0.27	IsoPrime	200-250 μ m
		150	0.79	-1.21	7301	04/02/05	0.92	-1.24	BIP2	F6=36	4.10E-09	-0.21	IsoPrime	250-315 μ m

PECH 5		G. bulloides												
Station	A	depth	δ 18O PDB	δ 13C PDB	RunIndex	Acquisition Date	δ 18O GIF	δ 13C GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μ m
		10	0.71	-1.37	7345	01/04/05	0.84	-1.51	BIP2	F10=30	2.37E-09	-0.41	IsoPrime	200-250 μ m
		30	0.68	-1.37	7346	01/04/05	0.81	-1.51	BIP2	F9=36	3.66E-09	0.00	IsoPrime	250-315 μ m
		50	0.59	-1.95	7347	01/04/05	0.72	-2.09	BIP2	F11=25	2.39E-09	-0.39	IsoPrime	200-250 μ m
		400	0.60	-1.77	7348	01/04/05	0.73	-1.91	BIP2	F10=23	2.09E-09	-0.48	IsoPrime	200-250 μ m

N. pachyderma dextre

PECH 1		N. pachyderma dextre											
WH	depth	$\delta^{18}O$ PDB	$\delta^{13}C$ PDB	R unIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}O$ GIF	$\delta^{13}C$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	30	0.12	-0.55	4649	10/06/08	0.20	-0.57	BIP2	F24=31	4.03E-09	0.01	IsoPrime	150-200 μm
	30	0.24	-0.13	4650	10/06/08	0.32	-0.15	BIP2	F20=33	5.00E-09	0.08	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.28	0.24	4651	10/06/08	0.36	0.22	BIP2	F8=23	4.63E-09	-0.26	IsoPrime	250-315 μm
	50	0.40	-0.47	4652	10/06/08	0.48	-0.49	BIP2	F28=28	6.37E-09	0.46	IsoPrime	150-200 μm
	50	0.67	-0.31	4668	11/06/08	0.75	-0.33	BIP2	F18=26	4.70E-09	0.92	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.55	-0.30	4653	10/06/08	0.63	-0.32	BIP2	F18=26	5.16E-09	-0.05	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.76	0.06	4669	11/06/08	0.84	0.04	BIP2	F8=30	4.17E-09	-1.12	IsoPrime	250-315 μm
	50	0.67	0.12	4654	10/06/08	0.75	0.10	BIP2	F8=30	5.55E-09	0.37	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.67	-0.25	4670	11/06/08	0.75	-0.27	BIP2	F14=23	4.43E-09	-1.29	IsoPrime	200-250 μm
	70	0.63	-0.20	4655	10/06/08	0.71	-0.22	BIP2	F14=23	4.48E-09	-0.01	IsoPrime	200-250 μm
	70	0.73	-0.06	4673	11/06/08	0.81	-0.08	BIP2	F7=30	4.29E-09	0.82	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.66	-0.19	4722	16/06/08	0.82	-0.21	BIP2	F6=26	3.65E-09	0.39	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.68	-0.10	4721	16/06/08	0.84	0.08	BIP2	F6=26	4.82E-09	-0.07	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.86	0.09	4672	11/06/08	0.94	0.07	BIP2	F7=30	4.24E-09	0.20	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.89	-0.06	4671	11/06/08	0.97	-0.08	BIP2	F7=30	4.46E-09	-0.99	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.67	0.00	4720	16/06/08	0.83	-0.02	BIP2	F7=30	4.72E-09	0.05	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.84	-0.17	4719	16/06/08	1.00	-0.19	BIP2	F7=30	4.68E-09	-0.63	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.91	0.10	4674	11/06/08	0.89	0.05	BIP2	F3=17	2.45E-09	0.83	IsoPrime	>315 μm
	90	0.62	-0.18	4723	16/06/08	0.78	-0.20	BIP2	F14=31	4.69E-09	1.02	IsoPrime	200-250 μm
	90	0.71	-0.19	4677	11/06/08	0.79	-0.21	BIP2	F14=31	5.60E-09	-0.87	IsoPrime	200-250 μm
	90	0.76	0.01	4724	16/06/08	0.92	-0.01	BIP2	F6=29	4.58E-09	-0.92	IsoPrime	250-315 μm
	90	0.66	0.00	4678	11/06/08	0.74	-0.02	BIP2	F6=29	4.60E-09	1.07	IsoPrime	250-315 μm
	150	0.78	-0.26	4725	16/06/08	0.94	-0.28	BIP2	F11=30	4.32E-09	-1.22	IsoPrime	200-250 μm
	150	0.90	-0.15	4679	11/06/08	0.98	-0.17	BIP2	F12=33	5.02E-09	-1.17	IsoPrime	200-250 μm
	150	0.92	0.15	4726	16/06/08	1.08	0.13	BIP2	F5=30	5.48E-09	-0.60	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.05	0.07	4680	11/06/08	1.13	0.05	BIP2	F5=30	5.63E-09	-0.93	IsoPrime	250-315 μm

Forams non grillés

	50	0.68	-0.20	4699	12/06/08	0.84	-0.22	BIP2	F16=20	5.31E-09	1.32	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.63	-0.04	4701	12/06/08	0.79	-0.06	BIP2	F7=26	4.01E-09	-1.96	IsoPrime	250-315 μm
	50	0.71	0.08	4700	12/06/08	0.87	0.06	BIP2	F8=30	4.69E-09	-1.00	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.48	-0.21	4704	12/06/08	0.54	-0.26	BIP2	F10=16	2.49E-09	1.26	IsoPrime	200-250 μm
	90	0.77	-0.01	4705	12/06/08	0.93	-0.03	BIP2	F7=35	4.41E-09	-0.28	IsoPrime	200-250 μm
	150	0.71	-0.08	4706	12/06/08	0.87	-0.10	BIP2	F4=24	3.77E-09	-0.37	IsoPrime	200-250 μm

PECH 1		N. pachyderma dextre											
A	depth	$\delta^{18}O$ PDB	$\delta^{13}C$ PDB	R unIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}O$ GIF	$\delta^{13}C$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	10	0.55	-0.07	3716	22/01/08	0.61	-0.16	BIP2	F8	3.28E-09	-0.69	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.15	-0.86	3717	22/01/08	0.21	-0.95	BIP2	F21	2.29E-09	0.17	IsoPrime	150-200 μm
	50	0.55	-0.28	3718	22/01/08	0.61	-0.37	BIP2	F11	3.32E-09	0.05	IsoPrime	200-250 μm
	70	0.54	-0.70	3719	22/01/08	0.60	-0.79	BIP2	F21	3.46E-09	0.27	IsoPrime	150-200 μm
	70	0.74	-0.34	3720	22/01/08	0.80	-0.43	BIP2	F16	4.80E-09	-0.45	IsoPrime	200-250 μm
	90	0.61	-0.57	3721	22/01/08	0.67	-0.66	BIP2	F20	3.53E-09	-0.50	IsoPrime	150-200 μm
	150	0.76	-0.16	3726	22/01/08	0.82	-0.25	BIP2	F8	3.12E-09	-0.39	IsoPrime	150-200 μm
	150	0.89	-0.22	3727	22/01/08	0.95	-0.31	BIP2	F7	4.08E-09	-0.19	IsoPrime	200-250 μm
	150	0.88	0.02	3728	22/01/08	0.94	-0.07	BIP2	F7	4.13E-09	-0.18	IsoPrime	200-250 μm
	250	0.96	-0.11	3729	22/01/08	1.02	-0.20	BIP2	F11	6.03E-09	0.46	IsoPrime	200-250 μm

PECH 3		N. pachyderma dextre											
WH	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	30	0.90	-0.26	6280	21/10/08	1.03	-0.30	KORO	F12=29	4.33E-09	-0.40	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.87	-0.34	6281	21/10/08	1.00	-0.38	KORO	F12=29	4.33E-09	0.36	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.88	-0.35	6282	21/10/08	1.01	-0.39	KORO	F11=26	2.93E-09	-0.57	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.84	-0.29	6283	21/10/08	0.97	-0.33	KORO	F11=26	5.10E-09	0.57	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.98	-0.10	6284	21/10/08	1.11	-0.14	KORO	F11=35	6.64E-09	-0.17	IsoPrime	250-315 μm
	50	0.67	-0.90	6285	21/10/08	0.80	-0.94	KORO	F17=16	2.17E-09	-0.48	IsoPrime	100-150 μm
	50	0.86	-0.54	6286	21/10/08	0.99	-0.58	KORO	F21=26	4.15E-09	0.48	IsoPrime	150-200 μm
	50	0.93	-0.19	6287	21/10/08	1.06	-0.23	KORO	F7=16	2.99E-09	-0.32	IsoPrime	200-250 μm
	70	0.84	-0.44	6288	21/10/08	0.97	-0.48	KORO	F10=24	2.54E-09	-0.55	IsoPrime	200-250 μm
	70	0.89	-0.24	6289	21/10/08	1.02	-0.28	KORO	F9=22	3.63E-09	-0.16	IsoPrime	200-250 μm
	90	0.85	-0.28	6290	21/10/08	0.98	-0.32	KORO	F8=18	3.10E-09	0.41	IsoPrime	200-250 μm
	150	0.94	-0.43	6292	21/10/08	1.07	-0.47	KORO	F7=19	2.51E-09	0.37	IsoPrime	200-250 μm
	250	1.00	-0.01	6293	21/10/08	1.13	-0.05	KORO	F4=22	2.76E-09	0.39	IsoPrime	250-315 μm
	400	0.87	-0.32	6294	21/10/08	1.00	-0.36	KORO	F6=21	3.82E-09	0.47	IsoPrime	200-250 μm

PECH 3		N. pachyderma dextre											
A	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	50	0.77	-0.57	6217	17/10/08	0.90	-0.61	KORO	F10=24	2.69E-09	-0.53	IsoPrime	200-250 μm
	70	0.85	-0.31	6218	17/10/08	0.98	-0.35	KORO	F14=37	5.33E-09	0.87	IsoPrime	200-250 μm
	150	0.86	-0.32	6219	17/10/08	0.99	-0.36	KORO	F11=32	4.85E-09	0.14	IsoPrime	200-250 μm

PECH 5		N. pachyderma dextre											
WH	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	10	0.84	-0.13	7303	05/02/09	0.97	-0.27	BIP2	F15=28	2.72E-09	0.28	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.85	-0.08	7304	05/02/09	0.98	-0.11	BIP2	F11=37	4.20E-09	0.39	IsoPrime	250-315 μm
	30	0.77	-0.21	7305	05/02/09	0.96	-0.46	BIP2	F8=18	1.17E-09	0.11	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.83	-0.07	7306	05/02/09	0.96	-0.21	BIP2	F9=33	3.46E-09	0.80	IsoPrime	200-250 μm
	150	0.86	0.00	7307	05/02/09	1.05	-0.25	BIP2	F5=15	1.84E-09	-0.41	IsoPrime	200-250 μm
	250	0.89	-0.04	7308	05/02/09	1.08	-0.29	BIP2	F4=12	1.10E-09	-0.81	IsoPrime	200-250 μm

PECH 5		N. pachyderma dextre											
A	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	10	0.65	-0.36	7350	02/04/09	0.84	-0.61	BIP2	F14=20	1.82E-09	0.01	IsoPrime	150-200 μm
	10	0.68	-0.30	7349	02/04/09	0.87	-0.55	BIP2	F14=20	1.95E-09	-0.53	IsoPrime	150-200 μm
	10	0.69	-0.76	7351	02/04/09	0.82	-0.90	BIP2	F14=20	2.06E-09	0.16	IsoPrime	150-200 μm
	10	0.78	-0.06	7354	02/04/09	0.97	-0.31	BIP2	F7=24	1.49E-09	-0.05	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.72	-0.08	7355	02/04/09	0.91	-0.33	BIP2	F8=27	1.69E-09	0.51	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.73	-0.09	7353	02/04/09	0.92	-0.34	BIP2	F7=24	1.84E-09	-0.54	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.81	-0.06	7352	02/04/09	0.94	-0.20	BIP2	F7=24	2.07E-09	-0.56	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.84	0.04	7358	02/04/09	1.03	-0.21	BIP2	F4=20	1.62E-09	0.18	IsoPrime	250-315 μm
	10	0.63	-0.25	7339	02/04/09	0.82	-0.50	BIP2	F14=20	1.97E-09	0.05	IsoPrime	150-200 μm
	30	0.81	-0.26	7359	02/04/09	0.94	-0.40	BIP2	F14=26	2.64E-09	0.29	IsoPrime	150-200 μm
	30	0.85	0.03	7363	02/04/09	1.04	-0.22	BIP2	F7=20	1.72E-09	-0.42	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.72	-0.12	7360	02/04/09	0.85	-0.26	BIP2	F7=20	2.45E-09	0.57	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.71	-0.21	7361	02/04/09	0.84	-0.35	BIP2	F14=28	2.73E-09	-0.32	IsoPrime	250-315 μm
	90	0.75	-0.16	7362	02/04/09	0.94	-0.41	BIP2	F5=22	1.80E-09	0.41	IsoPrime	200-250 μm

G. inflata

PECH 1		G. inflata											
WH	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	50	0.78	0.20	4727	16/06/08	0.94	0.18	BIP2	F5=28	3.71E-09	-1.31	IsoPrime	250-315 μm
	50	0.61	-0.05	4681	11/06/08	0.69	-0.07	BIP2	F6=30	4.52E-09	1.35	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.62	0.05	4682	11/06/08	0.70	0.03	BIP2	F3=30	2.68E-09	0.05	IsoPrime	300-500 μm
	70	0.72	0.50	4729	16/06/08	0.88	0.48	BIP2	F2=20	3.38E-09	-0.13	IsoPrime	300-500 μm
	70	0.89	0.12	4683	11/06/08	0.97	0.10	BIP2	F2=20	3.59E-09	-0.45	IsoPrime	300-500 μm
	70	0.79	0.50	4728	16/06/08	0.95	0.48	BIP2	F2=20	4.37E-09	0.18	IsoPrime	300-500 μm
	90	0.78	0.32	4730	16/06/08	0.94	0.30	BIP2	F2=24	2.96E-09	-1.22	IsoPrime	300-500 μm
	90	0.84	0.58	4685	11/06/08	0.92	0.56	BIP2	F2=24	4.12E-09	-0.91	IsoPrime	300-500 μm
	90	0.91	0.41	4684	11/06/08	0.99	0.39	BIP2	F2=24	4.96E-09	-0.87	IsoPrime	300-500 μm
	150	1.18	0.70	4686	11/06/08	1.26	0.68	BIP2	F1=21	4.50E-09	-1.25	IsoPrime	>315 μm
	400	1.32	0.34	4687	11/06/08	1.40	0.32	BIP2	F2=20	4.64E-09	-1.39	IsoPrime	300-500 μm

PECH 1		G. inflata											
A	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	70	0.32	0.56	3730	23/01/08	0.38	0.47	BIP2	F2	3.17E-09	-0.26	IsoPrime	>315 μm
	150	1.09	0.05	3731	23/01/08	1.15	-0.04	BIP2	F13	5.31E-09	0.33	IsoPrime	200-250 μm
	150	1.41	0.42	3734	23/01/08	1.47	0.33	BIP2	F4	4.36E-09	-0.03	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.24	0.51	3735	23/01/08	1.30	0.42	BIP2	F2	5.45E-09	0.24	IsoPrime	>315 μm
	150	1.28	0.55	3736	23/01/08	1.34	0.46	BIP2	F2	4.41E-09	-0.25	IsoPrime	>315 μm
	150	1.34	0.49	3737	23/01/08	1.40	0.40	BIP2	F3	6.72E-09	0.77	IsoPrime	>315 μm
	250	1.15	0.23	3738	23/01/08	1.21	0.14	BIP2	F3	3.49E-09	-0.62	IsoPrime	250-315 μm
	250	1.21	0.43	3739	23/01/08	1.27	0.34	BIP2	F3	2.95E-09	-0.24	IsoPrime	250-315 μm
	250	1.35	0.53	3740	23/01/08	1.41	0.44	BIP2	F2	5.39E-09	-0.08	IsoPrime	>315 μm
	250	1.32	0.58	3741	23/01/08	1.38	0.49	BIP2	F2	6.95E-09	0.73	IsoPrime	>315 μm
	250	1.34	0.46	3742	23/01/08	1.40	0.37	BIP2	F2	6.96E-09	0.29	IsoPrime	>315 μm
	350	1.36	0.52	3743	23/01/08	1.42	0.43	BIP2	F3	6.17E-09	0.18	IsoPrime	>315 μm
	350	1.32	0.48	3744	23/01/08	1.38	0.39	BIP2	F3	5.58E-09	0.04	IsoPrime	>315 μm

PECH 3		G. inflata											
WH	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	30	0.89	-0.46	6295	21/10/08	1.02	-0.50	KORO	F14=15	2.36E-09	0.29	IsoPrime	150-200 μm
	30	0.91	-0.16	6296	21/10/08	1.04	-0.20	KORO	F8=24	4.82E-09	0.11	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.98	-0.13	6297	21/10/08	1.11	-0.17	KORO	F8=24	3.43E-09	-0.45	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.89	-0.18	6298	21/10/08	1.02	-0.22	KORO	F8=24	3.52E-09	0.37	IsoPrime	200-250 μm
	30	1.03	0.07	6299	21/10/08	1.16	0.03	KORO	F6=25	5.68E-09	0.24	IsoPrime	250-315 μm
	30	1.06	0.13	6300	21/10/08	1.19	0.09	KORO	F2=27	3.43E-09	-0.55	IsoPrime	315-400 μm
	50	0.96	-0.26	6301	21/10/08	1.09	-0.30	KORO	F8=22	3.27E-09	0.24	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.83	-0.48	6302	21/10/08	0.96	-0.52	KORO	F8=22	2.15E-09	0.42	IsoPrime	200-250 μm
	50	1.05	0.00	6303	21/10/08	1.18	-0.04	KORO	F6=28	4.48E-09	-0.15	IsoPrime	250-315 μm
	50	1.17	0.07	6304	21/10/08	1.30	0.03	KORO	F3=29	5.31E-09	-0.31	IsoPrime	315-400 μm
	50	1.04	0.03	6305	21/10/08	1.17	-0.01	KORO	F3=29	3.63E-09	-0.56	IsoPrime	315-400 μm
	50	1.10	-0.03	6310	22/10/08	1.23	-0.07	KORO	F2=19	3.59E-09	-0.19	IsoPrime	315-400 μm
	70	0.98	-0.27	6311	22/10/08	1.11	-0.31	KORO	F8=22	4.00E-09	0.16	IsoPrime	200-250 μm
	70	0.98	-0.16	6312	22/10/08	1.11	-0.20	KORO	F8=22	3.64E-09	0.06	IsoPrime	200-250 μm
	70	1.09	0.13	6313	22/10/08	1.22	0.09	KORO	F4=30	5.05E-09	0.76	IsoPrime	250-315 μm
	90	1.11	-0.01	6314	22/10/08	1.24	-0.05	KORO	F5=32	5.64E-09	0.18	IsoPrime	315-400 μm
	150	1.03	-0.31	6315	22/10/08	1.16	-0.35	KORO	F9=23	3.69E-09	-0.43	IsoPrime	200-250 μm
	150	1.19	0.28	6316	22/10/08	1.32	0.24	KORO	F3=44	8.23E-09	0.16	IsoPrime	315-400 μm
	250	1.09	0.27	6317	22/10/08	1.22	0.23	KORO	F2=27	3.45E-09	-0.47	IsoPrime	315-400 μm
	250	1.25	0.40	6318	22/10/08	1.38	0.36	KORO	F2=27	6.75E-09	0.26	IsoPrime	315-400 μm

PECH 3		G. inflata											
WH	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	30	0.70	-0.22	6220	17/10/08	0.83	-0.26	KORO	F5=19	2.19E-09	-0.91	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.95	-0.02	6221	17/10/08	1.08	-0.06	KORO	F8=28	3.62E-09	0.00	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.92	0.03	6222	17/10/08	1.05	-0.01	KORO	F7=24	3.99E-09	-0.33	IsoPrime	200-250 μm
	50	1.06	0.39	6225	17/10/08	1.19	0.35	KORO	F4=27	3.65E-09	-0.13	IsoPrime	250-315 μm
	50	1.10	0.46	6226	17/10/08	1.23	0.42	KORO	F3=28	3.91E-09	0.02	IsoPrime	315-400 μm
	50	1.09	0.36	6227	17/10/08	1.22	0.32	KORO	F3=28	4.91E-09	-0.03	IsoPrime	315-400 μm
	70	1.00	0.04	6228	17/10/08	1.13	0.00	KORO	F7=25	3.51E-09	-0.26	IsoPrime	200-250 μm
	70	1.00	0.17	6229	17/10/08	1.13	0.13	KORO	F6=23	3.19E-09	0.05	IsoPrime	200-250 μm
	70	1.00	0.15	6230	17/10/08	1.13	0.11	KORO	F6=23	3.61E-09	-0.44	IsoPrime	200-250 μm
	70	1.10	0.39	6231	17/10/08	1.23	0.35	KORO	F4=27	4.49E-09	-0.13	IsoPrime	250-315 μm
	70	1.03	0.38	6232	17/10/08	1.16	0.34	KORO	F4=27	3.78E-09	-0.07	IsoPrime	250-315 μm
	70	1.09	0.36	6233	17/10/08	1.22	0.32	KORO	F4=27	3.52E-09	0.19	IsoPrime	250-315 μm
	90	0.90	-0.08	6234	17/10/08	1.03	-0.12	KORO	F6=22	2.84E-09	0.15	IsoPrime	200-250 μm
	90	1.03	0.48	6235	17/10/08	1.16	0.44	KORO	F6=22	3.06E-09	-0.44	IsoPrime	200-250 μm
	90	1.20	0.67	6236	17/10/08	1.33	0.63	KORO	F4=33	4.39E-09	-0.06	IsoPrime	250-315 μm
	90	1.15	0.66	6237	17/10/08	1.28	0.62	KORO	F4=33	4.51E-09	0.44	IsoPrime	250-315 μm
	90	1.15	0.27	6248	20/10/08	1.28	0.23	KORO	F3=25	3.83E-09	0.35	IsoPrime	250-315 μm
	90	1.14	0.30	6249	20/10/08	1.27	0.26	KORO	F3=25	3.46E-09	-0.25	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.01	0.10	6250	20/10/08	1.14	0.06	KORO	F6	4.22E-09	0.12	IsoPrime	200-250 μm
	150	0.98	-0.03	6251	20/10/08	1.11	-0.07	KORO	F6=23	3.20E-09	-0.28	IsoPrime	200-250 μm
	150	1.00	-0.02	6252	20/10/08	1.13	-0.06	KORO	F6=23	3.55E-09	-0.14	IsoPrime	200-250 μm
	150	1.04	0.14	6253	20/10/08	1.17	0.10	KORO	F4=31	4.65E-09	-0.31	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.06	0.12	6254	20/10/08	1.19	0.08	KORO	F4=31	5.02E-09	-0.08	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.11	0.29	6255	20/10/08	1.24	0.25	KORO	F3=24	4.15E-09	0.41	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.10	0.17	6256	20/10/08	1.23	0.13	KORO	F3=24	3.71E-09	0.59	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.02	0.32	6258	20/10/08	1.15	0.28	KORO	F3=24	2.73E-09	0.11	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.09	0.37	6259	20/10/08	1.22	0.33	KORO	F2=26	4.11E-09	0.18	IsoPrime	315-400 μm
	150	1.15	0.38	6260	20/10/08	1.28	0.34	KORO	F2=26	2.85E-09	0.17	IsoPrime	315-400 μm
	150	1.12	0.45	6261	20/10/08	1.25	0.41	KORO	F2=26	4.30E-09	0.35	IsoPrime	315-400 μm
	150	1.17	0.13	6262	20/10/08	1.30	0.09	KORO	F2=26	2.96E-09	-0.58	IsoPrime	315-400 μm
	150	1.14	0.31	6263	20/10/08	1.27	0.27	KORO	F2=26	4.35E-09	-0.10	IsoPrime	315-400 μm
	150	1.17	0.38	6264	20/10/08	1.30	0.34	KORO	F2=26	4.30E-09	0.24	IsoPrime	315-400 μm
	150	1.08	0.18	6265	20/10/08	1.21	0.14	KORO	F2=26	2.80E-09	0.09	IsoPrime	315-400 μm

PECH 5		G. inflata											
WH	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	10	0.87	-0.21	7253	03/02/09	0.97	-0.28	BIP2	F18=32	3.66E-09	0.21	IsoPrime	100-150 μm
	10	0.90	0.05	7254	03/02/09	1.00	-0.02	BIP2	F9=35	3.50E-09	0.27	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.92	0.23	7255	03/02/09	1.02	0.16	BIP2	F5=34	3.70E-09	0.31	IsoPrime	250-315 μm
	30	1.00	0.30	7256	03/02/09	1.10	0.23	BIP2	F5=30	2.90E-09	-0.06	IsoPrime	250-315 μm
	30	0.93	0.14	7257	03/02/09	1.03	0.07	BIP2	F5=30	3.19E-09	0.12	IsoPrime	250-315 μm
	30	0.98	0.43	7258	03/02/09	1.08	0.25	BIP2	F4=24	1.76E-09	-0.13	IsoPrime	250-315 μm
	30	1.05	0.52	7259	03/02/09	1.15	0.34	BIP2	F2=19	1.75E-09	-0.20	IsoPrime	300-400 μm
	50	0.92	0.06	7260	03/02/09	1.02	-0.01	BIP2	F7=23	2.32E-09	-0.10	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.92	-0.09	7261	03/02/09	1.02	-0.16	BIP2	F7=23	2.67E-09	0.12	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.78	-0.32	7262	03/02/09	0.88	-0.50	BIP2	F7=22	1.02E-09	-0.32	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.85	0.15	7263	03/02/09	0.95	-0.03	BIP2	F3=23	1.98E-09	-0.14	IsoPrime	250-315 μm
	50	0.92	0.14	7264	03/02/09	1.02	0.07	BIP2	F3=23	2.68E-09	0.00	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.80	-0.04	7281	05/02/09	0.99	-0.29	BIP2	F6=20	1.82E-09	0.19	IsoPrime	200-250 μm
	70	0.90	0.09	7280	05/02/09	1.03	-0.05	BIP2	F6=20	2.08E-09	0.26	IsoPrime	200-250 μm
	70	1.04	0.32	7283	05/02/09	1.17	0.18	BIP2	F4=20	2.68E-09	0.73	IsoPrime	250-315 μm
	70	0.98	0.33	7282	05/02/09	1.11	0.19	BIP2	F5=26	3.10E-09	-0.17	IsoPrime	250-315 μm
	90	0.86	0.10	7284	05/02/09	1.05	-0.15	BIP2	F5=20	1.79E-09	-0.45	IsoPrime	200-250 μm
	90	1.08	0.33	7285	05/02/09	1.21	0.19	BIP2	F4=26	2.98E-09	0.04	IsoPrime	250-315 μm
	150	0.89	-0.07	7286	05/02/09	1.08	-0.32	BIP2	F5=17	1.50E-09	-0.71	IsoPrime	200-250 μm
	150	1.02	0.16	7287	05/02/09	1.15	0.02	BIP2	F5=23	2.68E-09	-0.20	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.24	0.59	7288	05/02/09	1.37	0.45	BIP2	F1=21	3.14E-09	0.19	IsoPrime	400-450 μm
	250	0.98	0.16	7290	05/02/09	1.11	0.02	BIP2	F5=21	2.39E-09	0.46	IsoPrime	250-315 μm
	250	1.10	0.51	7291	05/02/09	1.23	0.37	BIP2	F2=32	3.88E-09	-0.01	IsoPrime	315-400 μm

PECH 5		G. inflata											
A	depth	$\delta^{18}\text{O}$ PDB	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	RunIndex	Acquisition Date	$\delta^{18}\text{O}$ GIF	$\delta^{13}\text{C}$ GIF	Gaz Ref	Sample Weight	StartingBeam Sample	Transducer Pressure	Spectro	size fraction μm
	10	0.87	0.04	7366	02/04/09	1.00	-0.10	BIP2	F7=28	2.16E-09	0.59	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.96	0.17	7320	01/04/09	1.09	0.03	BIP2	F8=32	2.36E-09	-0.02	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.96	-0.13	7365	02/04/09	1.09	-0.27	BIP2	F7=28	2.38E-09	-0.53	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.83	0.04	7364	02/04/09	0.96	-0.10	BIP2	F7=28	2.42E-09	0.72	IsoPrime	200-250 μm
	10	0.89	0.01	7319	01/04/09	1.02	-0.13	BIP2	F8=32	2.47E-09	0.24	IsoPrime	200-250 μm
	10	1.04	0.16	7321	01/04/09	1.17	0.02	BIP2	F8=32	2.49E-09	0.15	IsoPrime	200-250 μm
	10	1.01	0.26	7367	02/04/09	1.14	0.12	BIP2	F4	2.81E-09	-0.05	IsoPrime	250-315 μm
	30	0.86	-0.11	7322	01/04/09	0.99	-0.25	BIP2	F20=33	3.76E-09	0.36	IsoPrime	150-200 μm
	30	0.74	-0.01	7368	02/04/09	0.93	-0.26	BIP2	F6=19	1.71E-09	0.07	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.70	0.04	7324	01/04/09	0.83	-0.10	BIP2	F7=20	2.46E-09	-0.29	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.66	-0.07	7323	01/04/09	0.79	-0.21	BIP2	F7=20	2.68E-09	0.46	IsoPrime	200-250 μm
	30	0.97	0.19	7327	01/04/09	1.10	0.16	BIP2	F7=35	4.18E-09	0.02	IsoPrime	250-315 μm
	50	0.86	0.04	7328	01/04/09	0.99	0.01	BIP2	F13=34	5.10E-09	1.09	IsoPrime	200-250 μm
	50	0.90	0.20	7329	01/04/09	1.03	0.06	BIP2	F6=25	2.86E-09	-0.32	IsoPrime	250-315 μm
	50	0.99	0.37	7369	02/04/09	1.12	0.23	BIP2	F6=25	3.95E-09	0.69	IsoPrime	250-315 μm
	50	1.00	0.49	7330	01/04/09	1.13	0.35	BIP2	F2=25	2.70E-09	0.48	IsoPrime	315-400 μm
	70	0.95	0.29	7331	01/04/09	1.08	0.15	BIP2	F4=27	2.70E-09	0.50	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.03	0.51	7370	02/04/09	1.22	0.26	BIP2	F3=22	1.86E-09	-0.59	IsoPrime	250-315 μm
	150	0.86	0.14	7332	01/04/09	0.99	0.00	BIP2	F4=24	2.52E-09	0.43	IsoPrime	250-315 μm
	150	1.08	0.34	7371	02/04/09	1.21	0.31	BIP2	F2=30	4.12E-09	-0.03	IsoPrime	315-400 μm
	150	1.02	0.36	7333	01/04/09	1.15	0.33	BIP2	F3=52	4.74E-09	-0.07	IsoPrime	315-400 μm
	250	0.71	0.04	7372	02/04/09	0.90	-0.21	BIP2	F6=22	1.92E-09	-0.55	IsoPrime	200-250 μm
	250	0.96	0.09	7334	01/04/09	1.09	-0.05	BIP2	F6=22	2.13E-09	0.07	IsoPrime	200-250 μm
	250	0.87	0.17	7335	01/04/09	1.00	0.03	BIP2	F6=22	2.64E-09	0.32	IsoPrime	200-250 μm
	250	0.88	0.34	7336	01/04/09	1.01	0.20	BIP2	F4=31	3.51E-09	-0.37	IsoPrime	250-315 μm
	400	0.85	0.17	7337	01/04/09	1.04	-0.08	BIP2	F5=22	1.74E-09	-0.69	IsoPrime	200-250 μm
	400	0.92	0.43	7338	01/04/09	1.05	0.29	BIP2	F4=32	3.62E-09	-0.13	IsoPrime	250-315 μm

ANNEXE D

**TABLEAU DE DONNEES ET REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
SUR L'ÉCOLOGIE DES PRINCIPALES ESPECES
DE FORAMINIFERES PLANCTONIQUES
RENCONTREES DANS LE GOLFE DE GASCOGNE**

Species			spine ?	Morphology
<i>G. bulloides</i>	d'Orbigny	1826	spinose	Misidentify specimen confused with other similar forms as <i>G. falconensis</i> or <i>G. calida</i> . 7 distinct genotypes (subdivided in 2 gps: 1 tropical and one polar) (Darling and Wade, 2008) 2 different populations of <i>G. bulloides</i> : 1 occur during the winter bloom, sub polar adapted, and the other upwelling -indicating species (Ortiz and Mix, 1992; Kucera and Darling, 2002; Wilke et al., 2008)
<i>G. siphonifera</i>	d'Orbigny = <i>G. aequilateralis</i> (Brady, 1897)	1839	round and triangular spines	2 morphology types, described in Faber et al 1988.
<i>G. calida</i>	Parker	1962	round and triangular spines	Problem to differentiate <i>G. calida</i> to <i>G. siphonifera</i> (de Vargas et al., 1997; de Vargas et al., 2002; Darling and Wade, 2008)
<i>T. quinqueloba</i>	Natland	1938	spinose	6 genotypes (Darling and Wade, 2008)
<i>G. glutinata</i>	Egger	1893	micrperforate	
<i>G. uvula</i>	Parker	1962	micrperforate	
<i>G. ruber (white)</i>	d'Orbigny	1839	round spines	
<i>G. trilobus trilobus</i>	Reuss	1850	round spines	
<i>G. trilobus sacculifer</i>	Brady	1877	round spines	
<i>G. hirsuta</i>	d'Orbigny	1839	no spinose	
<i>G. inflata</i>	d'Orbigny	1839	no spinose	
<i>G. scitula</i>	Brady	1882	no spinose	
<i>G. truncatulinoides senestre</i>	d'Orbigny	1839	no spinose	Recent studies have shown that <i>G. truncatulinoides</i> corresponds to a complex of four genetic species adapted to particular hydrographic conditions (de Vargas et al., 2001)
<i>G. truncatulinoides dextre</i>	d'Orbigny	1840	no spinose	
<i>N. pachyderma dextre</i>	Ehrenberg	1861	no spinose	
<i>pachyderma senestre</i>	Ehrenberg	1861	no spinose	
<i>P-D intergrade-dutertrei</i>	d'Orbigny	1839	no spinose	
<i>O. universa</i>	d'Orbigny	1839	round and triangular spines	3 genotypes (Darling et Wade, 2008)
<i>H. pelagica</i>	d'Orbigny		triangular spines	could have, during their cycle, spines of about 12mm (Anderson et Bé, 1976)

Geography - distribution	Depth of life	Species
Subpolar to tropical (Bé, 1977, EMIDAS). Typical species in transitionnal to polar, abundant in upwelling area (Hemleben et al., 1989). Waters rich in nutrients (Arabian Sea) (Conan and Brummer, 2000). Abundant in Subartic and subantarctic area where it represents + 50% of the assemblages (Pujol, 1980).	Surface, upper 60m (Schiebel et al 1997) 0-300m (Bé and Hamlin, 1967) ; "Intermediate water" (Bé, 1977). They are found throughout the water column above 400meters, but mainly in and above the thermocline. While it is not restricted to the photic zone in cooler waters where the non-spinose species are most dominant. (Hemleben et al 1989)	<i>G. bulloides</i>
Tropical to transitionnal (Bé, 1977, EMIDAS) maximal developpement from 40 to 45N (Pujol, 1980)	"Intermediate water" (Bé, 1977) surface to subsurface (EMIDAS), intermediate waters (Pujol, 1980)	<i>G. siphonifera</i>
Tropical to subtropical species, living in oligotrophic environment (Schmuker et Schiebel, 2002; EMIDAS); anticyclone eddies species (Ravula, 2004)	Life in surface (EMIDAS). Seem to be restricted to deeper water (Hemleben et al., 1989); 0-250m (Wilke and Peeters, in prep)	<i>G. calida</i>
Tropical to polar (EMIDAS). Subartic and subantarctic Provinces (Bé, 1977); becomes abundant in transitional and polar water masses (Hilbrecht, 1996); found in waters with temperatures higher than 21°C in the Arabian Sea and off the Great Barrier Reef (Brummer and Kroon, 1988; Darling et al., 2000). But in high abundance in the North Atlantic polar province of the Fram Strait, even under sea ice (Carsten et al., 1997). Their abundance would decrease from high latitudes to low (Parker, 1962; Vincent et Berger, 1981)	Surface - subsurface (Bé, 1977, Bé and Tolderlund, 1971, EMIDAS). Abundance max under 500m, often with highest frequency occasionally below the mixed layer, may be low sinking velocity (Schiebel et al, 2000). Life mainly in photic zone (Hemleben et al 1989). Live in surface (Pujol, 1980).	<i>T. quinqueloba</i>
Tropical to subpolar (EMIDAS). Subtropical province (Bé, 1977); In cyclonic eddies, in nutrients rich area (Kuroyanagi and Kawahata, 2004; Machain-Castillo et al 2008)	"Intermediate water" (Bé, 1977) surface to subsurface (Hemleben et al., 1989; EMIDAS); 50-100m (Pujol, 1980). Shallow dwelling sp (Wilkes and Peeters, in prep)	<i>G. glutinata</i>
Subtropical to polar (EMIDAS); subpolar (Bé and Tolderlund, 1971); Subartic (Pujol, 1980); polar or subpolar (Schiebel and Hemleben, 2005)	Surface to subsurface (EMIDAS); profonde (Pujol, 1980)	<i>G. uvula</i>
Tropical (Fairbanks et al 1982 ; Hemleben et al 1988). Tropical to temperate (EMIDAS); Subtropical province (Bé, 1977); abundance maximum around subtropicale zone, but very common in tropical area (Bé, 1977); around 40°N in Iberic coast during summer 1962 (Bé and Hamlin, 1967); Signaled around 49°59'N 12°W (Sime et al 2005).	Life in surface (Bé, 1977; Hemleben et al 1989; EMIDAS). Superficial waters (Jones, 1967); life upper 25m in equatorial Atl (Boltovskoy an Wright, 1976)	<i>G. ruber (white)</i>
Tropical to subtropical (Pujol, 1980); no signaled beyond that iberic coast (Sime et al 2005; Bé, 1977; Pujol, 1980)	Life in surface (Bé, 1977; Pujol, 1980; Hemleben et al., 1989)	<i>G. trilobus trilobus</i>
Tropical (Bé, 1977). Tropical to temperate (EMIDAS)	Life in surface (Bé, 1977; Hemleben et al., 1989, EMIDAS); surface to intermediate waters (Pujol, 1980)	<i>G. trilobus sacculifer</i>
Subtropical to transitionnal (Bé, 1977; EMIDAS)	Subsurface to deep (EMIDAS), reproduction like <i>G. truncatulinoides</i> in surface waters (Hemleben et al 1989)	<i>G. hirsuta</i>
Transition zone, the only one really indigenous (Bé, 1977); temperate (EMIDAS); transitionnal to subpolar (Pujol, 1980) in oceanic front area (Rohling et al 1995); Stress habitat in the upper part of the main thermocline; preferred habitat = base of the seasonal thermocline (Cléroux et al., 2007) In oceanic front area (Schiebel et al., 2002)	"Deep-Water" (Bé, 1977). Life in subsurface, up to 100m (Schiebel et al 2002) ; intermediate deep water depths (Wilke and Peeters, in prep.); When the Base of the summer thermocline is warmer than 16°C, T°C iso of Inflata indicate a deeper habitat, during winter, inflata lives in the mixed-layer (Cléroux et al. 2007). "We found maximum concentrations of <i>G. inflata</i> within the thermocline, which is in agreement with observations by Fairbanks et al. (1982)" (Wilke et al. 2006)	<i>G. inflata</i>
Subpolar to transitionnal (Pujol, 1980); subpolar to tropical (EMIDAS). Temperate region (Hemleben et al, 1989); common in Californian current, but especially at the site 121km offshore (Ortiz et al, 1995)	"Deep-Water" Bé, 1977 ; mostly in subsurface (EMIDAS). Deep dweller (Erez and Honjo, 1981). Schiebel 1995 has found them from surface to 1000m (Bé, 1960 ; Bé, 1977, Ortiz et al 1996). At Spring, would life close to surface and 'd sink in deep water (Hemleben et al, 1989); present (50-100m) and present in shallower water (Oberhansli et al, 1992); need not be adapted to a subsurface habitat is not entirely ruled out by our data (Ortiz et al 1996). <i>G. scitula</i> occurs in surface water may have been the result of vertical transportation (Ottens, 1992). <i>G. scitula</i> is a deep dwelling species that lives more abundantly than other species in the export zone and was found there in situ (Erez and Honjo, 1981; Hemleben et al., 1989).	<i>G. scitula</i>
Subtropical in winter or transitionnal (Pujol, 1980); tropical to temperate (EMIDAS)	"Deep-Water" Bé, 1977; zone épipélagic from Nov to May, then undert more than 300m depth (Pujol, 1980). Deep, surface during reproduction (Hemleben et al., 1989; Schiebel et Hemleben, 2005; EMIDAS)	<i>G. truncatulinoides senestre</i>
Subtropicale d'hiver ou transitionnelle (Pujol, 1980); tropical to temperate (EMIDAS); Low abundance in South hemisphere (Parker, 1971)	"Deep-Water" Bé, 1977; zone épipélagic from Nov to May, then undert more than 300m depth (Pujol, 1980); Deep, surface during reproduction (Hemleben et al., 1989; Schiebel et Hemleben, 2005; EMIDAS)	<i>G. truncatulinoides dextre</i>
Subtropical to polar (EMIDAS), subartic-subantarctic Provinces; from Cap Hitteras to Bay of Biscay (Bé, 1977); max concentration between 45°-60°N (Pujol, 1980)	"Deep-Water" (Bé, 1982); max abundance from 100-400m but could go until 1500m (Vergnaud-grazzini, 1973). His vertical distribution is related with pycnocline (Kuroyanagi and Kawahata, 2004); Surface to subsurface (EMIDAS)	<i>N. pachyderma dextre</i>
Subtropical to polar (EMIDAS), alone shape to live in Arctic ocean (Bé, 1960) Artic-Antarctic Provinces (Bé, 1977). Senestral more present in Arctic ocean, Labrador Sea, Greenland Sea and Norwegian Sea (Ericson, 1959); rare individus beyond that 40°N (Pujol, 1980)	Around 200m depth (Bé, 1960), "Deep-Water" (Bé, 1982) ; surface to subsurface (EMIDAS)	<i>pachyderma senestre</i>
	Thermocline dweller (Peeters, 2000; Fairbanks et al., 1982); Surface to subsurface (EMIDAS)	<i>P-D intergrade-dutertrei</i>
Tropical to subpolar (Hemleben et al., 1989), transitionnal (Pujol, 1980)	"intermediate Water" (Bé, 1977); Surface (EMIDAS)	<i>O. universa</i>
Tropical to subtropical extremely rare on the sea bed (Parker and Berger, 1971), Subtropical, important in Atlantic W from Caraibeian Sea to south of Québec, and in South Atlantic, between Brasil and Cap Town (Bé and Tolderlund, 1971)	Likes deep waters as <i>G. truncatulinoides</i> and <i>crassaformis</i> (Jones, 1967; Bé and Tolderlund, 1971); considerate like intermediate species (Pujol, 1980); >60m (Schiebel et al 2002). Between 50-100m (Bé, 1977); Surface to subsurface (EMIDAS)	<i>H. pelagica</i>

Species	ALD (Schmuker and Schiebel, 2002)	Seasonal distribution	Salinity
<i>G. bulloides</i>	43	Absent or rare between August and November in Station Delta (44°N, 41°W) (Bé and Tolderlund, 1971)	: S=34,4‰-36,63‰ optimal from 34,4 to 35,87 (Bé and Tolderlund, 1971) ; S= 35-37‰ (Pujol, 1980)
<i>G. siphonifera</i>	51	Biweekly - semi lunar cycle until 300m (Hemleben et al., 1989), seems indicate summer period, warm water (Schiebel et al, 1995)	S= 35,5-36,6‰ (Pujol, 1980); same preferences for physical conditions that calida (Hilbrecht, 1996); high salinities (Ufkes et al 1998). Show the lowest tolerance to salinity variation (Bijma et al., 1990a)
<i>G. calida</i>	58		S= 34-37,4‰ (Hilbrecht, 1996)
<i>T. quinqueloba</i>	53	Bloom during spring (April/may) (Schiebel et al 2000). Most present during summer (Bé and Tolderlund,1971) monthly (lunar) (Hemleben et al., 1989)	34,4-36 (34,4-35) (Pujol, 1980)
<i>G. glutinata</i>	39	In spring (Schiebel et al., 2000)	35,87-36,57‰ (Bé and Tolderlund, 1971)
<i>G. uvula</i>		In fall, mainly in Antarctic area (Bolotovskoy and Wright, 1976); was recorded only in June (Schiebel and Hemleben, 2000)	34-35,5‰ (Pujol, 1980)
<i>G. ruber (white)</i>	37	from 0 to 50m (Hemleben et al., 1989); at the end of the summer, <i>G. ruber</i> becomes dominant in the assemblages of the Sargasso Sea, During April, May and June: absent, only during August (Schiebel at al 2000). Present in stations Echo and Bermuda, in high abundance after April, and in Delta (44°N, 41°W) after July (Tolderlund and Bé, 1971).	22‰-49‰ (Hemleben et al 1989); % majority of the population are in regions where salinity is high 37-38‰ (Bé, 1977)
<i>G. trilobus trilobus</i>		During April, May and June: absent, only during August (Schiebel at al 2000)	
<i>G. trilobus sacculifer</i>	40	During April, May and June: absent, only during August (Schiebel at al 2000) In september in Delta station (Tolderlund and Bé, 1971)	35,75-36,5‰ (Pujol, 1980)
<i>G. hirsuta</i>	161	Most abundante from January to April (Bé, 1977); Annual variability in columnne of water, from 0 to + 2 000m (Hemleben et al., 1989, Pujol, 1980); winter species (Tolderlund and Bé, 1971; Loncaric et al 2007; Healy-Williams et al., 1989); winter and early spring species (Schiebel et al., 1995).	35,8-36,6‰ (Pujol, 1980)
<i>G.inflata</i>		From 0 to 400m (Hemleben et al, 1989); near the mixed layer in winter and in deeper habitat during summer (Cléroux et al 2007, Deuser et al. 1981) development of this species during warm season at mid latitude (Ottens, 1992; Cléroux et al 2007).	35,2 +-3,8‰ (Bé, 1977)
<i>G. scitula</i>	250		35,35 +-1,7‰ (Bé, 1977)
<i>G. truncatulinoides senestre</i>	161	Annual variability in water column (e.g. Bé and Tolderlund, 1971; Bé, 1977, Pujol, 1980); in the lower part of the thermocline in winter (BST <16°C) and deeper than inflata in summer (in N Atlantic) (Cléroux et al. 2007) Appear in surface between January and March in Bermuda (Hemleben et al., 1989); Winter species (Bé and Tolderlund, 1971; Hemleben et al., 1989; Schiebel and Hemleben, 2005)	35,5 +-2,3‰ (Bé, 1977) ; 35,7-36,6‰ (optimal 35,8-36,5‰) (Pujol, 1980)
<i>G. truncatulinoides dextre</i>	161	Annual variability in water column (e.g. Bé and Tolderlund, 1971; Bé, 1977, Pujol, 1980); in the lower part of the thermocline in winter (BST <16°C) and deeper than inflata in summer (in N Atlantic) (Cléroux et al. 2007) Appear in surface between January and March in Bermuda (Hemleben et al., 1989); Winter species (Bé and Tolderlund, 1971; Hemleben et al., 1989; Schiebel and Hemleben, 2005)	35,5 +-2,3‰ (Bé, 1977) ; 35,7-36,6‰ (optimal 35,8-36,5‰) (Pujol, 1980)
<i>N. pachyderma dextre</i>			34,05 +-2,9 ‰ (Bé, 1977)
<i>pachyderma senestre</i>			34,05 +-2,9 ‰ (Bé, 1977); 34,8-35,4‰ (Pujol, 1980)
<i>P-D intergrade-dutertrei</i>	39		35,2+-1,6‰ (Bé, 1977) ; 25-46‰ (Pujol, 1980); low salinities (Ufkes et al 1998)
<i>O. universa</i>		Summer species (Tolderlund and Bé, 1971)	35,4 +-1,6‰ (Bé, 1977); 23-46‰ (Hemleben, 1989); 35,7-36,6‰ (36,1-36,5) (Pujol, 1980); with a maximum between 35.5 - 36 psu for summer and winter salinities (Hilbrecht, 1996)
<i>H. pelagica</i>			35,75-36,6‰ (Pujol,1980)

Temperature (°C)	Oxygen (ml/l)	Phosphate (µg at/l)	Nitrate (µg at/l)	Species
T°C=0-27°C (optim 3-19°C) (Bé and Tolderlund, 1971); 13,4°C +-7,1 (Bé, 1977); T°C= 2-27°C (optimale de 3-19°C) (Pujol, 1980); T°C optimale = 18,8 (T°C de calcification). T min = 5,4°C (Peeters, 2000); 9-25°C (optimal = 7-28°C) (Lombard et al., 2009)	6,27 +-0,44ml/l (Bé, 1977)	0,742 +-1,15 (Bé, 1977); high concentrations (Ufkes et al., 1998)	high concentration (Ufkes et al 1998)	<i>G. bulloides</i>
23,5°C +- 4,4 (Bé, 1977) 10-30°C (optim 17-25°C) (Pujol, 1980); 20-29 (11-12°C) (Lombard et al., 2009)	4,88 +-1 ml/l (Bé, 1977)	0,218 +-1,52 (Bé, 1977)		<i>G. siphonifera</i>
15-30°C (17-27)(Hilbrecht, 1996)				<i>G. calida</i>
1-16°C (optimal 5-10°C) (Pujol, 1980) optimal à 12°C (Bé and Tolderlund, 1971) ; 9,8°C +- 5,4 (Bé, 1977; Hilbrecht, 1996)	6,615 +-0,3ml/l (Bé, 1977)	0,88 +-0,21 (Bé, 1977)		<i>T. quinqueloba</i>
18-24°C (Bé and Tolderlund, 1971). 22°C +- 7,55 (Bé, 1977); optimal between 11-25°C (Pujol, 1980)		0,369 +-1,93 (Bé, 1977)		<i>G. glutinata</i>
0-10°C (5-10°C) (Bé, 1977); cold water species (Boltovskoy and Wright, 1976)	High (similar to <i>T. quinqueloba</i> values)			<i>G. uvula</i>
T°C= 24,2°C +- 3,5 (Bé, 1977); T optimale = ~23°C (Peeters, 2000, chapitre 5); Tolerance 16 - 31°C (Hemleben et al 1989); Temperature > 14°C (Pujol, 1980); 14-30°C with max of abundance between 21-29°C (Bé and Tolderlund, 1971; Hilbrecht, 1996); 20-29°C (Lombard et al., 2009)	4,84 +-0,57ml/l (Bé, 1977)	0,193 +-1,57 (Bé, 1977)		<i>G. ruber (white)</i>
T°C= 15-30°C (21-29°C) (Pujol, 1980)				<i>G. trilobus trilobus</i>
Globigerinoides sacculifer preferred warmer waters than <i>G. ruber</i> , was more abundant at a shallower depth and might be more influenced by light intensity (Kuroyanagi and Kawahata, 2004) T°C= 15-30°C (21-29°C) (Tolderlund and Bé, 1971; Pujol, 1980); 20-29°C (Lombard et al., 2009)		0,198 +-1,38(Bé, 1977)		<i>G. trilobus sacculifer</i>
10 (optimal 13-20°C) 27°C (Pujol, 1980)				<i>G. hirsuta</i>
16,5 +-3,8°C (Bé, 1977); 5-25°C (15-24) (Hilbrecht, 1996); >16°C ? (Cléroux et al. 2007). 13-17°C (Bé and Hamlin, 1967), but may occur during winter at 10°C (Cifelli and Smith, 1970). Max frequencies occur at surface t°C between 20-22°C (Bradshaw, 1959); prefers homothermal water masses created during winter (Coulbourn et al., 1980; Ganssen and Sarthein, 1982)	5,66 +-0,37ml/l (Bé, 1977)	0,365 +-0,42 (Bé, 1977); high concentration (Ufkes et al 1998); Follows 0,3-0,4µMol/l PO4 concentration line in seawater (Cléroux et al. 2007)	High concentration (Ufkes et al 1998)	<i>G.inflata</i>
22,7+-3,7°C in indian ocean (Bé, 1977) ; between 5 and 10°C (Pujol, 1980); 10-30°C (15-20°C) (Hilbrecht, 1996); A deep dwelling habitat (Bé, 1969) may be suggested by the close relation with temperatures at 200 m depth (Hilbrecht, 1996)	4,95 +-0,17ml/l (Bé, 1977)	0,222 +-0,88 (Bé, 1977)		<i>G. scitula</i>
20,3 +-2,8°C (Bé, 1977) ; 5-28°C optimale de 15-22°C (Pujol, 1980; Hilbrecht, 1996)	5,2 +-0,22ml/l (Bé, 1977)	0,191 +-0,36 (Bé, 1977)		<i>G. truncatulinoides senestre</i>
20,3 +-2,8°C (Bé, 1977) ; 5-28°C optimale de 15-22°C (Pujol, 1980)	5,2 +-0,22ml/l (Bé, 1977)	0,191 +-0,36 (Bé, 1977); lives in phosphate-rich waters (Cléroux et al. 2007; Mulitza et al 1999)		<i>G. truncatulinoides dextre</i>
0-18°C; 4,8 +-5,52°C (Bé, 1977); eaux de 10-18°C (Bé and Tolderlund, 1971) ou 6-15°C (Hilbrecht, 1996); low temperatures (Ufkes et al 1998)	7,5 +-0,34ml/l (Bé, 1977)	1,517 +-0,45 (Bé, 1977); high concentrations (Ufkes et al 1998)	High concentration (Ufkes et al 1998)	<i>N. pachyderma dextre</i>
0-18°C; 4,8 +-5,52°C (Bé, 1977); Toptimales= 0-6°C (Pujol, 1980)	7,5 +-0,34ml/l (B é, 1977)	1,517 +-0,45 (Bé, 1977); productive zones (Pujol, 1980)	High concentration (Ufkes et al 1998)	<i>pachyderma senestre</i>
23,2+- 3°C (Bé, 1977); 13-33°C (Pujol, 1980)				<i>P-D intergrade-dutertrei</i>
21,7 +-2,4°C (Bé, 1977); 12 - 31°C, its size is correled with T°C and nutrient s (Hemleben et al., 1989). 10-30°C (17-25) (Pujol, 1980); high temperatures (Ufkes et al 1998); 20-29°C (Lombard et al., 2009)	5,08 +-0,197ml/l (Bé, 1977)	0,152 +-0,98 (Bé, 1977)		<i>O. universa</i>
16-29°C (max abundance from 20-26°C) (Bé and Tolderlund, 1971; Pujol, 1980)				<i>H. pelagica</i>

Species	Silicates	Reproduction	Level of calcification
<i>G. bulloides</i>		They are found throughout the water column above 400m, but mainly in and above the thermocline. While it is not restricted to the photic zone in cooler waters where the non-spinose species are most dominant (Hemleben et al 1989); reproduction in the upper 60 m ; reproduction in the 1st week after full moon (Schiebel et al 1997)	around 18,8°C (Peeters, 2000)
<i>G. siphonifera</i>	low silicates concentrations (Ufkes et al. 1998)	Semi-lunar cycle (Bijma et al 1990b) "anticyclone sp" (Ravula, 2004)	calcify between 50-75m (Hemleben et al. 1989), continue their growth during their diving toward deeper waters (100m) (Deuser et al, 1981,Deuser, 1987); calcifies below the mixed layer (under 100m) (Wilke and Peeters, in prep.)
<i>G. calida</i>			Calcifies in the upper thermocline (Ortiz et al, 1996); the calcification depth range of Globigerina calida is comparable to G. inflata, whereby the depth level of highest growth rate of G. calida is found deeper, i.e. below the thermocline, and only 17% of its calcite is built up in the mixed layer calcifies below the thermocline (Wilke and Peeters, in prep.)
<i>T. quinqueloba</i>		Could have a cycle of reproduction lunar (Hemleben et al., 1989)	
<i>G. glutinata</i>		In winter, life cycle of 21 +-5days (Bijma et al 1990b)	calcifies over a narrow depth range in surface water, confined to the surface mixed layer (Wilkes and Peeters, in prep)
<i>G. uvula</i>	High concentrations of silicium (Chen, 1966)	Bilunar reproduction ?, because small forms after full moon (Schiebel et al 1995)	
<i>G. ruber (white)</i>		Biweekly (semilunar) (Hemleben et al., 1989) ; pop max around 9 days after full moon (Bijma et al 1990b)	Calcify around 25m depth (Hemleben et al., 1989); calcifie beneath the thermocline (70-100m) (Wilke and Peeters, in prep)
<i>G. trilobus trilobus</i>			
<i>G. trilobus sacculifer</i>		Monthly (lunar) (Hemleben et al, 1989)	
<i>G. hirsuta</i>		Reproductive cycle much longer than a month, perhaps an annual or semi-annual cycle (Hemleben et al 1988); reproduces during the winter in the locale of Bermuda, but vanishes during other seasons (Healy-Williams et al., 1989)	Continue their growth during their diving to deep waters (100m) (Deuser et al, 1981,Deuser, 1987)
<i>G.inflata</i>		Should have a monthly reproduction cycle, during phytoplanktonic bloom (Spring) the cytoplasm is green due to consumption of chysophytes (Hemleben et al., 1989)	Precipitated 20% of its total shell mass in the mixed layer, when mixed layer deeper : 64% (water stratification dependance (Wilke and Peeters, in prep.)
<i>G. scitula</i>			Resides within the Shallow Salinity Minumum (potential density = 25,1-26,7) (Ortiz et al 1996)
<i>G. truncatulinoides senestre</i>		Life cycle unusual (Zaric et al 2000); Annual cycle? (Hemleben et al 1989); Juveniles go to the surface and grow in surface (Bé, 1977, Hemleben et al., 1989; Schiebel and Hemleben, 2005)	Continue their growth during their sinking to deeper waters (100m) (Deuser et al., 1981; Deuser, 1987); single calcification at 350m or 30% at the surface and 70% at 800m (modélisation propose by LeGrande et al. 2004 (Loncaric et al., 2006; Cléroux et al., 2007); calcifies a little deeper than G.inflata (Cléroux et al, 2007)
<i>G. truncatulinoides dextre</i>		Annual cycle? (Hemleben et al 1989); Juveniles go to the surface and grow in surface (Bé, 1977, Hemleben et al., 1989; Schiebel and Hemleben, 2005); Ascends from the deep sea to the sea surface during earling spring, possibly at the margins of the subtropical gyres (Hemleben et al., 1985; Schiebel et al., 2002)	Continue their growth during their sinking to deeper waters (100m) (Deuser et al, 1981,Deuser, 1987); single calcification at 350m or 30% at the surface and 70% at 800m (LeGrande et al. 2004)
<i>N. pachyderma dextre</i>			
<i>pachyderma senestre</i>			Calcify in upper part of water column 25m (Peeters, 2000), calcify in the upper thermocline (Ortiz et al, 1996)
<i>P-D intergrade-dutertrei</i>	high silicate concentration (Ufkes et al 1998)		calcify around 15°C (Hemleben et al, 1989)
<i>O. universa</i>	Low silicates concentration (Ufkes et al 1998)	Densities of SS Orbulina universa decrease after full moon, and between full moon almost exclusively PSS = lunar reproductive cycle (Bijma et al. 1990) ; Biweekly - semilunar cycle (Hemleben et al., 1989)	When she sinks, she calcifies (Hemleben et al 1989), continue their growth during their sinking to depth waters: 25-50m to deeper, in sargasso sea (Deuser et al., 1981; Deuser, 1987)
<i>H. pelagica</i>		Lunar cycle, of 30 days (flux max ~12,5 days after full moon; rythme ~5 +-2 days after full moon (Loncaric et al., 2005), (already thought by Hemleben et al in 1989). Lunar cycle reproduction (Spindler et al., 1979). Before full moon, they live in 0-5m (Elal/Aquaba sea) and disappear after full moon (Bijma et al 1990b). Lunar periodicity continued in H. pelagica under laboratory conditions where it was isolated from the influence of moonlight (Spindler et al., 1979)	<i>H. pelagica</i> juvenile : would calcify under the euphotic zone, then exceded 6-10 chbers, vertical migration to surface (Hemleben et al 1989)

Max size (EMIDAS)	Food	/ chlorophyll	/ thermocline	Species
800µm	Prefers eat zooplankton (carnivorous) (Kroon and Ganssen, 1989)		Prolific below the thermocline (Pujol et al 1995)	<i>G. bulloides</i>
900µm	Copepods, tintinids, hyperiids amphipods (Hemleben et al, 1989; Bé, 1977); Prefers zooplankton (integer better proteins), diatoms, epithelial tissue, adipose tissue, muscle tissue (Anderson et al., 1979)			<i>G. siphonifera</i>
800µm		Below DCM (Deep Chlorophyl Maximum) (Fairbanks et al, 1982)	Below (Wilke and Peeters,in prep.)	<i>G. calida</i>
250µm		Below the DCM (Deep Chlorophyl Maximum), highest frequencies are found in regions where no deep chloro Max is developed (Ottens, 1992) one of the main controlling vertical distribution The maximum abundance of Globigerina quinqueloba was associated with higher chlorophyll-a concentrations (Kuroyanagi and Kawahata, 2004)		<i>T. quinqueloba</i>
500µm	Diatoms (Spindler et al, 1984; Schiebel et al 2001); but also Chrysophytes (Hemleben et al, 1989); Dinoflagellates, epithelial tissue, adipose animal tissue (Anderson et al., 1984)			<i>G. glutinata</i>
				<i>G. uvula</i>
500µm	Dinoflagellates, diatoms; nerve, muscle and adipose animal tissues, copepods, prefers zooplankton /phyto : Omnivorous (Anderson et al 1979), + larves de polychètes (Hemleben et al, 1989)			<i>G. ruber (white)</i>
				<i>G. trilobus trilobus</i>
1400µm	Copepods, tintinids, ciliates (Hemleben et al, 1989). Prefer zooplankton : epithelial tissue (Anderson et al 1979), copepods (Rhumbler, 1911; Spindler et al., 1984).		High depth thermocline (Ufkes et al 1998)	<i>G. trilobus sacculifer</i>
1000µm	Dinoflagellates, diatoms, muscle tissue (Anderson et al, 1979); Diatoms, these algae are consistently observed in the cytoplasm (Hemleben et al 1989)			<i>G. hirsuta</i>
700µm	Chrysophytes, diatoms, dinoflagellates, muscle tissue (Anderson et al., 1979 ; Hemleben et al., 1989). Algal prey (Bé, 1977); phytoplankton, coccolithes (Schiebel et al 2000)		à la base (Cleyroux et al., 2007)	<i>G.inflata</i>
700µm				<i>G. scitula</i>
1000µm	Diatoms, muscle tissue, epithelial tissue, thecate algae (Anderson et al., 1979; Hemleben et al., 1989)	Show a strong correspondence with the Chlorophyll-a maxima during winter (Wilke et al., 2008)	Deep thermocline (Lohmann and Schweitzer, 1990); in the lower part of the thermocline when the base of summer thermocline is < 16°C (Cléroux et al 2007)	<i>G. truncatulinoides senestre</i>
1000µm	Diatoms, muscle tissue, epithelial tissue, thecate algae (Anderson et al., 1979; Hemleben et al., 1989)		Deep thermocline (Lohmann and Schweitzer, 1990); in the lower part of the thermocline when the base of summer thermocline is < 16°C (Cléroux et al 2007)	<i>G. truncatulinoides dextre</i>
500µm	Phytoplankton, commonly diatoms (Hemleben et al, 1989)	High abundance at relative high abundance of chloro (Kuroyanagi and Kawahata, 2004)		<i>N. pachyderma dextre</i>
500µm	Phytoplankton, commonly diatoms (Hemleben et al, 1989)	Correlation with chlorophyll-a concentrations $r=-0.08$ with chloro a (Kuroyanagi and Kawahata, 2004)		<i>pachyderma senestre</i>
	Silica-rich plume surface water could serve as a major food source to <i>N. dutertrei</i> , prefers phytoplankton (Kroon and Ganssen, 1989)	Maximum of abundance in the Deep Chlorophyl Maximum (DCM) (Fairbank and Wiebe, 1980, Fairbanks et al, 1982)		<i>P-D intergrade-dutertrei</i>
1000µm	Carnivorous during adult spherique stage (copepods, tintinids, ciliés), in PSS stage, more herbivorous (Hemleben et al., 1989); The best adapted species for catching copepods since it was the only sp we were able to feed with an harpacticoid and have the lowest digestion time for an Artemia (Spindler et al., 1984)	Below thermocline at the end of the summer (Pujol et al, 1995)		<i>O. universa</i>
1500µm (Schiebel) 1000µm (Anderson et Bé, 1976)	adipose animal tissue, muscle tissue, carnivorous (Anderson et al, 1979); Copepods (Artemia) (Anderson and Bé, 1976); Copepods (Calanoida) (Spindler et al., 1984)			<i>H. pelagica</i>

Species	/mixed layer	light	Bearing symbionts ?
<i>G. bulloides</i>			No (Hemleben et al., 1989)
<i>G. siphonifera</i>	nearby (Fairbanks et al 1982); shallow mixed layer (Ufkes et al 1998)	When place in normal light and dark light : increase size foraminifera and symbionte density; if let in dark : eat their symbiontes (Faber et al 1988)	Yes : Chrysophytes (Hemleben et al 1989; Faber et al 1988); all symbionte exhibit a diurnal migration from the shell interior to distal parts of foraminifera spines in the light, cycle endo exocyte? (Spero, 1987); dinoflagellates (Faber et al 1988)
<i>G. calida</i>			?
<i>T. quinqueloba</i>		seems not be limited by light (Schiebel et al, 2000)	Yes and No, species describes with and without symbionts: "shallow assymbiotic" in pacific ocean bear symbionts but chrysophycophytes symbiontes which is not appear to contribute as much to host nutrition (Ortiz et al 1995). Contain symbionts (Hemleben et al, 1989). Bear symbionts (Schiebel et al 2000).
<i>G. glutinata</i>	nearby (Fairbanks et al 1982); coincides with a deep mixed layer and a decrease of surface water temp (Schiebel et al; 2000)		Yes and No, facultative, when symbionts are abundant (Hemleben et al., 1989); Chrysophycophytes (Faber et al 1988)
<i>G. uvula</i>			?
<i>G. ruber (white)</i>	nearby (Fairbanks et al 1982)	(cf p 131 Hemleben et al 1989); high dependence of their algae symbiont => upper part of column (<50m)	Yes, permanent, kind of symbionts : dinoflagellates similar to Symbiodinium microadriaticum (Lee et al 1965; Bé, 1977; Hemleben et al 1989) or Gymnodinium beii (dinoflagellate) (Gast and Caron, 2001). All symbionte exhibit a diurnal migration from the shell interior to distal parts of foraminifera spines in the light, endo exocyte cycle? (Spero, 1987)
<i>G. trilobus trilobus</i>			Yes, kind of symbionts : dinoflagellates similar to Symbiodinium microadriaticum (Lee et al 1965; Bé, 1977, Hemleben et Spindler, 1983, Hemleben et al 1989) or Gymnodinium beii (dinoflagellate) (Gast and Caron, 2001). All symbionte exhibit a diurnal migration from the shell interior to distal parts of foraminifera spines in the light, cycle endo exocyte? (Spero, 1987)
<i>G. trilobus sacculifer</i>	Nearby (Fairbanks et al 1982)	High dependence of their algae symbiont => upper part of column (<50m) (Hemleben et al., 1989). Might be more influenced by light intensity(Kuroyanagi and Kawahata, 2004)	Yes, kind of symbionts : dinoflagellates similar to Symbiodinium microadriaticum (Lee et al 1965; Bé, 1977, Hemleben et Spindler, 1983, Hemleben et al 1989) or Gymnodinium beii (dinoflagellate) (Gast and Caron, 2001). All symbionte exhibit a diurnal migration from the shell interior to distal parts of foraminifera spines in the light, cycle endo exocyte? (Spero, 1987)
<i>G. hirsuta</i>			No (Hemleben et al., 1989)
<i>G.inflata</i>	in during winter (Cléroux et al 2007, Deuser et al 1981)		Yes and No , facultative with chrysophytes (Hemleben et al. 1989)
<i>G. scitula</i>			No (Hemleben et al., 1989)
<i>G. truncatulinoides senestre</i>			No (Hemleben et al., 1989)
<i>G. truncatulinoides dextre</i>			No (Hemleben et al., 1989)
<i>N. pachyderma dextre</i>			No (Hemleben et al., 1989)
<i>pachyderma senestre</i>			No (Hemleben et al., 1989)
<i>P-D intergrade-dutertrei</i>			Yes and No, facultatively with chrysophytes (Hemleben et al. 1989). All symbionte exhibit a diurnal migration from the shell interior to distal parts of foraminifera spines in the light, cycle endo exocyte? (Spero, 1987); Symbiont bearing (Ortiz et al. 1995)
<i>O. universa</i>	Shallow (Ufkes et al 1998)		Yes, with dinoflagellates (Hemleben et al., 1989); dinoflagellate : Gymnodinium beii (Spero 1987; Gast and Caron, 2001). All symbionte exhibit a diurnal migration from the shell interior to distal parts of foraminifera spines in the light, cycle endo exocyte? (Spero, 1987); Symbiodinium microadriaticum (Kokke and Spero, 1987).
<i>H. pelagica</i>			

Indicator	Species
Upwelling indicator (proxy) in using the relative abundance of bulloides with ruber (Bé and Tolderlund, 1971; Bé and Hutson, 1977) upwelling (Thiede, 1975; Peeters, 2000 ; Ivanova 2000). Cold waters (Boltovskoy et al 2000). Surface-water masses enriched in nutrients (Mücke and Oberhansli, 1999). Best indicator for the depth of the DCM (Wilke et al., 2008) Opportunistic, high production regime (Kucera, 2007)	<i>G. bulloides</i>
Well indicator of isotope oxygene. Oligotrophic waters (Schmucker and Schiebel 2002)	<i>G. siphonifera</i>
Oligotrophic waters (Schmucker and Schiebel 2002)	<i>G. calida</i>
Some high latitude species (e.g. <i>T. quinqueloba</i>) may indicate areas of intermediate or deep water formation (Hilbrecht, 1996) ; are known to represent cold waters at higher latitudes (Bé and Tolderlund, 1971; Schiebel et al., 2000); Assemblages in upwelling area : <i>N. pachy</i> and <i>quinqueloba</i> (Giraudeau, 1993). Cold waters (Boltovskoy et al 2000). Survives at lower food concentrations than <i>N. pachyderma dextral</i> and <i>G. bulloides</i> (because of symbionts) (Ortiz et al., 1995)	<i>T. quinqueloba</i>
Diatoms : bloom au printemps -> Glutinata marque ce 1er bloom du printemps car coincide avec deep mixed layer (Schiebel et al 2000) phytoplankton (Hemleben et al; 1989)	<i>G. glutinata</i>
Cold waters, oxygenates and rich in nutrients, cold intrusion (Boltovskoy et al 2000); <i>T. quinqueloba</i> and <i>G. uvula</i> are small planktic foraminifera often related to upwelling or oceanic fronts (Parker, 1971; Hemleben et al 1989; Kroon et al., 1991)	<i>G. uvula</i>
Well isotopic indicator, oligotrophic zone (Schiebel et al 2004; Venec Peyré et al 1995)	<i>G. ruber (white)</i>
	<i>G. trilobus trilobus</i>
	<i>G. trilobus sacculifer</i>
Winter species (Loncaric et al 2007; Healy-Williams et al., 1989); Winter and early spring species (Schiebel et al., 1995)	<i>G. hirsuta</i>
Offshore oligotrophic environment (Giraudeau, 1993); Strong link between <i>G. inflata</i> and frontal regions (?), increase % and sp/m3 in frontal regions (Rohling et al 1995); <i>G. inflata</i> in Bengal-Angola Frontal zone; and could be link with nitrate and phosphate concentration and deep mixed layer (Ufkes et al 1998; Pujol et al 1995; Ottens, 1992); appears to have been directly affected by Azores front (but no significant (low number)) (Schiebel et al 2002). Prefers homothermal water masses and mesotrophic frontal systems (Pujol and Vergnaud Grazzini, 1989, Ottens, 1992; Ufkes et al 1998). Prefers homothermal water masses created during winter (Coulbourn et al., 1980; Ganssen and Samthein, 1982)	<i>G. inflata</i>
Would record intermediate environmental conditions ; appears to have been directly affected by Azores front (but no significant (low number)), could be used occurrence of <i>G. scitula</i> to map the position of the recent AF (substitute to <i>inflata</i>) (Schiebel et al 2002)	<i>G. scitula</i>
Cold water and high latitude form (Parker, 1971); Prefers a deep thermocline (≠ dextral) (Lohmann and Schweitzer, 1990). Reconstruction of paleoceanographic conditions (Kennett, 1968; Lohmann and Malmgren, 1983). Offshore oligotrophic environment (Giraudeau, 1993). Apparently, left-coiled <i>G. truncatulinoides</i> inhabits nutrient-depleted centers of the subtropical gyres, whereas right-coiled <i>G. truncatulinoides</i> prefers more productive environments such as the margins of the subtropical gyres (Renaud and Schmidt, 2003).	<i>G. truncatulinoides senestre</i>
Productive environment like margin of eddies subtropical or upwelling zone (de Vargas et al 2001) ; Reconstruction of paleoceanographic conditions (Kennett, 1968; Lohmann and Malmgren, 1983). Offshore oligotrophic environment (Giraudeau, 1993); right-coiled <i>G. truncatulinoides</i> prefers more productive environments such as the margins of the subtropical gyres than left-coiled (Renaud and Schmidt, 2003)	<i>G. truncatulinoides dextre</i>
This species has also associated with upwelling areas (Giraudeau, 1993; Sautter and Thunell, 1991; Ufkes and Zachariasse, 1993) and occurring in maximum concentrations during periods of high fertility (diatoms blooms) (Salgueiro et al 2008); high food levels and low temperatures , less stratified waters with a high primary production (Reynolds and Thunell, 1985; Pujol and Vergnaud-Grazzini, 1989; Ottens 1992).	<i>N. pachyderma dextre</i>
Province limit left-right form : isotherm of 7,2 in April (Ericson, 1959); Cold waters, Polar and subpolar region (Bé, 1977; Hemleben et al., 1989)	<i>pachyderma senestre</i>
<i>N. dutertrei</i> , measure intensity of an upwelling and productivity; differences isotopic C13 of both sp (bull et duter) thermocline and surface dweller : record the change of thermocline (Peeters, 2000); appear in the upwelling area (Thunell and Sautter, 1992); prefers a thermally stratified water with a pronounced chloro maximum (Thunell and Sautter, 1992) tropical and subtropical upwelling area (Mücke and Oberhansli, 1999)	<i>P-D intergrade-dutertrei</i>
Well isotopic indicator. The association with an algae could represent a productivity "hot spot" in oligotrophic waters (Spero and Parker, 1985)	<i>O. universa</i>
One of the less productive in sediment and very rare in sediments (Parker et Berger, 1971)	<i>H. pelagica</i>

RESUME

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet de recherche ANR FORCLIM. L'objectif fondamental de ce travail était d'effectuer une étude poussée de l'écologie des foraminifères planctoniques dans les écosystèmes actuels du Golfe de Gascogne, à partir des filets à plancton et des données hydrologiques recueillies au cours de 5 missions océanographiques. Les résultats montrent des variations saisonnières importantes de leurs densités, mais aussi de leurs assemblages spécifiques. Des assemblages se succèdent au cours des saisons, avec de grandes concentrations de *N. pachyderma* dextre, *G. inflata*, *G. scitula* et *G. glutinata* en fin d'hiver-début printemps, *T. quinqueloba*, *G. uvula*, *G. bulloides* et *G. glutinata* se manifestent en grandes densités au cours du bloom phytoplanctonique printanier. Ces espèces sont progressivement remplacées par des espèces, comme *O. universa* et *G. trilobus* en surface et *G. scitula* en profondeur en été.

De Mars à Juin, le long d'un transect bathymétrique, on remarque une décroissance des concentrations des foraminifères planctoniques vers la côte. Mais les apports saisonniers de nutriments par les fleuves, ainsi que l'influence hydrologique d'un canyon sous marin peuvent contrarier ce gradient de décroissance large-côte. En Novembre, *G. calida* apparaît en très grande abondance dans les stations les plus côtières, pouvant marquer un évènement de bloom automnal côtier. Une analyse automatique des tailles des spécimens vivants et morts indique de plus grandes tailles dans les eaux estivales. Néanmoins, la température ne semble pas être un facteur majeur direct des variations de tailles des foraminifères. La disponibilité en nourriture serait un des facteurs majeurs, avec l'un des facteurs covariant à la salinité, comme la turbidité. Les rapports isotopiques en oxygène des tests de foraminifères planctoniques vivants indiquent des populations de Juin manifestement plus faibles que ceux mesurés en Mars et Avril, suggérant qu'il s'agirait de générations différentes.

Mots clefs : foraminifères planctoniques, écologie, dynamique saisonnière, analyse de taille, isotopes ($\delta^{18}\text{O}$), Golfe de Gascogne.

ABSTRACT

This PhD was realised within the framework of the research project ANR FORCLIM. The fundamental aim of this study focused on the ecology of planktic foraminifera in the recent ecosystem of the Bay of Biscay. Samples from plankton tows and hydrological data were collected during 5 cruises. Results show a strong seasonal variation in planktic foraminiferal densities and species assemblages.

Faunal assemblages changed in quantity and quality on a seasonal scale. High concentrations of *N. pachyderma* dextral, *G. inflata*, *G. scitula*, and *G. glutinata* marked the end of winter and the beginning of spring in the plankton community. *T. quinqueloba*, *G. uvula*, *G. bulloides* and *G. glutinata* were abundant during the spring phytoplanktonic bloom. During the summer, these species were progressively replaced by others species, such as *O. universa* and *G. trilobus* at low water depths, and *G. scitula* at greater depths. From March to June, along a bathymetric transect, planktic foraminiferal concentrations decreased toward the coast. Seasonal variability of nutrients derived from river discharge, or hydrological effects caused by sub marine canyons did affect the distribution of planktic foraminifera. In November, *G. calida* was abundant at onshore stations, marking an autumn bloom event. Size analysis of living and dead specimens showed that planktonic foraminifera were larger during summer. Temperature did not seem to significantly affect size variation of planktic foraminifera. It can be assumed that food supply, salinity and turbidity do affect the distribution of planktic foraminifera. Stable oxygen isotope ratios from tests of living planktic foraminifera indicate that populations in June were clearly lower than March and April populations, suggesting that they are from different generations.

Key words: planktic foraminifera, ecology, seasonal dynamic, size analysis, isotope ($\delta^{18}\text{O}$), Bay of Biscay.