

Table des matières

Annexe 1 : Compartiments climatiques de la Mer Noire.....	II
Annexe 2 : Température de surface des compartiments de la Mer Noire	II
Annexe 3: Définition de l'hypoxie.....	II
Annexe 4 : Subdivision stratigraphique du sédiment de la Mer Noire.....	III
Annexe 5 : Liste des lames minces réalisées à Bordeaux et à Stahnsdorf.....	III
Annexe 6 : Diversité des foraminifères.....	IV
Annexe 7: Résultats de la XRF et utilisation des traceurs géochimiques de l'hypoxie	V
Annexe 8 : Liste des échantillons analysés dans le cas de l'étude des assemblages de foraminifères.....	VII
Annexe 9 : Liste des échantillons datés (^{14}C & ^{210}Pb)	VIII
Annexe 10 : Echantillons sélectionnés pour les carottes GC7 et GC15.....	IX
Annexe 11 : Résultats des datations ^{210}Pb et ^{14}C effectuées sur les carottes GC7 et GC15.X	
Annexe 12 : Illustration des différents faciès observés dans les carottes	XI
Annexe 13 : Structures particulières au sein des lames minces.....	XII
Annexe 14 : Description des lames minces.....	XIV
Annexe 15 : Description des unités lithologiques de GC7 et de GC15	XX
Annexe 16 : Âge des unités lithologiques définies pour GC7 et GC15	XXII
Annexe 17 : Résultats granulométriques pour les différentes unités lithologiques.....	XXIII
Annexe 18 : Courbes granulométriques des unités lithologiques	XXIV
Annexe 19 : Genres de foraminifères rencontrés	XXV
Annexe 20 : Résultats du comptage des foraminifères	XXVI
Annexe 21 : Résultats de l'Indice A-E	XXVII

ANNEXE 1 : COMPARTIMENTS CLIMATIQUES DE LA MER NOIRE

Tableau A1 – Gamme de température et de précipitations pour les trois compartiments climatiques de la Mer Noire (d’après Vespremeanu & Golumbeanu, 2018).

Mois	Secteur	Compartiment ouest	Compartiment ouest	Compartiment central	Compartiment central	Compartiment est	Compartiment est
		T (°C)	Pluie (mm)	T (°C)	Pluie (mm)	T (°C)	Pluie (mm)
Jan.	N	-0,3 à 3	Sous 40	4 à 5	40 à 60	3,5 à 6	80 à 100
Jan.	S	4 à 5	60 à 100	5 à 6	60 à 100	6 à 7	100 à 120
Août	N	21 à 22,5	25 à 50	22,7 à 22,8	25 à 50	22,5 à 22,6	125 à 150
Août	S	22,5 à 23	25 à 50	22,7 à 22,8	25 à 50	22,9 à 23	175 à 200

ANNEXE 2 : TEMPÉRATURE DE SURFACE DES COMPARTIMENTS DE LA MER NOIRE

Tableau A2 – Température de surface des différents sous-bassins de la Mer Noire en hiver et en été (d’après Vespremeanu & Golumbeanu, 2018).

Mois	Secteur	Compartiment ouest T de l’eau (°C)	Compartiment central T de l’eau (°C)	Compartiment est T de l’eau (°C)
Janvier	N	2 à 7	7 à 8	7 à 10
Janvier	S	7 à 8	6 à 7	8 à 12
Août	N	21 à 22,5	22,6 à 22,9	22,6 à 22,8
Août	S	22,5 à 23	22,6 à 22,9	22,6 à 22,8

ANNEXE 3: DÉFINITION DE L’HYPOXIE

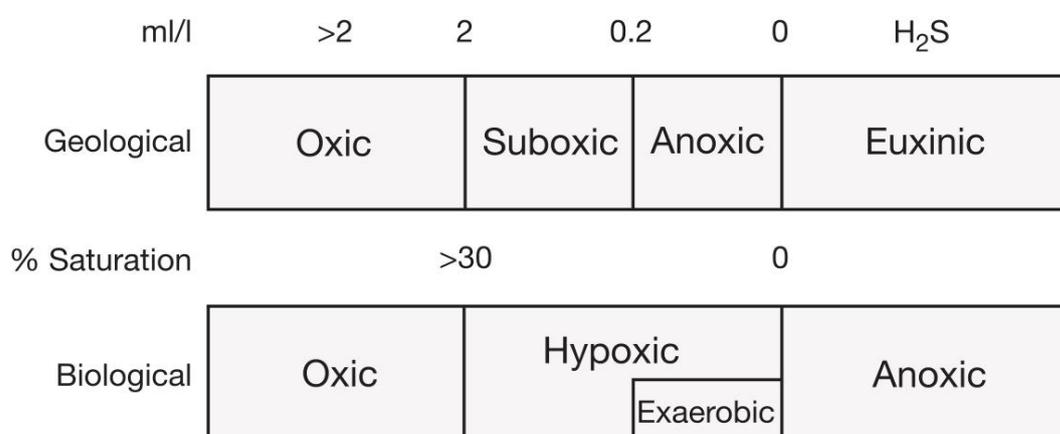


Figure A3 – Différence de nomenclature pour définir l’enrichissement d’un milieu en oxygène. Cette dernière diffère entre la géologie et la biologie (Gooday *et al.*, 2009).

ANNEXE 4 : SUBDIVISION STRATIGRAPHIQUE DU SÉDIMENT DE LA MER NOIRE

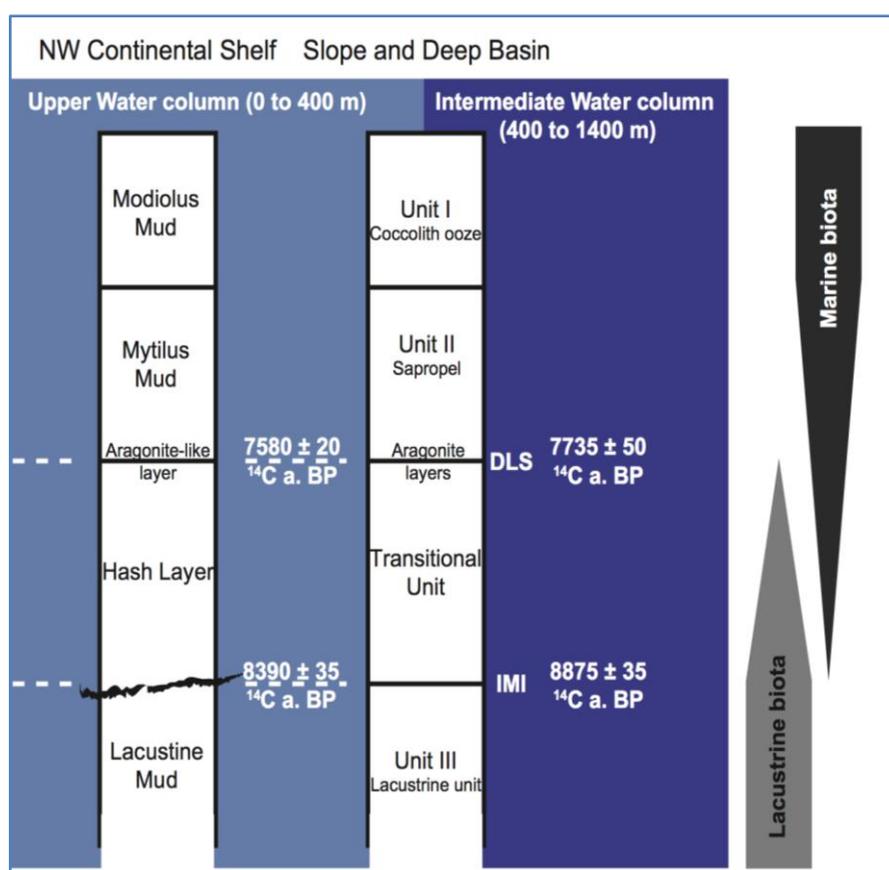


Figure A4 – Subdivision stratigraphique du sédiment en environnement peu profond (gauche) et en environnement profond (droite) au sein de la Mer Noire, avec mise en évidence de la variation du type de biotes au cours du temps (Soulet *et al.*, 2011). IMI : Initial Marine Inflow. DLS : Disappearance of Lacustrine Species.

ANNEXE 5 : LISTE DES LAMES MINCES RÉALISÉES À BORDEAUX ET À STAHSNDORF

Tableau A5 – Lames minces et leur correspondance par rapport aux carottes du projet BenthOx. S : Stahnsdorf (bleu). B : Bordeaux (rouge).

Nom de la carotte	Section	Profondeur (cm)	Lame mince (cm)	Profondeur réelle (cm)
MN16 - GC7	1	0 - 97	0 - 25 (Stahnsdorf)	0 - 25
			25 - 50 (S)	25 - 50
			50 - 75 (Bordeaux)	50 - 75
			75 - 97 (B)	75 - 97
	2	97 - 215	0 - 25 (B)	97 - 122
			50 - 75 (B)	147 - 172
MN16 - GC15	1	0 - 101	0 - 25 (S)	0 - 25
			25 - 50 (S)	25 - 50
	2	101 - 200	25 - 50 (B)	126 - 151
			50 - 75 (B)	151 - 176
			75 - 99 (B)	176 - 200
3	200 - 297	0 - 25 (B)	200 - 225	

ANNEXE 6 : DIVERSITÉ DES FORAMINIFÈRES

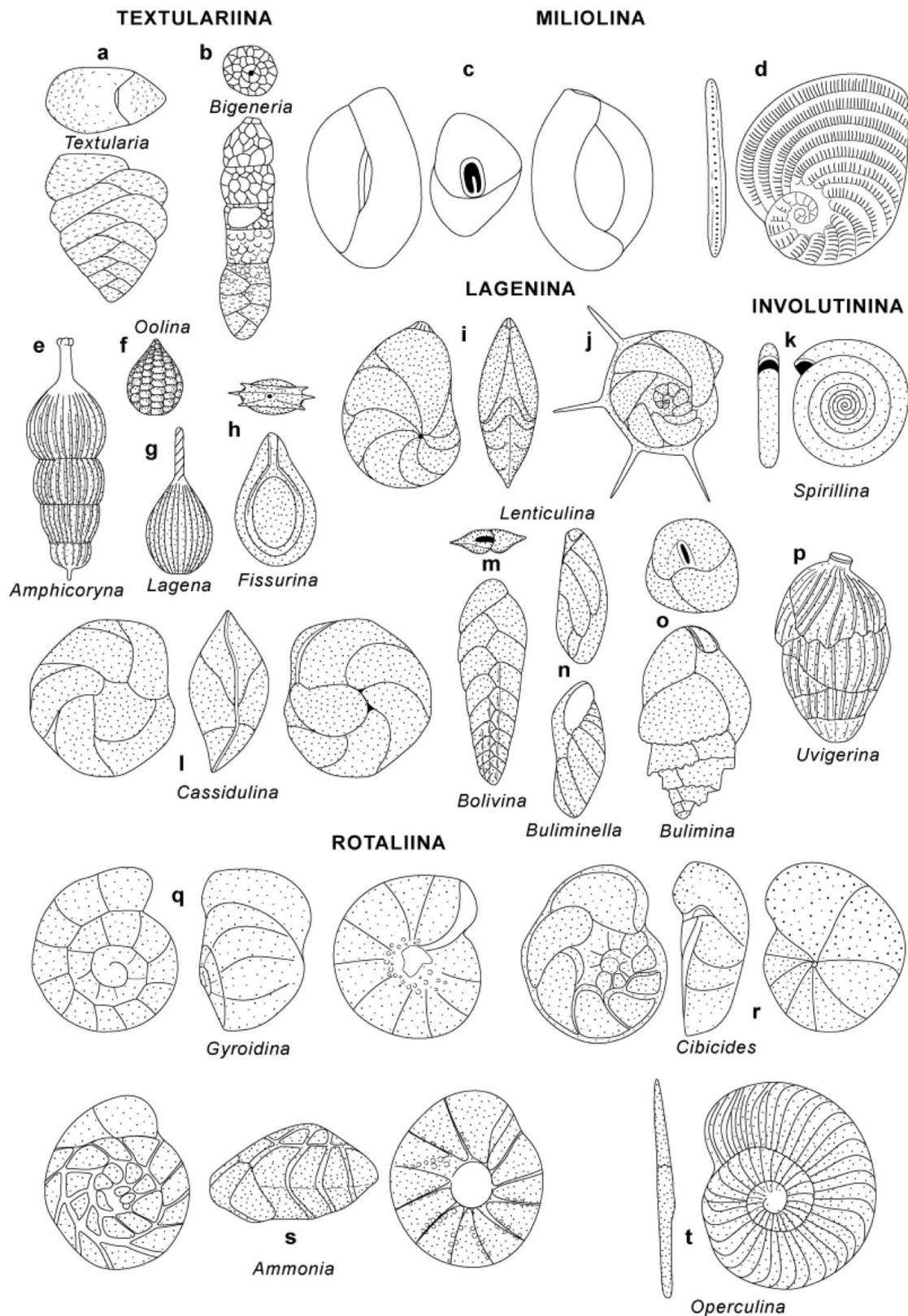


Figure A6 – Divers foraminifères benthiques. La taille de ces individus est de maximum un demi-centimètre (Bellier *et al.*, 2010).

ANNEXE 7: RÉSULTATS DE LA XRF ET UTILISATION DES TRACEURS GÉOCHIMIQUES DE L'HYPOXIE

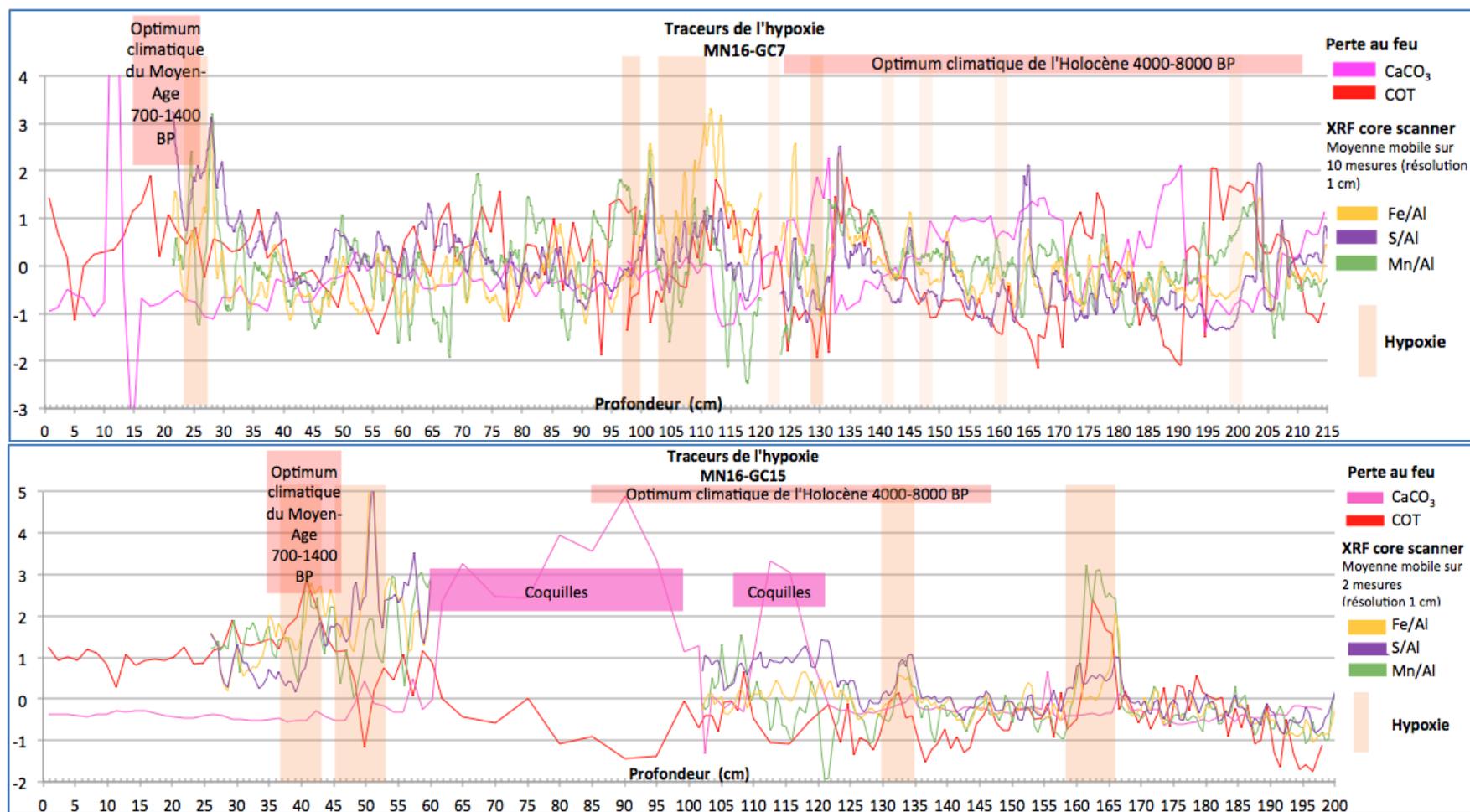


Figure A7-1 – Résultats de la XRF normalisés pour les carottes GC7 et GC15 (Robinet, 2019). En conditions réduites, les rapports en éléments en trace, en fer, en soufre et en manganèse par rapport à l'aluminium (afin de retirer le biais lié aux apports terrigènes) augmentent (Croudace & Rothwell, 2015). La superposition de pics de différents traceurs a ainsi été prise en compte afin de définir les niveaux hypoxiques. Ce sont notamment les rapports Mn/Al, S/Al, Fe/Al et la quantité de carbone organique total (COT) qui ont été utilisés. Les pics mineurs sont en orange pâle (GC7).

Tableau A7-2 – Profondeurs correspondant aux niveaux supposés hypoxiques pour les carottes GC7 et GC15. Dans le cas de la carotte GC7, certains pics (A7-1) sont majeurs (X) et d'autres sont mineurs. Les pics mineurs ont également été analysés.

Nom de la carotte	Section	Profondeur (cm)	Profondeur réelle (cm)	Pic majeur
MN16 - GC7	1	0 – 97	26-30	X
	2	97 – 215	100-103	X
			106-114	X
			125-127	
			132-134	X
			144-146	
			150,5-152,5	
			163-165	
			203-205	
MN16 - GC15	1	0 – 101	39-44	X
			47-55	X
	2	101 – 200	131-136	X
			159-167	X
	3	200 – 297	/	

ANNEXE 8 : LISTE DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS DANS LE CAS DE L'ÉTUDE DES ASSEMBLAGES DE FORAMINIFÈRES

Tableau A8 – Echantillons étudiés afin d'analyser les assemblages de foraminifères.

Nom de la carotte	Section	Profondeur (cm)	Echantillon	Profondeur réelle (cm)	Hypoxie supposée
MN16 - GC7	1	0 - 97	27	28,5	X
			42	44	
	2	97 - 215	4-5	101,5	X
			15-16	112,5	X
			29-30	126,5	X
			36-37	133,5	X
			37-38	134,5	
			54-55	151,5	X
			66-67	163,5	X
			68-69	165,5	
			82-83	179,5	
107-108	204,5	X			
MN16 - GC15	1	0 - 101	19	43	X
			23	51	X
	2	101 - 200	33-34	134	X
			46-47	147,5	
			62-63	163,5	X
			64-65	165,5	X
			66-67	167,5	
86-87	187,5				

ANNEXE 9 : LISTE DES ÉCHANTILLONS DATÉS (^{14}C & ^{210}Pb)

Tableau A9 – Profondeurs datées, selon les différentes méthodes, pour les carottes GC7 et GC15 et état d'avancement des datations. MC : multicore.

Nom de la carotte	Section	Profondeur (cm)	Type de datation - Matériel daté	Profondeur réelle (cm)	Etat
MN16 - GC7	1	0 - 97	-	0	-
			^{210}Pb - MC	0,5	Effectué
			^{210}Pb - MC	4	Effectué
			^{210}Pb - MC	8	Effectué
			^{14}C - Sédiment	41	Effectué – En attente
	2	97 - 215	^{14}C - Coquille	98,5	En attente
			^{14}C - Sédiment	117,5	Effectué - En attente
			^{14}C - Sédiment	150,5	Effectué
			^{14}C - Sédiment	171,5	En attente
			^{14}C - Sédiment	180,5	Effectué
			^{14}C - Sédiment	210,5	Effectué
MN16 - GC15	1	0 - 101	-	0	-
			^{210}Pb - MC	25	Effectué
			^{14}C - Coquille et Séd.	57	Effectué – En attente
	2	101 - 200	^{14}C - Sédiment	131,5	Effectué
			^{14}C - Coquille et Séd.	166,5	En attente
			^{14}C - Sédiment	191,5	Effectué
	3	200 - 297	^{14}C - Coquille et Séd.	220,5	En attente
			^{14}C - Sédiment	240,5	Effectué
			^{14}C - Coquille et Séd.	259,5	En attente
			^{14}C - Sédiment	280,5	Effectué

ANNEXE 10 : ECHANTILLONS SÉLECTIONNÉS POUR LES CAROTTES GC7 ET GC15

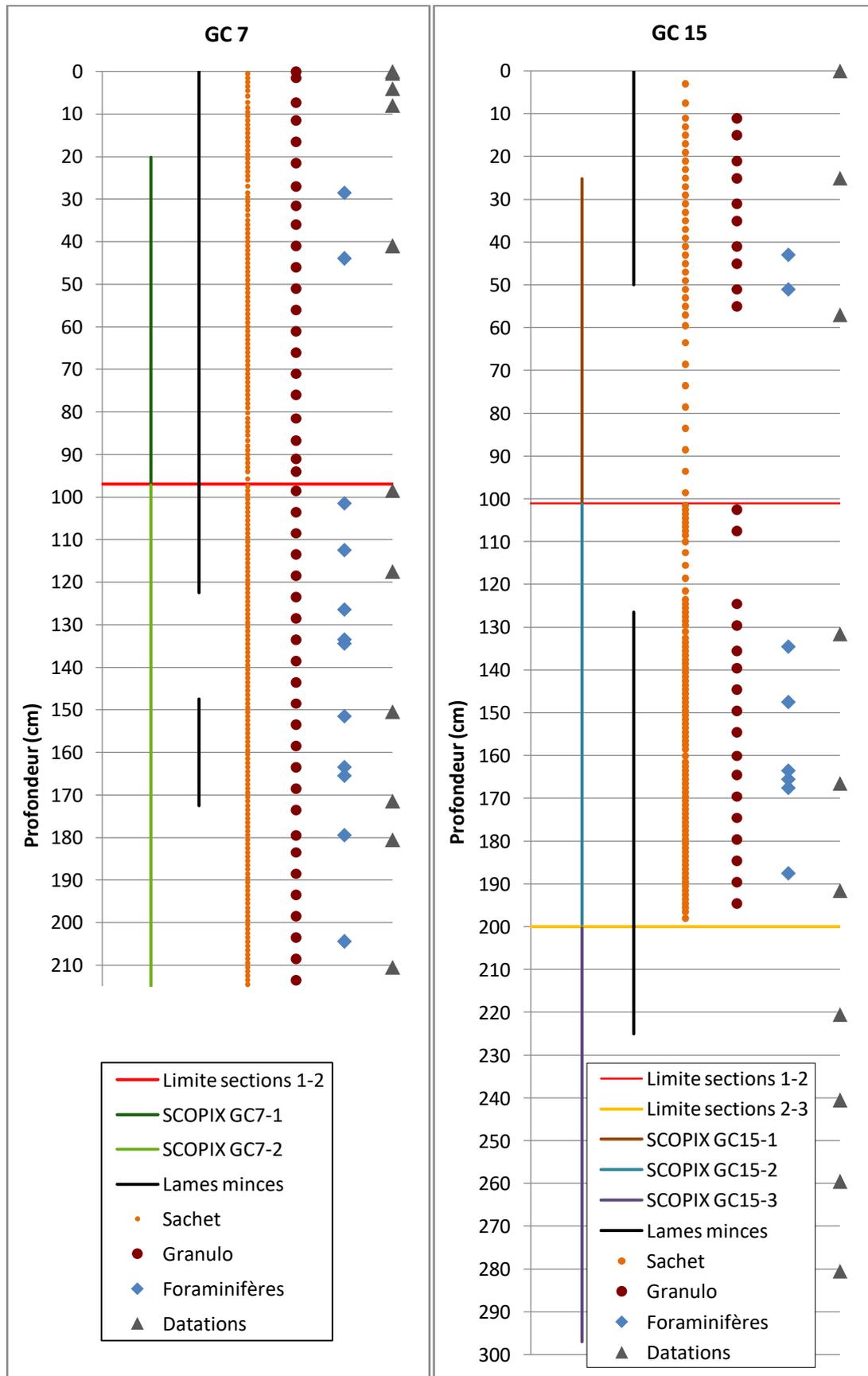


Figure A10 – Synthèse des échantillons sélectionnés dans GC7 et dans GC15-1 et GC15-2.

ANNEXE 11 : RÉSULTATS DES DATATIONS ^{210}Pb ET ^{14}C EFFECTUÉES SUR LES CAROTTES GC7 ET GC15

Tableau A11-1 – Résultats des datations faites sur la multicore (MC) et la gravity core (GC) GC7. Les résultats en italique et en gris correspondent à des inversions d'âge qui ont finalement été retirées de l'âge modèle.

Echantillon	Âge ^{14}C	Âge calibré BP	Erreur	Âge réservoir local	Profondeur (cm)	Matériel daté
Surface carotte	/	2016			0	/
^{210}Pb	/	2015	5		0,5	MC - Sédiment
^{210}Pb	/	2006	5		4	MC - Sédiment
^{210}Pb	/	1997	5		8	MC - Sédiment
GC7.1/40-41	2930		45	126	41	GC - Sédiment
<i>GC7.2/20-21</i>	<i>665</i>		<i>30</i>	<i>126</i>	<i>117,5</i>	<i>GC - Coquille</i>
<i>GC7.2/53-54</i>	<i>4490</i>		<i>35</i>	<i>126</i>	<i>150,5</i>	<i>GC - Sédiment</i>
GC7.2/83-84	4170		25	126	180,5	GC - Sédiment
GC7.2/113.114	4200		45	126	210,5	GC - Sédiment

Tableau A11-2 – Résultats des datations faites sur la multicore (MC) et la gravity core (GC) GC15. Le résultat en italique et en gris correspond à une inversion d'âge qui a finalement été retirée de l'âge modèle.

Echantillon	Âge ^{14}C	Âge calibré BP	Erreur	Âge réservoir local	Profondeur (cm)	Matériel daté
Surface carotte	/	2016			0	/
^{210}Pb	/	1977	5		25,0	MC - Sédiment
GC15.1/56-58	2110		30	57	57,0	GC - Coquille
GC15.2/30-31	6525		35	57	131,5	GC - Sédiment
<i>GC15.2/90-91</i>	<i>8385</i>		<i>40</i>	<i>57</i>	<i>191,5</i>	<i>GC - Sédiment</i>
GC15.3/40-41	7820		35	57	240,5	GC - Sédiment
GC15.3/80-81	7780		40	57	280,5	GC - Sédiment

ANNEXE 12 : ILLUSTRATION DES DIFFÉRENTS FACIÈS OBSERVÉS DANS LES CAROTTES

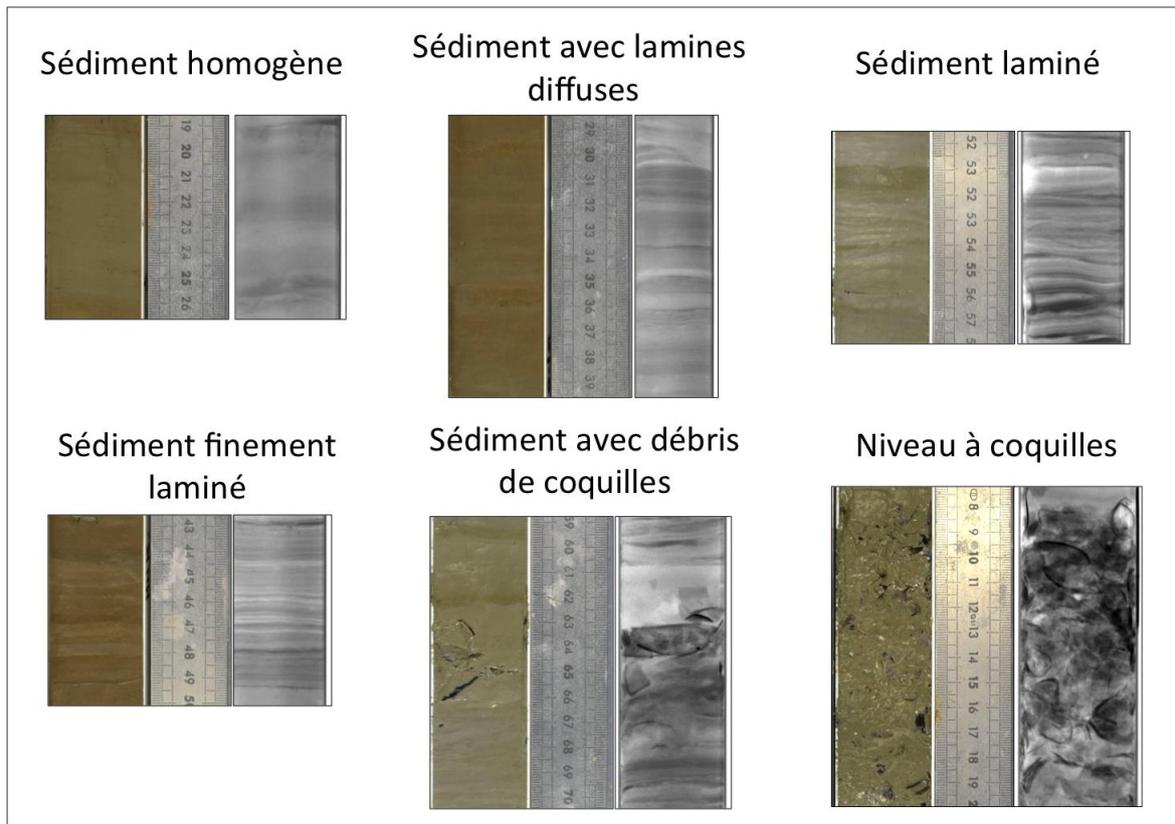


Figure A12 – Faciès trouvés au sein des carottes GC7 et GC15 (échelle : cm). Gauche : photographie macroscopique en couleurs réelles. Droite : image SCOPIX.

ANNEXE 13 : STRUCTURES PARTICULIÈRES AU SEIN DES LAMES MINCES

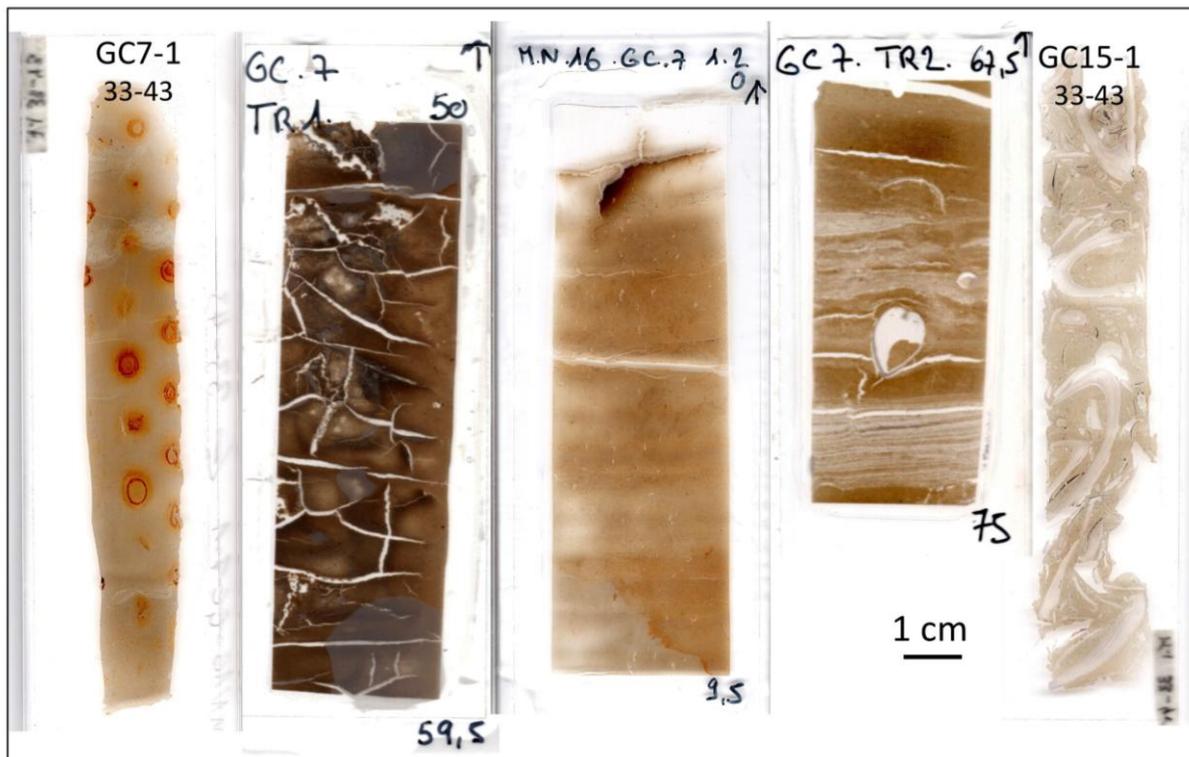


Figure A13-1 – Exemples de lames minces ayant des défauts ou présentant des structures sédimentaires particulières. De gauche à droite : traces de rouille laissées par oxydation du contenant métallique ; fentes liées à une mauvaise imprégnation du sédiment ; “trous” visibles dans le sédiment dus à la fabrication de la lame (artefact) ; structure sédimentaire qui montre une coquille remaniée avec une compaction du sédiment autour de la coquille et avec une fine lamination en profondeur ; ensemble de débris de coquilles probablement lié à une tempête.

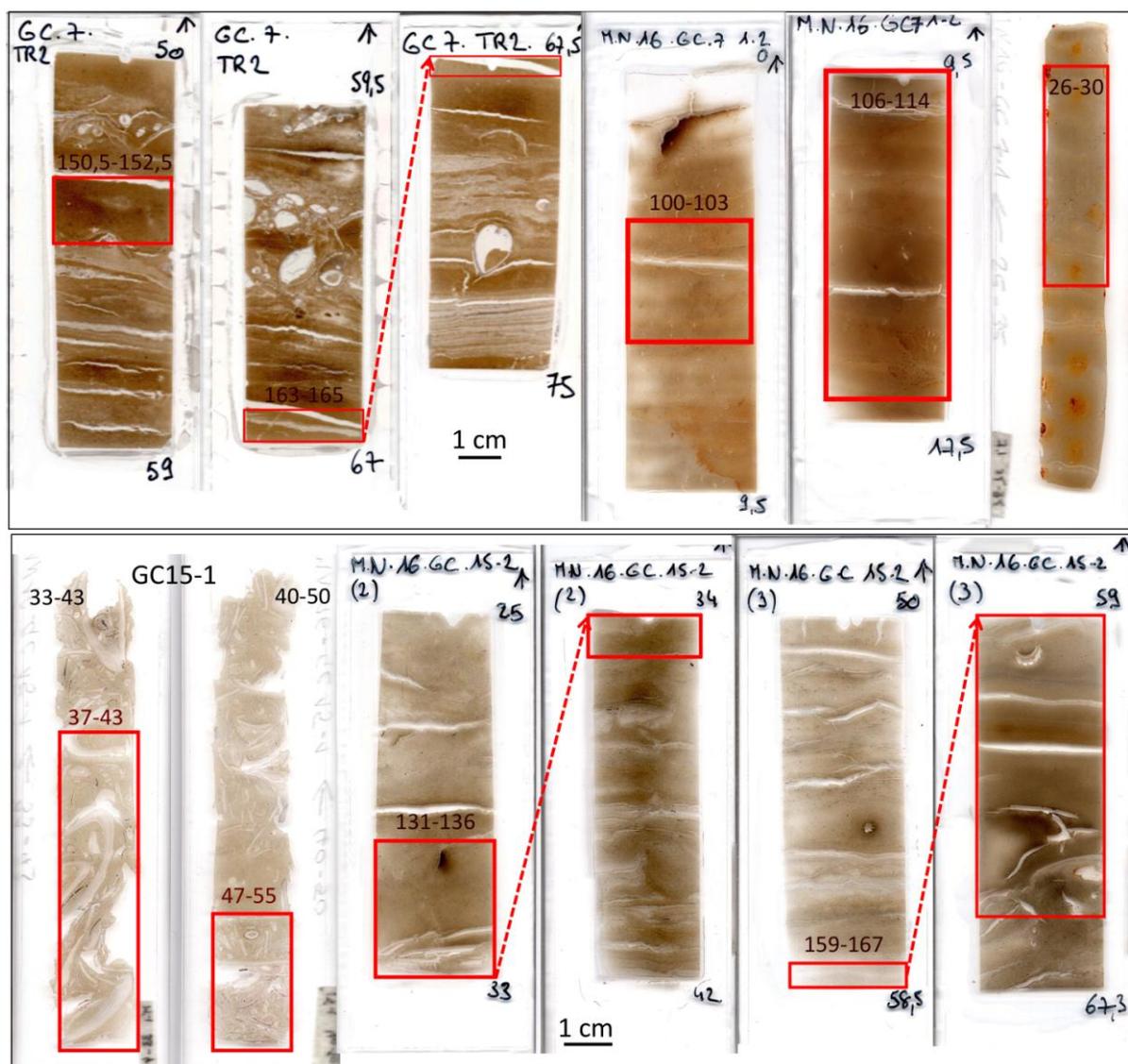


Figure A13-2 – Observation des lames dans lesquelles se trouvent les niveaux supposés hypoxiques (Annexe 4) pour les carottes GC7 (au dessus) et GC15 (en dessous). Les encadrés rouges représentent les niveaux supposés hypoxiques.

ANNEXE 14 : DESCRIPTION DES LAMES MINCES

<p>1. Caractéristiques générales GC7-1 : 0-25 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Embouchure du Danube) Lames faites chez MKfactory (Stahnsdorf, Allemagne)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 0-10 : sédiment homogène et fin jusqu'à 8 cm de profondeur ; la granulométrie est ensuite plus grossière (< mm) avec du quartz (Qz) et des minéraux opaques sur plusieurs mm ; débris de coquille plurimm vers 9 cm. - 8-18 : fins linéaments vers 9 cm sur un peu plus d'un cm ; sédiment homogène et fin ; quelques grains plus grossiers à 12,5 cm de profondeur (Qz et minéraux opaques) ; débris coquilliers plurimm à 14,5 cm ; sédiment homogène et fin. - 15-25 : sédiment homogène et fin ; à 21,5 cm de profondeur se trouve un niveau plurimm plus grossier (Qz et minéraux opaques < mm) ; sédiment homogène et fin ; vers 24 cm se trouve un autre niveau plus grossier centimétrique (Qz < mm).</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Traces de rouille (dues aux boîtiers métalliques dans lesquels était conservé le sédiment) - Sédiment peu stratifié</p>
<p>4. Interprétation Sédiment homogène sombre (riche en matière organique) et d'origine détritique terrigène. Les lamines peuvent être liées à des crues du Danube.</p>	

<p>1. Caractéristiques générales GC7-1 : 25-50 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Embouchure du Danube) Lames faites chez MKfactory (Stahnsdorf, Allemagne)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 25-35 : granulométrie plus grossière et linéament mm vers 26 cm de profondeur ; à 27,5 cm, présence de quelques grains plus grossiers (Qz et minéraux opaques < mm) ; idem entre 28 et 29 cm, les grains sont disposés en diagonale (bioturbation) ; vers 30 cm, quelques fins linéaments (< mm) ; à 34,5 cm, ensemble plurimm de linéations ondulées suite à une perturbation (Qz et quelques minéraux opaques < mm). - 33-43 : jusque 35 cm de profondeur, quantité plus importante de minéraux opaques et linéament plurimm et ondulé (Qz) à 35 cm (bioturbation) ; à 40 cm de profondeur, linéament plurimm également perturbé par une bioturbation (Qz et opaques < mm). - 40-50 : à 40,5 cm de profondeur, lamine ondulée sur plusieurs mm (Qz et opaques < mm) ; idem à 42 cm, lamine sur plusieurs mm ; sédiment homogène et fin sur le reste de la lame.</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Traces de rouille (dues aux boîtiers métalliques dans lesquels était conservé le sédiment) - Sédiment peu stratifié - Beaucoup de bioturbations sur l'ensemble des lames</p>
<p>4. Interprétation Sédiment relativement homogène et sombre et probablement d'origine détritique terrigène. Activité biologique importante observée. Lamines liées à des crues successives du Danube, plus présentes à grande profondeur. Niveau supposé hypoxique de 26 à 30 cm de profondeur (via la XRF et les pertes au feu) : pas de structure particulière.</p>	

<p>1. Caractéristiques générales GC7-1 : 50-75 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Embouchure du Danube) Lames faites au laboratoire EPOC (Université de Bordeaux)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 50-59,5 : sédiment homogène (mais les fentes de dessiccation empêchent de bien visualiser la texture de la lame). - 60-68 : fines laminations perceptibles sur l'ensemble de la lame liées à l'imprégnation ; à 64 cm, lamine mm avec minéraux opaques et Qz (< mm) ; idem à 66 cm de profondeur. - 68,5-75 : fines lamines perceptibles sur l'ensemble de la lame.</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Nombreuses « fentes de dessiccation » (problème lors de l'imprégnation du sédiment)</p>
<p>4. Interprétation Sédiment homogène et sombre probablement d'origine détritique terrigène. De nombreuses fines lamines sont visibles sur l'ensemble des lames. Soit ces dernières sont réellement liées à des changements réguliers d'apports (crues) soit liées à l'imprégnation du sédiment qui n'a pas fonctionné.</p>	

<p>1. Caractéristiques générales GC7-1 : 75-97 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Embouchure du Danube) Lames faites au laboratoire EPOC (Université de Bordeaux)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 75-84 : de 76 à 76,5 cm de profondeur, lamine avec sédiment plus grossier et clair (Qz et sulfures < mm) ; idem à 77,5, 79 et 79,5 cm, lamine plurimm ; entre ces lamines, il y a également de plus fines lamines (< mm) plus diffuses (sédiment plus fin) et réparties tous les cm ou plurimm ; à partir de 81,5 cm, le sédiment est plus fin et moins laminé. - 84-90 : sédiment homogène et fin jusque 85,5 cm ; sédiment plus clair avec des lamines (< mm) de sédiment plus grossier (Qz et minéraux opaques < mm) tous les plurimm ; à partir de 87 cm, le sédiment est plus homogène, plus sombre et plus fin avec une lamine mm à 88,5. - 90-97 : jusque 91 cm, sédiment plus grossier et clair avec plusieurs lamines (< mm) de sédiment grossier ; jusque 93,5 cm, sédiment plus fin et sombre, avec une structure mm qui est partiellement verticale de 92 à 92,5 cm et remplie de sédiment plus grossier ; de 93,5 à 94 cm, lamine plurimm plus grossière (Qz et minéraux opaques) ; sédiment plus fin et sombre sur le reste de la lame.</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Quelques fentes de manière régulière</p>
<p>4. Interprétation Sédiment sombre et laminé d'origine détritique terrigène. De nombreuses fines lamines sont visibles sur l'ensemble des lames et sont probablement liées à des successions de crues du Danube. La structure verticale observée est peut-être liée à une variation de la salinité qui a entraîné la formation d'une fissure de synérèse.</p>	

<p>1. Caractéristiques générales GC7-2 : 0-25 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Embouchure du Danube) Lames faites au laboratoire EPOC (Université de Bordeaux)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 0-9,5 : Sédiment relativement homogène avec des lamines (< mm) à 0,5, à 2 et 3 cm, avec grains plus grossiers (Qz et minéraux opaques). - 9,5-17,5 : Sédiment relativement homogène avec des lamines (< mm) à 10,5, à 11,5, 12 et 14,5 cm, avec grains plus grossiers (Qz et minéraux opaques). - 18-25 : Sédiment relativement homogène avec, à 23,5 cm, des débris de coquilles (bivalves, brachiopodes et foraminifères) et un terrier rempli de matière organique (bioturbation).</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Structure trouée du sédiment (problème lors de l'imprégnation ?) avec des fentes et des points noirs - Bioturbation (terrier)</p>
<p>4. Interprétation Sédiment homogène, sombre et d'origine détritique terrigène, avec quelques lamines. Quelques lamines probablement liées à des successions de crues du Danube. Activité biologique observée au sein du sédiment. Niveau supposé hypoxique de 100 à 103 cm de profondeur (via la XRF et les pertes au feu) : pas de structure particulière, le sédiment est homogène et fin. Niveau supposé hypoxique de 106 à 114 cm de profondeur (via la XRF et les pertes au feu) : pas de structure particulière, le sédiment est également homogène et fin avec quelques lamines.</p>	

<p>1. Caractéristiques générales GC7-2 : 50-75 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Embouchure du Danube) Lames faites au laboratoire EPOC (Université de Bordeaux)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 50-59 : à 51 cm de profondeur se trouve un niveau à coquilles plurimm à cm (brachiopodes, gastéropodes et bivalves) d'un cm d'épaisseur ; sédiment homogène et fin ; vers 54 cm, restes de coquilles plurimm et 5 mm de sédiment fin riche en Qz ; sédiment homogène. - 59,5-67 : coquilles (gastéropodes plurimm) sur plusieurs mm ; sédiment homogène ; à 61 cm de profondeur, tempestite avec granoclassement de coquilles (gastéropodes, brachiopodes et bivalves mm à cm) sur 4,5 cm d'épaisseur et structures géopétales ; sédiment homogène avec une fine lamine plurimm à 66,5 cm (Qz et minéraux opaques < mm). - 67,5-75 : sédiment homogène et fin ; à 69,5 cm, reste d'une coquille (brachiopode) ; laminations plurimm (Qz et minéraux opaques < mm) jusque 72 cm de profondeur ainsi qu'une coquille (cm) ; laminations très fines < mm jusque 74,5 cm de profondeur.</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Quelques « fentes de dessiccation » (surtout horizontales) - Tempestite avec granoclassement - Structures géopétales au sein de la tempestite</p>
<p>4. Interprétation Sédiment relativement homogène, sombre et d'origine détritique terrigène. Présence de nombreuses coquilles (contrairement à la section GC7-1) probablement transportées et déposées (remaniement démontré par les structures géopétales) suite à des tempêtes se produisant sur la plateforme. Lamines probablement liées à des crues du Danube plus présentes à grande profondeur. Niveau supposé hypoxique de 150,5 à 152,5 cm de profondeur (via la XRF et les pertes au feu) : le sédiment est homogène et fin avec quelques minéraux opaques... (voir suite page suivante)</p>	

...Niveau supposé hypoxique de 163 à 165 cm de profondeur (via la XRF et les pertes au feu) : le sédiment est homogène et fin avec quelques minéraux opaques, mais des fentes empêchent de bien visualiser.

1. Caractéristiques générales

GC15-1 : 0-25 cm

Plateforme NW de la Mer Noire (Baie d'Odessa)

Lames faites chez MKfactory (Stahnsdorf, Allemagne)

2. Analyse de la texture

- 0-10 : sédiment relativement homogène et fin avec des minéraux opaques sur l'ensemble de la lame.
 - 8-18 : sédiment homogène ; vers 9,5 cm et 10,5 cm de profondeur se trouvent deux lamines plurimm (Qz et minéraux opaques < mm) ; sédiment homogène ; de 16,5 cm à 18 cm de profondeur, débris de coquilles plurimm.
 - 15-25 : à 16 cm, débris de coquilles (cm) et sédiment plus grossier (Qz et minéraux opaques < mm) jusque 19 cm ; vers 19 cm de profondeur, le sédiment est homogène mais avec une proportion en opaques plus importante ; à 21,5 cm, lamine mm ; sédiment homogène et fin.

3. Analyse structurale et particularités

- traces de rouille (dues aux boîtiers métalliques dans lesquels était conservé le sédiment)
 - sédiment peu stratifié

4. Interprétation

Sédiment relativement homogène, sombre et probablement d'origine détritique terrigène.

Présence de quelques restes de coquilles probablement remaniés.

Quelques lamines potentiellement liées à des crues des différents cours d'eau se déversant à proximité.

1. Caractéristiques générales

GC15-1 : 25-50 cm

Plateforme NW de la Mer Noire (Baie d'Odessa)

Lames faites chez MKfactory (Stahnsdorf, Allemagne)

2. Analyse de la texture

- 25-35 : jusque 30 cm de profondeur, le sédiment est relativement homogène et fin avec quelques minéraux opaques (< mm) et des débris de coquilles cm (bivalves, brachiopodes, foraminifères, gastéropodes) ; vers 30 cm de profondeur, nombreux débris de coquilles sans granoclassement.
 - 33-43 : sédiment fin avec débris de coquilles sans granoclassement (mm à plurimm).
 - 40-50 : jusque 46,5 cm de profondeur, présence de débris coquilliers (gastéropodes, bivalves et brachiopodes) plurimm à cm ; sédiment homogène et fin avec quelques débris de coquilles ; à partir de 47 cm de profondeur, débris de coquilles (plurimm à cm) abondants.

3. Analyse structurale et particularités

- Traces de rouille (dues aux boîtiers métalliques dans lesquels était conservé le sédiment)
 - Sédiment non stratifié
 - Tempestites amalgamées

4. Interprétation

Sédiment relativement homogène et probablement d'origine détritique terrigène.

Présence de nombreuses coquilles (contrairement aux 25 premiers cm de la carotte) probablement transportées et déposées suite à des tempêtes se produisant sur la plateforme. Suite de tempestites amalgamées (remaniement de la fraction fine des tempestites).

Niveau supposé hypoxique de 37 à 43 cm de profondeur et de 47 à 55 cm de profondeur (via la XRF et les pertes au feu) : le sédiment est constitué de débris de coquilles sans granoclassement.

<p>1. Caractéristiques générales GC15-2 : 25-50 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Baie d'Odessa) Lames faites au laboratoire EPOC (Université de Bordeaux)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 25-33 : Sédiment plus grossier (Qz < mm) jusque 29 cm ; sédiment plus fin et homogène. - 34-42 : sédiment homogène fin et sombre jusque 36 cm ; succession de lamines (< mm) de sédiment clair (Qz) de 36 cm à 37 cm et de 38 à 39 cm ; de 39 à 40 cm, succession de lamines qui disparaissent latéralement (bioturbations) ; sédiment laminé (< mm) avec Qz et minéraux opaques (< mm). - 42,5-50 : Sédiment homogène clair avec de 48,5 à 49 cm de profondeur une lamine avec Qz et minéraux opaques (< mm).</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Quelques fentes horizontales et tâches noires - Sédiment laminé et bioturbé</p>
<p>4. Interprétation Sédiment relativement homogène d'origine détritique terrigène. Laminations liées à des crues successives. Activité biologique observée. Niveau supposé hypoxique de 131 à 136 cm de profondeur (via la XRF et les pertes au feu) : le sédiment est homogène et fin.</p>	

<p>1. Caractéristiques générales GC15-2 : 50-75 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Baie d'Odessa) Lames faites au laboratoire EPOC (Université de Bordeaux)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 50-58,5 : Sédiment fin et homogène ; à 52,5 cm, lamine plurimm grossière (Qz et minéraux opaques) ; sédiment homogène, fin et sombre ; de 55 à 56 cm, succession de lamines mm ; sédiment graduellement plus grossier. - 59-67,5 : jusque 62,5 cm de profondeur, sédiment avec des lamines (< mm) constituées de Qz et minéraux opaques ; jusque 64 cm de profondeur, le sédiment est homogène, fin et sombre ; présence de restes de coquilles (cm) sur plusieurs cm avec laminations perturbées. - 68-75 : jusqu'à 72 cm, le sédiment est homogène et fin, avec partiellement des grains plus grossiers (< mm) ; à partir de 72 cm, succession de fines lamines < mm à plurimm.</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Quelques fentes horizontales et tâches noires - Sédiment partiellement laminé</p>
<p>4. Interprétation Sédiment relativement homogène et probablement d'origine détritique terrigène. Présence de quelques restes de coquilles remaniés. Laminations liées à des crues successives. Niveau supposé hypoxique de 159 à 167 cm de profondeur (via la XRF et les pertes au feu) : le sédiment est homogène et fin avec quelques lamines.</p>	

<p>1. Caractéristiques générales GC15-2 : 75-99 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Baie d'Odessa) Lames faites au laboratoire EPOC (Université de Bordeaux)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 75-82 : Lames < mm (Qz et minéraux opaques) de 84 à 84,5 cm, de 85,5 à 87 cm et de 87,5 à 89 cm et sédiment homogène, fin et sombre et partiellement plus grossier ; à 86 cm, coquille plurimm. - 82,5-90 : Lames plurimm grossières (Qz et minéraux opaques) jusque 76,5 cm ; sédiment fin et homogène ; de 78 à 80 cm, succession de lames (< mm) avec du Qz et minéraux opaques grossiers et restes de coquilles ; sédiment homogène, fin et sombre et partiellement plus grossier. - 90,5-98 : Lames < mm (Qz et minéraux opaques) de 90,5 à 91 cm de 92 à 93 cm et de 94 à 95 cm, sédiment fin et homogène et restes de coquilles plurimm à cm (dont un brachiopode entre 94 et 95 cm) ; à partir de 95 cm, sédiment plus grossier.</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Quelques fentes horizontales et tâches noires - Structures géopétales</p>
<p>4. Interprétation Sédiment relativement homogène et probablement d'origine détritico terrigène. Présence de quelques restes de coquilles remaniés. Laminations probablement liées à des crues.</p>	

<p>1. Caractéristiques générales GC15-3 : 0-25 cm Plateforme NW de la Mer Noire (Baie d'Odessa) Lames faites au laboratoire EPOC (Université de Bordeaux)</p>	
<p>2. Analyse de la texture - 0-8,5 : sédiment homogène et fin ; laminations (< mm) de 4 à 5 cm de profondeur et de 6 à 7 cm. - 8,5-16,5 : sédiment laminé (perturbations lors de l'imprégnation) ; vers 14 cm de profondeur le sédiment devient plus homogène, avec une coquille plurimm à 15 cm. - 17-25 : sédiment relativement homogène sur l'ensemble de la lame et présence de quelques coquilles plurimm à cm.</p>	<p>3. Analyse structurale et particularités - Nombreuses fentes de dessiccation (problème lors de l'imprégnation)</p>
<p>4. Interprétation Sédiment relativement homogène et probablement d'origine détritico terrigène. Lames liées à des crues plus présentes à faible profondeur.</p>	

ANNEXE 15 : DESCRIPTION DES UNITÉS LITHOLOGIQUES DE GC7 ET DE GC15

GC7					
Unité litho	Macroscopie	SCOPIX	Lames minces	Granulométrie	Perte au feu
1 0 à 23 cm 1 cm = 7 ans	Sédiment argileux homogène	Pas d'image	Sédiment homogène avec quelques fragments de coquilles	Argile : 7 % Silt : 91 % Sable : 2 % Moyenne : 9,8 µm	H ₂ O : 49,3% MO : 8,74% CaCO ₃ : 9,76% Pic en CaCO ₃ 34 % à 12 cm
2 23 à 39 cm 1 cm = 79 ans	Linéations plurimm de couleurs différentes	Linéations et niveaux orangés visibles	Linéaments plurimm et bioturbations	Argile : 8 % Silt : 91 % Sable : 1 % Moyenne : 9,3 µm	H ₂ O : 49,6% MO : 8,56% CaCO ₃ : 7,79%
3 39 à 50 cm 1 cm = 13 ans	Sédiment homogène	Sédiment relativement homogène ; lamines diffuses plurimm à cm visibles	Sédiment homogène avec quelques lamines	Argile : 7 % Silt : 92 % Sable : 1 % Moyenne : 8,8 µm	H ₂ O : 44,8% MO : 7,71% CaCO ₃ : 8,64%
4 50 à 68 cm 1 cm = 11 ans	Sédiment avec lamines plurimm	Lamines toujours visibles, mais de moins en moins diffuses	Sédiment semble homogène (mais lame ratée)	Argile : 8 % Silt : 89 % Sable : 3 % Moyenne : 9,9 µm	H ₂ O : 46,5% MO : 7,99% CaCO ₃ : 9,31%
5 68 à 71 cm 1 cm = 11 ans	Sédiment finement laminé	Fine lamination (mm)	Fine lamination (mm)	Argile : 8 % Silt : 91 % Sable : 1 % Moyenne : 8,5 µm	H ₂ O : 48,4% MO : 8,29% CaCO ₃ : 9,22%
6 71 à 101 cm 1 cm = 11 ans	Sédiment plus homogène avec des lamines diffuses	Laminations plurimm à cm	Sédiment plus grossier avec laminations plurimm	Argile : 7 % Silt : 91 % Sable : 2 % Moyenne : 10,2 µm	H ₂ O : 44,1% MO : 8,26% CaCO ₃ : 9,00%
7 101 à 121 cm 1 cm = 11 ans	Sédiment avec lamines diffuses	Sédiment laminé sauf de 110 à 123 cm où le sédiment est plus homogène	Sédiment homogène avec des lamines	Argile : 8 % Silt : 87 % Sable : 5 % Moyenne : 8,2 µm	H ₂ O : 40,75% MO : 8,00% CaCO ₃ : 8,71%
8 121 à 162 cm 1 cm = 11 ans	Sédiment plus compact et homogène, avec quelques laminations	120 cm : coquilles sur deux cm	Sédiment homogène avec des débris de coquilles dont une tempestite	Argile : 8 % Silt : 86 % Sable : 6 % Moyenne : 10,2 µm	H ₂ O : 33,5% MO : 7,52% CaCO ₃ : 10,9% Pic CaCO ₃ à 132 cm 16%
9 162 à 215 cm 1 cm = 2 ans	Laminations plus marquées en profondeur	160 à 165 cm : lamines plurimm 174 à 186 cm : lamines diffuses plurimm/pluricm	Sédiment homogène avec quelques lamines	Argile : 7 % Silt : 87 % Sable : 6 % Moyenne : 10,8 µm	H ₂ O : 32,6% MO : 7,84% CaCO ₃ : 10,4% Pic CaCO ₃ à 191 cm 16%

GC15					
Unité lithologique	Macroscopie	SCOPIX	Lames minces	Granulométrie	Perte au feu
1 0 à 38 cm 1 cm = 2 ans	Sédiment homogène sableux avec coquilles entières	A partir de 25 cm : sédiment homogène avec quelques coquilles	Sédiment homogène avec lamines vers 9,5 et 10,5 cm et quelques coquilles vers 30 cm	Argile : 7 % Silt : 86 % Sable : 7 % Moyenne : 15,4 µm Niveau grossier	H ₂ O : 53,8% MO : 8,78% CaCO ₃ : 10,8%
2 38 à 60 cm 1 cm = 54 ans	Sédiment avec laminations diffuses et un niveau à coquilles entre 45 et 48,5 cm	Sédiment avec laminations diffuses plurimm	Sédiment avec débris de coquilles	Argile : 8 % Silt : 87 % Sable : 5 % Moyenne : 13,6 µm Niveau grossier	H ₂ O : 54,3% MO : 8,54% CaCO ₃ : 12,9% Pic MO à 41 cm 12%
3 60 à 102,5 cm 1 cm = 72 ans	Sédiment plus grossier avec de nombreuses coquilles	Tempestite	/	Pas d'analyse (niveau à coquilles)	H ₂ O : 39,8% MO : 5,60% CaCO ₃ : 46,4% CaCO ₃ atteint 73% à 90 cm
4 102,5 à 109 cm 1 cm = 72 ans	Sédiment argileux laminé (mm à plurimm)	Sédiment laminé	/	Argile : 9 % Silt : 89 % Sable : 2 % Moy. : 8,8 µm	H ₂ O : 41,7% MO : 6,29% CaCO ₃ : 14,1%
5 109 à 123 cm 1 cm = 72 ans	Sédiment grossier avec des coquilles entières	Tempestite	/	Pas d'analyse (niveau à coquilles)	H ₂ O : 38,7% MO : 5,30% CaCO ₃ : 35,6% 113 cm : 55 % CaCO ₃
6 123 à 160 cm 1 cm = 14 ans	Sédiment argilo-silteux avec lamines mm à cm et débris de coquilles	Lamines diffuses plurimm avec coquilles à 137 cm	Sédiment homogène et fin avec laminations et bioturbations	Argile : 8 % Silt : 90 % Sable : 2 % Moyenne : 9,3 µm	H ₂ O : 35,3% MO : 5,26% CaCO ₃ : 12,8% 156 cm : 23 % CaCO ₃
7 160 à 166 cm 1 cm = 12 ans	Sédiment argilo-silteux avec débris de coquilles sur plusieurs cm	Sédiment homogène	Sédiment homogène et fin	Argile : 8 % Silt : 89 % Sable : 2 % Moyenne : 9,9 µm	H ₂ O : 42,4% MO : 9,91% CaCO ₃ : 11,5%
8 166 à 216 cm 1 cm = 12 ans	Sédiment avec lamines mm à plurimm et quelques coquilles	Lamines plurimm puis lamines plus fines (mm à plurimm)	Sédiment laminé fin avec des débris de coquilles en profondeur	Argile : 9 % Silt : 89 % Sable : 2 % Moyenne : 10,2 µm	H ₂ O : 30,2% MO : 5,58% CaCO ₃ : 11,3%
9 216 à 297 cm 1 cm = ?? ans (inversion âge)	Sédiment avec bioturbations et débris de coquilles	Laminations plurimm à cm	Sédiment finement laminé vers le sommet puis sédiment homogène	Pas d'analyse (GC15-3 non sous-échantillonné)	/

ANNEXE 16 : ÂGE DES UNITÉS LITHOLOGIQUES DÉFINIES POUR GC7 ET GC15

Tableau A16-1 – Intervalle d'âge maximal et minimal (BC/AD) et taux de sédimentation des unités lithologiques de la carotte GC7.

GC7	Prof. sommet (cm)	Âge maximal (sommet) (BC/AD)	Prof. base (cm)	Âge minimal (base) (BC/AD)	Taux sédimentation x cm/an	1 cm/an
Unité 1	0	2016 AD	23	Entre 756 et 891 AD	0,15	7
Unité 2	23	Entre 756 et 891 AD	39	Entre 567 et 290 BC	0,01	79
Unité 3	39	Entre 567 et 290 BC	50	Entre 823 et 545 BC	0,08	13
Unité 4	50	Entre 823 et 545 BC	68	Entre 1005 et 762 BC	0,09	11
Unité 5	68	Entre 1005 et 762 BC	71	Entre 1035 et 797 BC	0,09	11
Unité 6	71	Entre 1035 et 797 BC	101	Entre 1340 et 1153 BC	0,09	11
Unité 7	101	Entre 1340 et 1153 BC	121	Entre 1555 et 1382 BC	0,09	11
Unité 8	121	Entre 1555 et 1382 BC	162	Entre 2009 et 1829 BC	0,09	11
Unité 9	162	Entre 2009 et 1829 BC	215	Entre 2310 et 2026 BC	0,44	2

Tableau A16-2 – Intervalle d'âge maximal et minimal (BC/AD) et taux de sédimentation des unités lithologiques de la carotte GC15. Le taux de sédimentation négatif (italique) pour l'unité 9 correspond à une inversion d'âge dans l'âge modèle de la carotte.

GC15	Prof. sommet (cm)	Âge sommet (BC/AD)	Prof. base (cm)	Âge base (BC/AD)	Taux sédimentation x cm/an	1 cm/an
Unité 1	0	2016 AD	38	Entre 1269 et 1343 AD	0,42	2
Unité 2	38	Entre 1269 et 1343 AD	60	Entre 23 et 196 AD	0,02	54
Unité 3	60	Entre 23 et 196 AD	102,5	Entre 2993 et 2824 BC	0,01	72
Unité 4	102,5	Entre 2993 et 2824 BC	109	Entre 3506 et 3316 BC	0,01	72
Unité 5	109	Entre 3506 et 3316 BC	123	Entre 4536 et 4308 BC	0,01	72
Unité 6	123	Entre 4536 et 4308 BC	160	Entre 5452 et 5261 BC	0,07	14
Unité 7	160	Entre 5452 et 5261 BC	166	Entre 5513 et 5334 BC	0,09	12
Unité 8	166	Entre 5513 et 5334 BC	216	Entre 6076 et 5924 BC	0,09	12
Unité 9	216	Entre 6076 et 5924 BC	297	Entre 6349 et 6107 BC	<i>-0,53</i>	<i>-1,87</i>

ANNEXE 18 : COURBES GRANULOMÉTRIQUES DES UNITÉS LITHOLOGIQUES

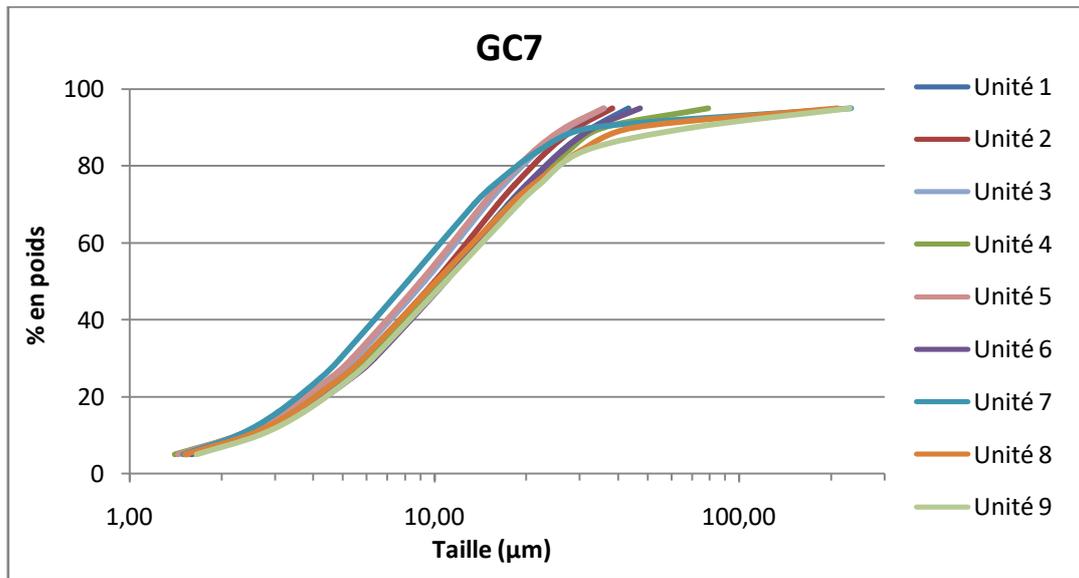


Figure A18-1 – Courbes granulométriques des unités lithologiques de GC7.

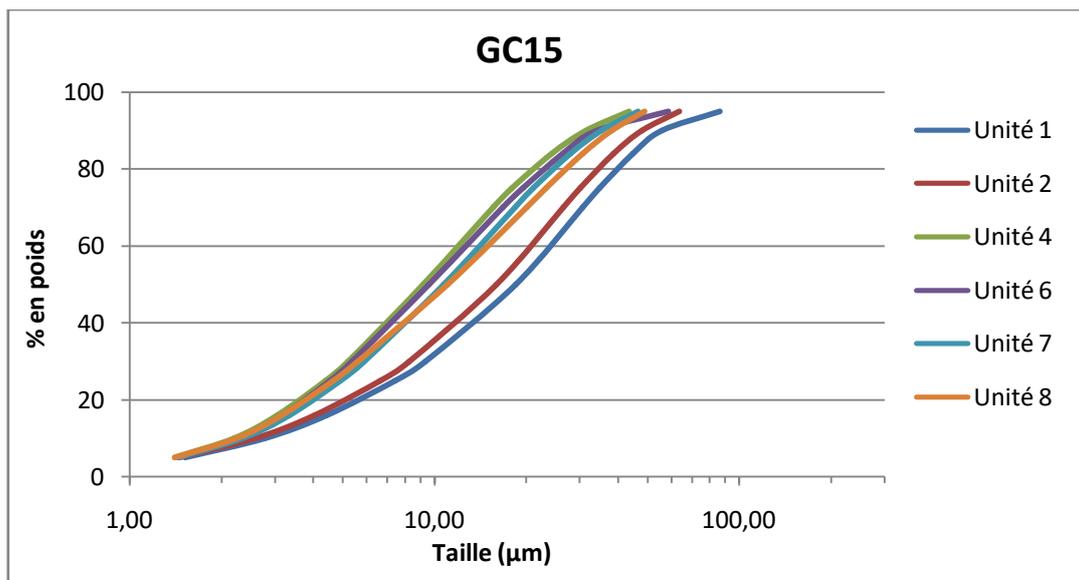


Figure A18-2 – Courbes granulométriques des unités lithologiques de GC15. Les unités 3, 5 et 9 ne sont pas représentées puisqu'aucun échantillon de ces unités n'a été testé en granulométrie laser. Ces unités non testées correspondent à des niveaux à coquilles ou à des unités peu épaisses.

ANNEXE 19 : GENRES DE FORAMINIFÈRES RENCONTRÉS

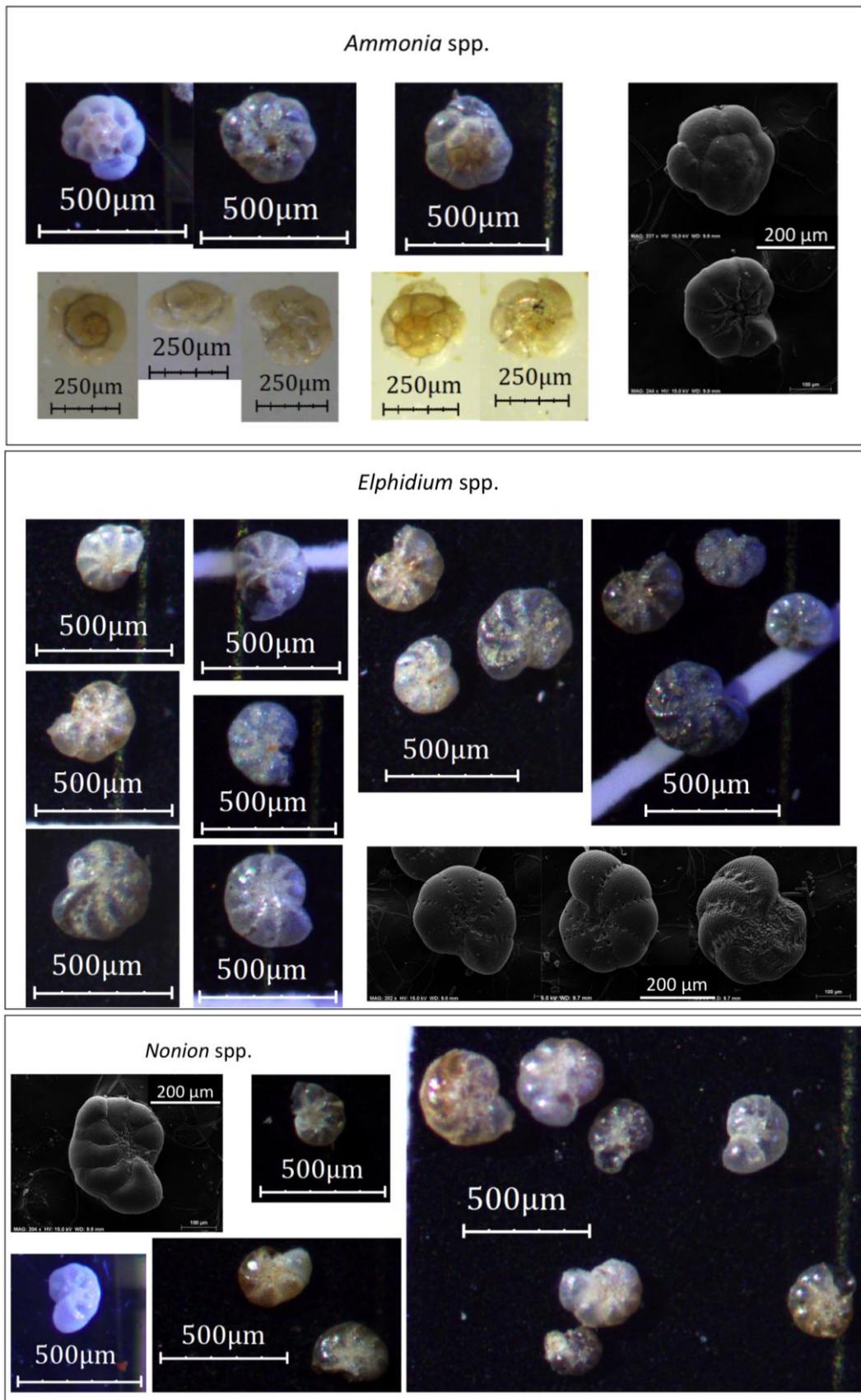


Figure A19 – Foraminifères rencontrés dans les carottes GC7 et GC15. Photos prises au binoculaire et au MEB, en utilisant des grossissements variables (voir échelle sur chaque photo).

ANNEXE 20 : RÉSULTATS DU COMPTAGE DES FORAMINIFÈRES

Tableau A20 – Résultats des comptages réalisés sur les carottes GC7 et GC15. Les niveaux supposés hypoxiques (pics majeurs et mineurs) sont en orange.

	GC7-1				GC7-2															
	Ech. 27		42		4-5			15-16		29-30	36-37	37-38		54-55	66-67	68-69	82-83	107-108		
	150 µm	250 µm	150 µm	250 µm	63 µm	150 µm	250 µm	150 µm	250 µm	150 µm	150 µm	150 µm	250 µm	150 µm	150 µm	150 µm	150 µm	150 µm	250 µm	
<i>Ammonia</i> spp.	12	17	6	0	2	59	27	25	20	13	32	31	26	49	198	6	57	6	0	
<i>Elphidium</i> spp.	1	0	0	0	0	1	0	0	0			0	0		1	0		0	0	
<i>Nonion</i> spp.	0	4	0	0		0	0	1	1		1	0	0			0	1	0	0	
Autre	1		0	0		0	0	0	0			0	0			0		0	0	
Cassé	1	0	0	0		3	0	2	0			0	0			0		0	0	
Juvénile	2	0	3	0		3	0	1	0	0	3	6	0		1	0		0	0	
Total	17	21	9	0	2	66	27	29	21	13	36	37	26	49	200	6	58	6	0	

	GC15-1							GC15-2				
	Ech. 19	23			33-34			46-47	62-63	64-65	66-67	86-87
	150 µm	63 µm	150 µm	250 µm	63 µm	150 µm	250 µm	150 µm				
<i>Ammonia</i> spp.	184	40	170	140	49	193	37	147	58	182	189	190
<i>Elphidium</i> spp.	3	4	11	4	0	4	0	0	1	3	0	3
<i>Nonion</i> spp.	11	6	19	4	1	3	0	1	1	14	5	7
Autre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cassé	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0
Juvénile	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0
Total	199	50	200	151	50	200	37	151	60	200	194	200

ANNEXE 21 : RÉSULTATS DE L'INDICE A-E

Tableau A21-1 – Résultats du calcul de l'indice A-E à partir des comptages du genre *Ammonia* et *Elphidium* pour différents échantillons de la carotte GC7. Le COT correspond au carbone organique total.

	Numéro de l'échantillon	Profondeur (cm)	COT (%)	<i>Ammonia</i>	<i>Elphidium</i>	Nombre foram total	Indice A-E
GC7-1	27	28,5	4,4	12	1	17	92
	42	44	4,0	6	0	9	100
GC7-2	4-5	101,5	3,3	59	1	66	98
	15-16	112,5	5,1	25	0	29	100
	29-30	126,5	3,3	13	0	13	100
	36-37	133,5	4,5	32	0	36	100
	37-38	134,5	5,1	31	0	37	100
	54-55	151,5	3,6	49	0	49	100
	66-67	163,5	3,3	198	1	200	99
	68-69	165,5	3,1	6	0	6	100
	82-83	179,5	4,1	57	0	58	100
	107-108	204,5	4,2	6	0	6	100

Tableau A21-2 – Résultats du calcul de l'indice A-E à partir des comptages du genre *Ammonia* et *Elphidium* pour différents échantillons de la carotte GC15. Le COT correspond au carbone organique total.

	Numéro de l'échantillon	Profondeur (cm)	COT (%)	<i>Ammonia</i>	<i>Elphidium</i>	Nombre foram total	Indice A-E
GC15-1	19	43	4,8	184	3	199	98
	23	51	3,5	170	11	200	94
GC15-2	33-34	134	2,9	193	4	200	98
	46-47	147,5	2,7	147	0	151	100
	62-63	163,5	5,3	58	1	60	98
	64-65	165,5	4,9	182	3	200	98
	66-67	167,5	3,5	189	0	194	100
	86-87	187,5	2,2	190	3	200	98