

Les sédiments métallifères des fosses Atlantis II, Néréus et Commission I de la mer Rouge. Campagne MD 29 du *Marion Dufresne* (1981). Collections Lithothèque marine du Muséum.

Pierre CLÉMENT & Pierre-Jean GIANNESINI

Laboratoire de Géologie, CNRS-ESA 7073, Muséum national d'Histoire naturelle, 43 rue de Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)

Clément P. & Giannesini P.-J. 1998. — Les sédiments métallifères des fosses Atlantis II, Néréus et Commission I de la mer Rouge. Campagne MD 29 du *Marion Dufresne* (1981). Collections Lithothèque marine du Muséum. *Geodiversitas* 20 (2) : 153-228.

RÉSUMÉ

Les carottages effectués dans les fosses de la zone centrale du rift de la mer Rouge (Atlantis II, Néréus et Commission I) ont prélevé sur le socle basaltique des séries sédimentaires métallifères d'âge Holo-Pléistocène. Les phases minérales principales, cristallisées et amorphes, de ces sédiments sont décrites dans leur contexte lithologique et la répartition verticale des faciès qu'elles caractérisent est comparée à la séquence lithologique de référence établie par Backer & Richter en 1973. L'analyse géochimique de certains éléments majeurs (Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb et Zn) a permis de mieux définir les phases porteuses de ces éléments. À titre d'hypothèse, le litage à différentes échelles (métrique et centimétrique, voire même millimétrique) est mis en relation avec les phénomènes de stratification et d'homogénéisation des saumures qui tapissent le fond de ces fosses, ainsi qu'avec les fluctuations bathymétriques des interfaces hydrologiques.

MOTS CLÉS

mer Rouge,
fosses,
sédiments métallifères,
litages,
saumures,
oxy-hydroxydes,
sulfures,
sulfates,
carbonates,
silicates de néoformation.

ABSTRACT

The metalliferous sediments from different deeps of the Red Sea (Atlantis II, Nereus and Commission I) collected during the Leg 29 of the Marion Dufresne (1981). Collections of the marine core repository of the Muséum national d'Histoire naturelle. During the Leg 29 of the Marion Dufresne (1981), thirty-four piston cores were collected in the metalliferous sediments deeps of the Central Rift Valley of the Red Sea (Atlantis II, Nereus and Commission I). The main amorphous or crystallized minerals from these sediments are recognized and permit proposing a vertical distribution of sedimentological facies in regard to lithological sequences of Backer & Richter (1973). A chemical analysis of Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb and Zn is used to identify the origin of these major elements. Metric, centimetric and even millimetric bedding of deposits is related to stratification and homogenization processes within the hot brines pool.

KEY WORDS

Red Sea,
deeps,
metalliferous sediments,
beddings,
hot brines,
oxy-hydroxydes,
sulphides,
sulphates,
carbonates,
authigenic silicates.

HISTORIQUE ET OBJECTIFS

Le rift de la mer Rouge, dont la formation remonte au Miocène inférieur (Hall *et al.* 1977), est jalonné de fosses (Fig. 1) dont l'hydrologie est caractérisée pour certaines d'entre elles (Atlantis II, Néréus) par une stratification de saumures chaudes correspondant à un lessivage des dépôts évaporitiques messiniens qui bordent l'axe du rift (Craig 1966 ; Schoell & Faber 1978). Le socle basaltique de ces fosses est soumis à une activité hydrothermale qui entretient l'anomalie thermique des saumures et leur enrichissement en métaux dissous. Il est recouvert d'une faible épaisseur de sédiments (0 à 50 m) dont l'âge de la base est Holo-Pléistocène. Il s'agit d'une stratification de dépôts métallifères d'origine hydrothermale (à oxydes et/ou à sulfures) et de carbonates pélagiques et détritiques caractérisant la sédimentation normale de la mer Rouge.

En 1965, un premier échantillonnage des dépôts minéralisés dans une fosse à saumures chaudes (Atlantis II) a été réalisé par l'*Atlantis* (Miller *et al.* 1966). L'intérêt suscité par cette découverte a été tel que, depuis lors, de nombreuses campagnes océanographiques ont permis de reconnaître et d'inventorier de nouvelles fosses minéralisées s'échelonnant le long de la zone axiale, et d'échantillonner à la fois les sédiments métallifères et les saumures qui leur étaient parfois associés. Parmi toutes les études effectuées, il faut retenir plus particulièrement celles de Backer & Richter (1973) qui ont établi la première synthèse lithostratigraphique relative aux corps sédimentaires minéralisés de la fosse Atlantis II (Fig. 2). Les horizons lithologiques caractéristiques ont été définis à la suite de l'inventaire des principaux faciès (pélagiques et détritiques, oxyhydroxydes, sulfures, sulfates, carbonates et silicates), et confirmés par Backer en 1976, alors que l'intérêt minier devenait évident compte tenu des concentrations en métaux comme le Fe, Zn, Cu, Pb, Mn, Ag, Au et Cd.

Avec cette double préoccupation (minière et lithostratigraphique), la campagne MD 29 du *Marion Dufresne* (Fig. 1) avait pour objectifs principaux d'étudier :

1. Les dépôts métallifères de la fosse Atlantis II.
 - Identification des différents faciès : leur réparti-

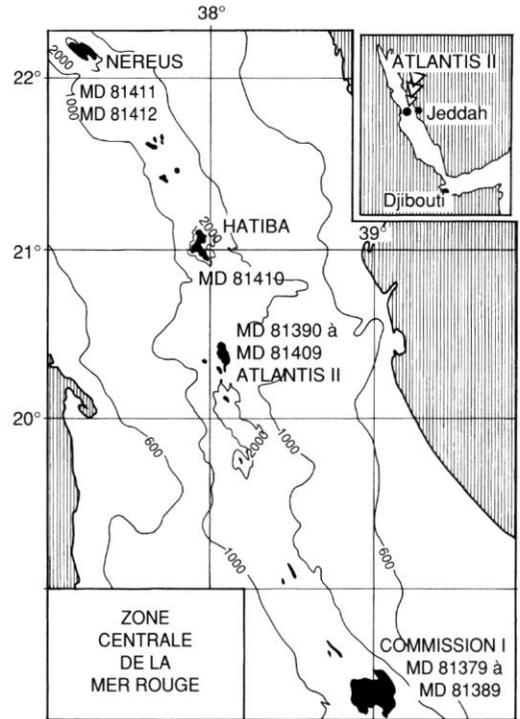


Fig. 1. — Carte bathymétrique simplifiée de la zone centrale de la mer Rouge. Sites de carottages dans les fosses Néréus, Hatiba, Atlantis II et Commission I (campagne MD 29, 1981).

tion verticale et la comparaison avec la zonation établie par Backer & Richter (1973) ; leur répartition horizontale sur les différentes morphostructures de la fosse (bassins, seuils, bordures).

- Études géochimiques et évaluation des teneurs en métaux des différentes unités métallifères identifiées.

2. Les produits de la sédimentation normale de la mer Rouge, pélagiques et détritiques.

- Prélèvements hors fosse métallifère Atlantis II (faciès de bordure), donnant la référence de cette sédimentation normale.

- Prélèvements dans d'autres fosses possédant (Néréus) ou ne possédant pas (Commission I) de saumures.

Le Laboratoire de Géologie du Muséum avait pour charge l'étude détaillée de la lithologie et de la biostratigraphie des séries sédimentaires, niveau par niveau, permettant la constitution

BASSINS NORD, OUEST ET EST		BASSIN SUD-OUEST	
AM	AMORPHOUS SILICATIC ZONE Silicates de fer amorphes Sulfures 3-4 m	SAM	SULFIDIC-AMORPHOUS SILICATIC ZONE Silicates de fer amorphes Sulfures < 5 m
Su 2	UPPER SULFIDIC ZONE Sulfures Silicates ferrifères Sulfates 6 m	OAN	OXIDIC-ANHYDRITIC ZONE Brèches Anhydrite 0-8 m
CO	CENTRAL OXIDIC ZONE Oxydes de fer et de manganèse 1-11 m	SOAN	SULFIDIC-OXIDIC ANHYDRITIC ZONE 2-5 m
Su 1	LOWER SULFIDIC ZONE Sulfures - Sulfates Silicates ferrifères Carbonates 10 000 ans 25-4 m	CO	
DOP	DETRITICAL-OXIDIC-PYRITIC ZONE Carbonates Silicates détritiques Sulfures Oxydes 25 000 ans 13-6 m		

FIG. 2. — Séquence lithostratigraphique des sédiments métallifères de la fosse Atlantis II. D'après Backer & Richter (1973).

d'une base de données précise utilisable comme guide pour un échantillonnage plus spécifique. Il s'agissait à la fois d'identifier les différents faciès rencontrés, et de préciser leurs caractéristiques physiques (densité, teneurs en eau et en sels) et géochimiques (éléments majeurs : Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb, Zn). L'objet de l'étude était de définir les unités lithologiques, métallifères ou non, représentatives des fosses et de leurs différents secteurs.

MÉTHODES ET ÉCHANTILLONNAGE

Trente-quatre carottes ont été prélevées par carottage à piston grand diamètre (100 mm) : vingt carottages se sont déroulés dans la fosse Atlantis II (Fig. 3), onze dans Commission I, deux dans Néréus, et un dans Hatiba. Deux carottiers boîte grande section (1 m²) de type SIPAN ont été mis en œuvre à proximité de Atlantis II, et ont été accompagnés de prises de vues sous-marines.

Le tableau 1 donne les principales caractéristiques de ces prélèvements, dont les positions sont reportées sur les figures 1 et 3. Le repérage des sites, sur ces zones de faible superficie, a nécessité systématiquement une reconnaissance bathymétrique par de courts profils orientés grossièrement est-ouest, de manière à bien délimiter, en particulier pour Atlantis II, les différentes morphostructures. Les profondeurs, corrigées selon les tables de Matthews, ont permis le recalage sur les cartes bathymétriques existantes, tandis que la position du navire était donnée par le système de navigation satellitaire. Avec ce double système de repérage, la précision de position a été estimée à un demi-mille. Enfin, l'utilisation d'un pinger pour l'approche du fond a été nécessaire, surtout en présence des saumures dont les différences de densité ont joué le rôle de réflecteurs.

LES CAROTTAGES

L'utilisation d'un carottier à piston dans une zone de faible épaisseur sédimentaire a nécessité des réglages délicats de hauteur de chute du carottier et de longueur de tubes (celle-ci devant être inférieure à cette épaisseur) de manière à éviter les torsions et les pistonages.

Quelques carottages ont cependant atteint et échantillonné le basalte (MD 81384, 81395, 81398, 81400, 81401, 81403, 81406, 81409), provoquant dans tous les cas l'écrasement de l'ogive et parfois sa perte et/ou la torsion des tubes de carottage. Les anomalies observées dans la série sédimentaire, consécutives à l'impact d'un carottier sur un fond dur (basalte, niveaux compactés, sables et graviers) sont connues et ont été répertoriées à partir des 517 carottages Kullenberg effectués à ce jour par le Laboratoire de Géologie du Muséum. Il s'agit :

- de figures concaves dues à un pistonage ;
- d'étirement vertical du sédiment faisant penser à des structures dites en « cheminée » (exemple : base de la carotte MD 81399) ;
- de mélange de faciès ;
- de ruptures dans la série sédimentaire au niveau des variations brusques de la cohésion texturale (changements de faciès), créant des vides remplis d'eau de mer à l'origine d'aquifères artificiels ;
- de présence de débris d'ogive ou de plastique dans le sédiment.

TABLEAU 1. — Stations de prélèvements (extrait de « Geocores », Caulet *et al.* 1992). **LEG**, campagne MD 29 du *Marion Dufresne*. **ECHANT**, échantillon : **GS**, carottier Kullenberg ; **SI**, carottier boîte de 1 m² (SIPAN) ; **CS**, caméra sous-marine ; **ST**, sites des stations : **1-11**, fosse Commission I ; **12-33**, fosse Atlantis II et environs ouest ; **34**, fosse Hatiba ; **35, 36**, fosse Néréus ; **LAT**, latitude nord ; **LONG**, longitude est ; **MAR**, carré de Marsden ; **PROF**, profondeur en mètres ; **LCAR**, longueur de la carotte en centimètres ; **LPVD** pour les carottages (GS et SI), longueur du contrepois en centimètres ; pour les prises de vue sous-marines (CS), nombres de photographies.

FOSSÉS	LEG	ECHANT	ST	DATE	LAT	LONG	MAR	PROF	LCAR	LPVD
COMMISSION I	MD 29	GS 810379	1	181081	19.157	36.504	69	1725	87	15
	MD 29	GS 810380	2	181081	19.159	38.511	69	1910	1490	0
	MD 29	GS 810381	3	181081	19.165	38.522	69	1910	1650	0
	MD 29	GS 810382	4	181081	19.216	38.544	69	2030	1644	42
	MD 29	GS 810383	5	191081	19.186	38.576	69	2075	1450	0
	MD 29	GS 810384	6	191081	19.206	38.582	69	2220	15	0
	MD 29	GS 810385	7	191081	19.233	39.064	69	1830	900	0
	MD 29	GS 810386	8	191081	19.251	39.041	69	1900	1130	0
	MD 29	GS 810387	9	191081	19.250	39.028	69	1898	1660	57
	MD 29	GS 810388	10	201081	19.173	38.564	69	2108	1370	0
	MD 29	GS 810389	11	201081	19.145	38.535	69	1915	1111	0
ATLANTIS II	MD 29	GS 810390	12	201081	21.201	38.061	105	1900	885	65
	MD 29	GS 810391	13	211081	21.196	38.050	105	2045	1630	110
	MD 29	GS 810392	14	211081	21.199	38.057	105	2152	1275	50
	MD 29	GS 810393	15	211081	21.206	38.049	105	2160	103	56
	MD 29	GS 810394	16	211081	21.201	38.067	105	1925	530	26
	MD 29	GS 810395	17	211081	21.220	38.062	105	2050	575	70
	MD 29	GS 810396	18	211081	21.222	38.035	105	2120	1270	97
	MD 29	GS 810397	19	221081	21.214	38.036	105	2140	1200	95
	MD 29	GS 810398	20	221081	21.221	38.042	105	2120	1160	83
	MD 29	GS 810399	21	221081	21.222	38.040	105	2125	1075	110
	MD 29	GS 810400	22	231081	21.215	38.048	105	2170	0	100
	MD 29	GS 810401	23	231081	21.219	38.055	105	2060	0	100
	MD 29	GS 810402	24	231081	21.218	38.057	105	2070	750	96
	MD 29	GS 810403	25	231081	21.222	38.057	105	2070	1550	96
	MD 29	GS 810404	26	231081	21.241	38.042	105	2090	880	96
	MD 29	GS 810405	27	231081	21.248	38.036	105	2090	900	0
	MD 29	GS 810406	28	241081	21.264	38.029	105	1950	30	65
	MD 29	GS 810407	29	241081	21.260	38.042	105	2080	830	100
	MD 29	GS 810408	30	241081	21.215	38.016	105	2000	525	100
	MD 29	GS 810409	31	241081	21.201	38.050	105	2170	470	100
MD 29	CS 810025	32	251081	21.369	38.005	105	1535	0	372	
MD 29	SI 810027	32	251081	21.369	38.005	105	1535	70	0	
MD 29	SI 810028	33	251081	21.420	37.560	105	1700	100	0	
MD 29	CS 810026	33	251081	21.240	37.560	105	1700	0	358	
HATIBA	MD 29	GS 810410	34	251081	22.027	37.527	105	2180	300	0
NÉRÉUS	MD 29	GS 810411	35	261081	23.110	37.150	105	2390	0	50
	MD 29	GS 810412	36	261081	23.120	37.140	105	2355	300	60

L'une ou plusieurs de ces anomalies peuvent n'affecter qu'une partie de la colonne sédimentaire qui reste donc en partie exploitable.

D'autre part, l'utilisation d'un câble en acier pour le carottage provoque un phénomène connu et inévitable de rappel élastique entraînant un étirement du matériel (TAAF 1980). Cette dilatation mécanique est fréquemment observée au cours

des carottages à piston, de même qu'il n'est pas exclu qu'il y ait introduction d'eau de mer à la base de la série sédimentaire (Urvois 1987).

LES OBSERVATIONS À BORD

La fréquence des opérations, ainsi que la nature complexe du matériel récolté, n'ont pas permis d'effectuer, au cours de la campagne, les descrip-

tions visuelles détaillées habituelles, de même que les observations au microscope optique destinées à dresser le « log lithostratigraphique » de chaque série prélevée. Une description rapide a cependant été faite à bord pour tenter d'identifier les différents faciès rencontrés, par référence aux travaux en cours (Thisse 1982).

STOCKAGE

Compte tenu de l'instabilité de certaines phases minérales (sulfurées et argileuses), il a été nécessaire de maintenir sous atmosphère neutre (azote gazeux) le matériel récolté, au moins jusqu'à l'échantillonnage réalisé plus tard en laboratoire. L'ensemble de ces prélèvements a été stocké à basse température et intégré à la lithothèque marine du Muséum (Laboratoire de Géologie).

SÉLECTION DES CAROTTES DESTINÉES AUX ÉTUDES EN LABORATOIRE (Fig. 3)

L'examen lithostratigraphique préliminaire des trente-six carottes prélevées a montré qu'il n'était pas possible d'envisager, dans un premier temps, un dépouillement systématique de la totalité de la collection, en raison de la complexité des sédiments. Il a donc fallu effectuer une sélection, la plus représentative possible, de ces séries sédimentaires, de manière à définir des séries-types pouvant être extrapolées à l'ensemble des prélèvements. Sur la base des premières observations effectuées à bord, sept prélèvements ont été sélectionnés en fonction :

- de leur répartition géographique ;
- de leur longueur et de la diversité des unités traversées ;
- des problèmes de pistonnage et des perturbations du sédiment liées au carottage, plus particulièrement fréquents dans la fosse Atlantis II.

Fosse Atlantis II

- MD 81399 : 2125 m, bassin ouest (BO).
- MD 81403 : 2070 m, bassin est (BE).
- MD 81404 : 2090 m, Nord Passage (NP).
- MD 81409 : 2170 m, bassin sud-ouest (BSO).
- MD 81408 : 2000 m, hors fosse, à l'ouest, bassin de Wando (BW).

Fosse Commission I

- MD 81388 : 2108 m.

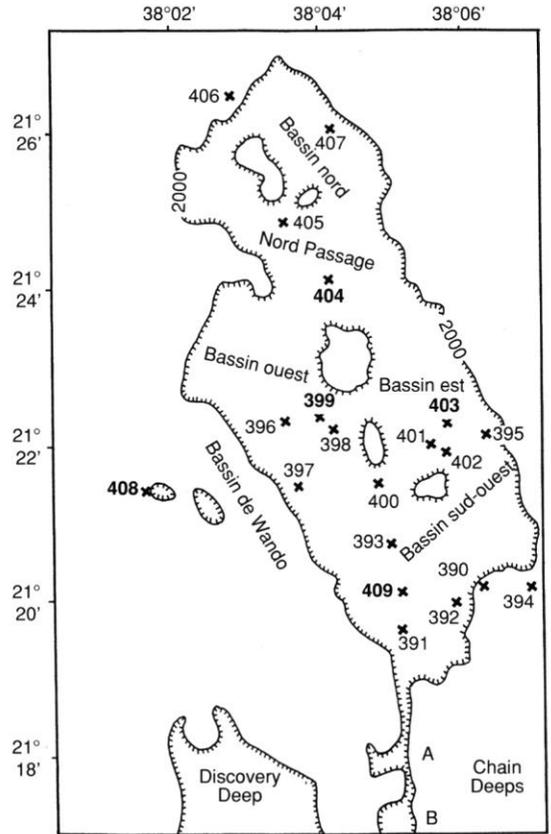


FIG. 3. — Sites de carottage dans la fosse Atlantis II.

Fosse Néréus (Bassin est) MD 81412 : 2355 m.

Avant tout échantillonnage, il s'est avéré indispensable, vu la stratification multi-échelle des niveaux (allant du millimètre au mètre) et l'instabilité des couleurs de certains sédiments, d'effectuer la couverture macrophotographique de l'ensemble des carottes. Les « logs » photo, établis par montage de tirages papier (réduction de un tiers), ont ainsi permis de positionner avec précision les points de prélèvements et d'archiver les couleurs initiales des sédiments.

L'élaboration d'un protocole analytique (résumé dans l'annexe 1) a été long ; il devait à la fois tenir compte :

- des faibles prises d'échantillon dans les niveaux d'épaisseur millimétrique ;

- des teneurs élevées en eau et en sels dissous, nécessitant le dessalage systématique des sédiments avant toute analyse ;
- de l'importance de la phase amorphe dans certains niveaux, non identifiable en microscopie optique ;
- de la dissolution sélective (à HCl et HNO₃) de certains minéraux, et de la fragilité des composants argileux et amorphes aux attaques acides ;
- de l'instabilité des phases réduites en milieu ambiant, ayant nécessité la conservation des échantillons à analyser sous vide ;
- de l'importance de la fraction de petite taille (parfois plus de 75 % inférieure à 2 µm).

Les techniques mises en œuvre ont fait appel à :

- l'observation optique sur frottis au microscope et sur la fraction supérieure à 20 µm à la loupe binoculaire ;
- la microscopie à balayage (MEB) sur le matériel brut et la fraction granulométrique supérieure à 20 µm, avec sonde X attelée ;
- la calcimétrie, pour connaître les taux de CaCO₃ des niveaux carbonatés ;
- la diffraction X (sur poudre et fraction argileuse orientée) pour l'identification des phases cristallisées ;
- la spectrométrie d'absorption dans l'infrarouge (IR) sur l'échantillon brut, pour la détermination des phases amorphes et argileuses (cette méthode n'a pu être mise en œuvre pour la carotte MD 81388) ;
- la spectrométrie d'absorption atomique (AA), pour le dosage des éléments majeurs (Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb, Zn) solubilisés par double attaque acide HCl puis HNO₃.

Les mesures physiques (teneurs en eau, en sels dissous, porosité, densité...) ont été obtenues de manière pondérale sur chaque niveau.

Ces techniques sont décrites dans l'annexe 2.

RÉSULTATS : LITHOLOGIE ET MINÉRALOGIE

La description des différents faciès identifiés (le plus souvent en mélange dans les niveaux étudiés), leur composition, ainsi que leurs distributions verticale et horizontale, sont résumées dans les tableaux 2 à 5. Les annexes 6 (microscope

optique), 7 (diffraction X) et 8 (spectrométrie infrarouge) donnent pour chaque carotte la composition minéralogique des niveaux étudiés. Les logs synthétiques des séries étudiées figurent dans l'annexe 3. Les caractéristiques minéralogiques ayant trait à chacun des composants majeurs de ces faciès font l'objet des commentaires ci-dessous.

LES FACIÈS À OXY-HYDROXYDES (Tableau 2)

La goethite

C'est l'hydroxyde le plus répandu dans l'ensemble des séries sédimentaires. Il présente plusieurs faciès minéralogiques suivant son degré de cristallinité, qui apparaît indépendant de l'âge du sédiment.

Dans les niveaux ocre ou orange (teneurs en goethite inférieure à 95 %), ce minéral est bien cristallisé. Il se présente sous forme de cristaux micro-aciculaires de taille inférieure à 2 µm, s'organisant parfois en sphérules de 5 à 10 µm (Fig. 4) ou sous forme cryptocristalline. Plus rarement, cette goethite bien cristallisée peut former des plaquettes indurées (faciès aciculaires) associées à de la manganite. L'analyse infrarouge a montré que cette goethite pouvait être fortement hydratée (en particulier dans son faciès cryptocristallin), s'apparentant en ce sens à de la limonite.

Dans les niveaux bruns à rouges, la goethite peut être bien cristallisée (structure aciculaire fibroradiée), mais elle est le plus souvent mal cristallisée. Il en est de même dans les unités silicatées supérieures (MD 81403, MD 81404) où elle est



Fig. 4. — Agrégats aciculaires de goethite. Fosse Atlantis II, bassin ouest, MD 81399, 502 cm. Échelle : 10 µm.

TABLEAU 2. — Les oxy-hydroxydes : répartition géographique des composants majeurs (en gras) ; en italique sont indiquées les phases minérales associées.

COMPOSANTS MAJEURS	ATLANTIS II MD 81399/409/403/404/408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Goethite Oxy-hydroxydes de fer amorphes	Toute la fosse : – lits bien individualisés de taille dm de couleur ocre (goethite pure), – dans les zones finement litées (mm) en alternance avec les niveaux carbonatés, – à la base de toutes les séries en alternance ou en mélange avec les dépôts calcaires, – dans la zone silicatée amorphe (goethite moyennement abondante).	En litage dans les niveaux bruns et à la base, associés aux boues carbonatées.	En alternance avec les lits carbonatés.
<i>Hématite</i> <i>Manganite</i>			
Hématite	Dans le bassin W : (au contact du basalte) en bancs rouges bien marqués. Dans les bassins W et SW : en association avec la goethite. Hors fosse : colore les carbonates en rouge.	Non détectées.	Deux lits intercalés dans la série carbonatée.
<i>Goethite</i>			
Lépidocrocite	Dans les bassins W, SW, E : – en lits rares de couleur orange dans les niveaux à goethite (MD 81403) ou carbonatés (MD 81399), – dans la zone AM de MD 81409.	Non détectée.	Non détectée.
Manganite <i>Todorokite</i> <i>Argiles</i> <i>Manganosidérite</i>	Relativement rare ; associée ou en alternance avec les oxy-hydroxydes de fer.	Rares. Composés amorphes dans les niveaux noirs.	Présents dans la zone litée supérieure.
<i>Dioxyde de Mn amorphe</i>			

associée à des composés amorphes dont elle semble dériver par cristallisation.

Les oxy-hydroxydes de fer amorphes

Ils ne peuvent être détectés que par spectrométrie IR. Étant souvent associés aux silicates amorphes et à la goethite mal cristallisée, leur identification au microscope optique est particulièrement difficile. Ils apparaissent sous forme de globules bruns à rouges dont le diamètre est de l'ordre de quelques microns, s'agglomérant en amas, et imprégnant les autres particules. Dans les séries étudiées, il semble que c'est dans Atlantis II qu'ils

soient les plus rares ; ils sont fréquents hors fosse (bassin de Wando, MD 81408), et abondants dans les fosses Commission I (MD 81388) et Néréus (MD 81412), avec les premiers dépôts carbonatés.

L'hématite

Elle se présente sous deux formes.

1. Mal cristallisée, en faible quantité et toujours associée à la goethite : difficilement identifiable au microscope optique et par spectrométrie infrarouge (seule la diffraction X lève l'ambiguïté), elle est constituée de globules de grande taille

fortement colorés en brun-rouge (bassin ouest, MD 81399 et bassin sud-ouest, MD 81409).

2. Très bien cristallisée lorsque c'est un composant majeur (près de 90 % du sédiment) dans les bancs de couleur rouge brique (MD 81408, MD 81409, MD 81412), elle est constituée alors de grains de petite taille (quelques microns) ayant une forme parfaitement rhomboédrique lorsque cette taille est supérieure à 10 µm (MD 81408).

La lépidocrocite

Uniquement présente dans la fosse Atlantis II, c'est un hydroxyde relativement rare pouvant constituer quelques lits de couleur orange lorsqu'il est le composant majeur. Il est souvent bien



FIG. 5. — Assemblage de cristaux prismatiques de manganite, constituant des plaquettes noires indurées dans les niveaux manganésifères de la carotte MD 81403 (Atlantis II, bassin est). Échelle : 10 µm.



FIG. 6. — Cristaux aciculaires de manganite. Fosse Atlantis II, bassin est, MD 81403, 586 cm. Échelle : 10 µm.

cristallisé, excepté dans la zone AM (*Amorphous-Silicate Zone*), et se présente sous forme de globules jaunes de taille inférieure à 1 µm, avec un faciès voisin de la goethite cryptocristalline.

La manganite

Les lits manganésifères, de couleur noire (MD 81399, MD 81403, MD 81408), sont constitués de manganite pure (environ 100 % du sédiment), parfois associée à de la goethite et/ou de la todorokite. La manganite présente deux faciès cristallins pouvant coexister :

– cristaux noirs prismatiques et massifs (taille supérieure à 100 µm), identiques à ceux de la todorokite (Fig. 5) ;

– sphérules de couleur brun foncé, d'une taille d'environ 10 µm, formées de fines baguettes ou d'acicules disposés en bouquet (Fig. 6).

La manganite forme aussi de fines plaquettes indurées constituées d'un assemblage de cristaux aciculaires et prismatiques (bassin ouest, MD 81399 et bassin est, MD 81403).

L'étude à la microsonde électronique (Camebax), l'analyse infrarouge et l'observation de lames minces polies de certains niveaux à oxydes de manganèse de la carotte MD 81399 (230 cm et 270 cm) montrent que ces oxydes sont étroitement associés aux reliques carbonatées. Ces reliques contiennent non seulement du fer et du manganèse, mais aussi du zinc et du cuivre (0,4 à 0,5 %), caractéristique géochimique qui s'est transmise aux oxydes (Perseil comm. écrite).

Le dioxyde de manganèse amorphe

L'analyse infrarouge a permis de détecter ce composé amorphe assez rare (MD 81399, MD 81403, MD 81412 et vraisemblablement MD 81388), toujours associé à de la goethite et de la manganosidérite. Il se présente sous forme de sphérules d'aspect granuleux de couleur brun foncé, pouvant constituer près de 50 % du sédiment (MD 81403).

LES FACIÈS À SULFURES (Tableau 3)

Les sulfures les plus fréquents sont la pyrite et la blende, qui se trouvent toujours associées ; il n'a pas été observé, comme cela a été décrit par Backer & Richter (1973), de faciès monosulfuré (à pyrite seule).

TABLEAU 3. — Les sulfures : répartition géographique des composants majeurs (en gras) ; en italique sont indiquée les phases minérales associées.

COMPOSANTS MAJEURS	ATLANTIS II MD 81399/409/403/404/408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Pyrite Blende	Dans toute la fosse. Quelques traces hors fosse (MD 81408).	Absents.	Présents à la base de la série.
<i>Chalcopyrite</i> <i>Sulfures amorphes</i> <i>Glauconie</i> <i>Manganosidérite</i> <i>Anhydrite, Gypse</i>	Disséminés dans l'unité silicatée récente (zone AM), se concentrant à la base. En bancs d'échelle dm à cm, généralement intercalés dans des unités silicatées.		

Ces deux minéraux se détectent bien par diffraction X, bien que le pic principal de la pyrite à 1,63 soit généralement moins marqué que celui à 2,70, et que ces deux pics se superposent à ceux de la blende. En spectrométrie infrarouge, la blende absorbe dans des fréquences trop basses pour être identifiée. En microscopie optique, seules les formes les plus grandes peuvent être observées, la pyrite en particulier sur les résidus d'attaque HCl. Par contre, le MEB et la sonde X attelée ont permis l'observation détaillée de ces minéraux, ainsi que leur composition chimique.

La pyrite

Dans les boues silicatées récentes (*Amorphous-Silicate Zone*), ce minéral se présente sous forme de petits grains cubiques (quelques microns), ayant tendance à s'agglomérer vers la base (Fig. 7). Dans cette unité, les comptages effectués à la sonde X indiquent que la pyrite n'a jamais sa composition stoechiométrique¹ ($Fe/S = 1,2$ avec des teneurs variables en Cu et Zn). Dans les bancs sulfurés plus marqués de couleur noire, la taille des cristaux de pyrite devient plus importante : il s'agit de cristaux ou d'amas cristallins de taille supérieure à 15 μm , imprégnant souvent les organismes siliceux (Fig. 8) et ayant sa composition stoechiométrique ($Fe/S = 0,86$).

Ce sulfure est bien cristallisé sous sa forme cubique, plus rarement tronqué en octaèdre. Il est très bien conservé et s'altère exceptionnellement en limonite et goéthite (Nord Passage, MD 81404).

1. Composition stoechiométrique : $Fe/S = 0,87$.

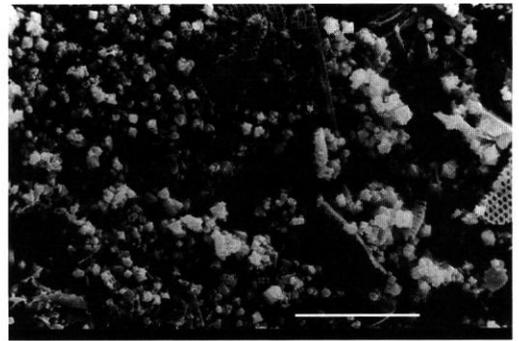


FIG. 7. — Mélange de petits cristaux de pyrite et de chalcopyrite, dans un lit sulfuré à silice biogène (diatomées et radiolaires). Fosse Atlantis II, Nord Passage, MD 81404, 585 cm. Échelle : 10 μm .

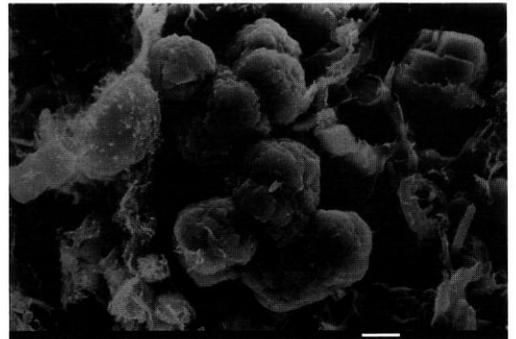


FIG. 8. — Amas subsphériques polycristallins de pyrite, avec 44 % de fer et 51 % de soufre (Sonde X). Fosse Atlantis II, bassin est, MD 81403, 883 cm. Échelle : 10 μm .

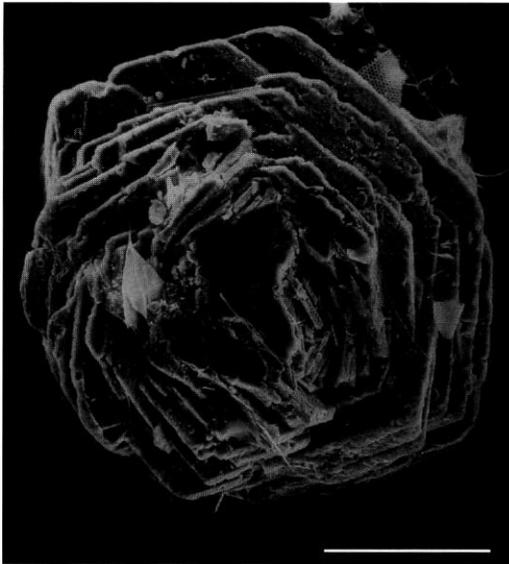


FIG. 9. — Cristal de blende à structure lamellaire recouvert de petits grains de silicates de fer. Fosse Atlantis II, bassin ouest, MD 81399, 552 cm. Echelle : 100 μ m.

La blende

Plus abondante et grossière dans les bancs sulfurés noirs qu'à la base de la zone AM (formant des amas de quelques microns), on l'observe bien sur les résidus de tamisage à 20 μ m : il s'agit de gros cristaux plus ou moins automorphes (Fig. 9) dont la taille peut atteindre 500 μ m, ou de grains xénomorphes à aspect alvéolaire figurant vraisemblablement des phénomènes de dissolution.

Les comptages effectués à la sonde X indiquent que ce sulfure n'a jamais sa composition stoechiométrique et qu'il peut contenir jusqu'à 10 % de fer (variété ferrifère : marmatite).

Autres sulfures (Perseil comm. écrite)

L'étude de lames minces polies des niveaux à sulfures de la carotte MD 81404 (Nord Passage), complétée par des analyses en spectrométrie IR et à la microsonde électronique (Camebax), a montré l'existence de chalcopyrite proche du pôle stoechiométrique (CuFeS_2) et d'une population moins importante voisine de la cubanite (CuFeS_3). Les nombreux points intermédiaires indiquent un passage progressif de l'un à l'autre pôle.

LES FACIÈS À SULFATES (Tableau 4)

Les composants principaux sont le gypse et l'anhydrite (pouvant coexister) et, plus accessoirement, la barytine. Le gypse et l'anhydrite se différencient difficilement en spectrométrie infrarouge et au microscope optique (chauffage), mais s'identifient bien à la diffraction X. Ils forment de gros cristaux tabulaires dont la taille est supérieure à 20 μ m, très rarement mâclés, en bouquet ou fer de lance. Excepté dans l'unité de base de la carotte MD 81404 (constituée presque exclusivement d'anhydrite), on les trouve en mélange avec d'autres faciès (sulfurés et silicatés à influence sulfurée).

La barytine est un sulfate assez rare. On la trouve dans les niveaux à influence sulfurée (MD 81399, MD 81403 et MD 81404). Elle se pré-

TABEAU 4. — Les sulfates : répartition géographique des composants majeurs (en gras) ; en italique sont indiquées les phases minérales associées.

COMPOSANTS MAJEURS	ATLANTIS II MD 81399/409/403/404/408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Anhydrite	Dans toute la fosse.	Absents.	Absents.
Gypse	Disséminés ou en amas noduliformes dans des niveaux à influence sulfurée, plus rarement dans les niveaux silicatés.		
<i>Barytine</i>			
<i>Sulfures</i>			
<i>Argiles</i>	Constituent une unité d'échelle dm au Nord Passage (MD 81404).		

TABLEAU 5. — Les carbonates : répartition géographique des composants majeurs (en gras) ; en italique sont indiquées les phases minérales associées.

COMPOSANTS MAJEURS	ATLANTIS II MD 81399/409/403/404/408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Manganosidérite	Abondante dans toute la fosse. Plus rare hors fosse (MD 81408).	Rare.	Rare.
<i>Rhodocrosite</i>	En amas mono- ou polycristallins		
<i>Sidérite</i>	épars dans toute la série.		
<i>Calcite</i>	En niveaux beiges plus ou moins lithifiés, surtout dans les zones silicatées		
<i>Quartz, Feldspaths</i>	en alternance.		
<i>Halite</i>	Sous forme de plaquette et nodules		
<i>Sulfures</i>	surtout dans les zones sulfurées.		
<i>Carbonates biogènes</i>			
Calcite (Nannos et Forams)	Présente dans toute la fosse. Abondante hors fosse. Éparse dans tous les faciès, mais rarement associée aux sulfures.	Abondante dans toute la série.	Rare.
<i>Calcite magnésienne</i>	Abondante à la base des séries,		
<i>Manganosidérite</i>	constituant les marnes de la DOP ou les lits fins des zones litées.		
<i>Quartz, Feldspaths</i>			
<i>Aragonite</i>			
Aragonite	Rare. En lits indurés dans les dépôts carbonatés de la base.	En lits indurés.	Rare.
<i>Calcite</i>			

sente sous forme de sphérules à structure fibro-radiale dont la taille est supérieure à 20 µm. Elle peut apparaître aussi dans des niveaux à oxydes associée à de la goéthite (MD 81404, niveau 390 cm et MD 81403, niveau 1177 cm).

LES FACIÈS CARBONATÉS (Tableau 5)

Les carbonates authigènes

Ces carbonates forment un groupe isomorphe qui se situe entre quatre pôles : ferrifère, manganésifère, calcique et magnésien, avec un taux de substitution du Ca très variable. La série la plus répandue est celle comprise entre les pôles ferrifère (sidérite) et manganésifère (rhodocrosite). Les critères qui ont été retenus pour le rapport Fe/Mn sont : supérieure à 9,2 pour la sidérite, inférieure à 0,1 pour la rhodocrosite, et compris entre 2,4 et 9,2 pour la manganosidérite. Toujours très bien cristallisés, ces carbonates sont identifiés par diffraction X et au MEB grâce aux comptages effectués avec la sonde X ; l'analyse infrarouge ne peut identifier que les tendances manganésifère et ferrifère.

La manganosidérite est de loin le plus répandu de ces carbonates mixtes dans Atlantis II, en faciès pur ou en mélange. Il s'agit, lorsqu'elle est éparse, de cristaux rhomboédriques de quelques microns, devenant coalescents pour former soit des empilements dont la longueur peut atteindre 100 µm, soit des amas polycristallins dont la taille est supérieure à 20 µm (Fig. 10) et qui sont fréquents dans les lits d'épaisseur centimétrique. Plus rarement, mais particulièrement dans les niveaux sulfurés, ces amas s'agglomèrent en plaquettes lithifiées.

En dehors d'une précipitation vraisemblablement directe d'une grande partie de la manganosidérite, ce carbonate peut trouver son origine ou son support de croissance dans des débris carbonatés pélagiques (coccolithes et foraminifères, Fig. 11) ; on observe alors des teneurs en Ca supérieures à 40 %, alors que dans les autres cas elles ne dépassent pas 10 %. Les comptages effectués sur les cristaux de manganosidérite montrent que le rapport Fe/Mn, dans les niveaux à influence réductrice (sulfures, smectites ferreuses)

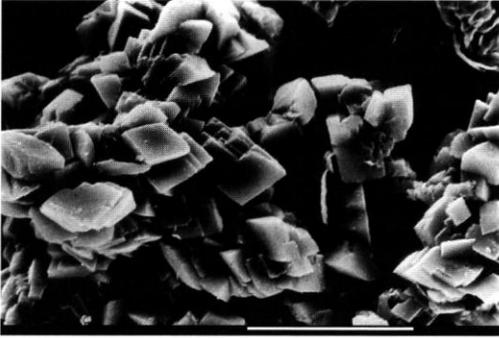


FIG. 10. — Assemblage de cristaux de manganosidérite, avec Fe/Mn voisin de 4,7 (Sonde X). Fosse Atlantis II, Nord Passage, MD 81404, 525 cm. Echelle : 10 µm.



FIG. 11. — Loge de foraminifère avec recrystallisations de manganosidérite. Fosse Atlantis II, bassin est, MD 81403, 648 cm. Echelle : 10 µm.

est relativement élevé (7 à 8), par rapport à ce que l'on observe dans les autres faciès (silicatés ou à oxy-hydroxydes) où il ne dépasse pas 4.

La rhodocrosite et la sidérite sont des minéraux rares. Ils présentent le même faciès que la manganosidérite et semblent se localiser, pour le premier dans les faciès à oxy-hydroxydes et les silicates amorphes (bassin sud-ouest, MD 81409) où il se trouve associé aux oxydes de Mn amorphes, et pour le second dans les sédiments à influence sulfurée.

Les carbonates bioclastiques

Ils correspondent à la sédimentation carbonatée pélagique normale : nannofossiles (coccolithes) et foraminifères. Ces bioclastes sont éparés dans les

faciès minéralisés à oxy-hydroxydes et silicates (mais rares dans les niveaux sulfurés), ce qui indique pour ces faciès un fort taux de sédimentation. Abondants vers la base des séries et en litages, ils montrent souvent un degré élevé de recrystallisation, à mettre en relation avec une fraction « microcarbonate » importante et la présence de calcite magnésienne (détectée par diffraction X).

Dans le bassin de Wando (MD 81408), ces faciès carbonatés subissent un début de diagenèse : du sommet vers la base de la série, les organismes calcaires recrystallisent, deviennent coalescents pour former des plaquettes dont la taille est supérieure à 20 µm, dans lesquelles ils sont difficilement reconnaissables, tandis que le manganèse entre dans le réseau cristallin calcitique, avec des teneurs pouvant atteindre 30 % (voir tableau en annexe 9).

Les niveaux aragonitiques sont rares : ils constituent des lits millimétriques indurés formés de fines baguettes parfois visibles à l'œil nu, et correspondent le plus souvent à des débris de ptéropodes.

LES FACIÈS SILICATÉS DE NÉOFORMATION

Les phases silicatées cristallisées (argiles) et amorphes sont les plus abondantes de la fosse Atlantis II ; elles ont une large répartition horizontale et verticale, bien que rares dans la DOP. Elles témoignent de l'importance de l'hydrothermalisme dans cette fosse.

Les argiles

Deux types d'argiles ont pu être identifiés par diffraction X et spectrométrie infrarouge : les smectites sl (argiles gonflantes mal ou bien cristallisées de couleur brune : montmorillonite ; nontronite ; glauconie mal cristallisée proche en infrarouge des nontronites) et les glauconies ss (argiles vertes bien cristallisées peu aptes au gonflement). Cependant, ces deux méthodes n'ont pas toujours donné des résultats concordants (surtout dans les zones silicatées supérieures, MD 81399 dans le bassin ouest, MD 81403 dans le bassin est, et MD 81409 dans le bassin sud-ouest) comme l'attestent à titre d'exemple les résultats de la carotte MD 81399 (voir tableau

en annexe 10). Ces deux phases minérales peuvent coexister et présentent deux faciès :

1. Un faciès brun-rouge formé de grandes plages à structures entrecroisées, à smectites et/ou glauconie.

2. Un faciès vert ayant une texture spongieuse à glauconie (pouvant s'apparenter à de la céladonite), cristallisant soit en feuillets, soit en globules de taille supérieure à 20 μm , riches en inclusions pyriteuses et composés amorphes (sulfures ?). Ce faciès vert s'observe fréquemment en alternances fines avec de la manganosidérite (MD 81399).

La cristallographie de ces phases argileuses, ainsi que leur répartition spatio-temporelle (Badaut, Blanc & Decarreau 1990) montre que dans la fosse Atlantis II, on trouve à la base des séries une argile de type ferripyrophyllite, surmontée dans les bassins est et ouest d'une nontronite (Fe^{3+}), et dans le bassin sud-ouest d'une smectite ferreuse qui témoigne de conditions plus réductrices dans ce bassin. Les températures de cristallisation de ces argiles (d'après la composition isotopique de l'oxygène) sont de 60 °C pour la nontronite et 130 °C pour la smectite ferreuse, permettant de supposer des températures relativement faibles pour la formation des dépôts métallifères (Decarreau, Badaut & Blanc 1990).

Les silicates amorphes

Ce sont des silicates de fer. Ils sont présents dans toutes les séries étudiées, principalement dans les faciès silicatés argileux rouge sombre (zone AM) et à oxy-hydroxydes, de même que dans les niveaux carbonatés des fosses Hatiba et Commission I. Leur identification s'appuie surtout sur les analyses infrarouges. Au MEB et au microscope optique, il est particulièrement difficile de les différencier, d'une part des composés silicatés mal cristallisés (smectites et glauconie), et d'autre part des oxy-hydroxydes amorphes. Ils se présentent au microscope optique sous forme de globules fortement colorés en jaune et montrent parfois un début de cristallisation. Leur association fréquente avec des smectites mal cristallisées laisse supposer qu'ils constituent le premier stade de cristallisation de ces argiles. Les comptages effectués sur ces composés indiquent des teneurs très variables en Fe et Si, le rapport Si/Fe variant de 1 à 6.

AUTRES FACIÈS

Silicates d'origine détritique

La fraction silicatée héritée est constituée essentiellement de quartz, de feldspaths (plagioclases surtout), de minéraux lourds et d'un cortège argileux composé d'illites, de chlorites, et de kaolinite (plus rare). Il n'existe pas de niveau purement détritique : ces éléments hérités sont souvent associés aux carbonates biogènes, constituant la sédimentation biodétritique normale de la mer Rouge. On les trouve épars dans toutes les séries de l'Atlantis II (plus abondants à leur base : DOP), et le long des colonnes sédimentaires des fosses Hatiba et Commission I où, dans certains niveaux, ils représentent près de 40 % du sédiment.

Cette fraction s'observe bien sur les résidus d'attaques acides (HCl et HNO_3), et ses teneurs peuvent être obtenues de manière pondérale lorsque les niveaux étudiés sont dépourvus de silicates néoformés. De même, sur les refus de tamis à 20 μm , on observe que cette fraction est constituée de quartz (dont certains grains présentent au microscope des caractéristiques d'éolisation), de feldspaths, mais aussi de grands feuillets de type chlorite ou muscovite.

Enfin, il faut noter dans trois carottes la présence, entre 5 et 6,5 m, de verre volcanique rhyolitique non altéré dans des faciès à smectites sl (MD 81399, MD 81403) et des faciès carbonatés (MD 81408).

La silice biogène

Il s'agit essentiellement de diatomées et de radiolaires, plus rarement de silicoflagellés. Ces organismes sont très bien conservés et n'ont été détectés que dans la fosse Atlantis II. Ils n'apparaissent que dans les niveaux sulfurés bien marqués, parfois en forte concentration, tandis que les niveaux carbonatés pélagiques en sont totalement dépourvus.

La conservation de la silice biogène dans ces niveaux entièrement décarbonatés témoignerait de conditions physico-chimiques particulières des saumures : fortes teneurs en silice dissoute et action corrosive sur les particules carbonatées d'origine biodétritique (Anschutz & Blanc 1993).

GÉOCHIMIE

Les éléments tels que Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb et Zn ont été dosés par spectrométrie AA (voir protocole analytique dans l'annexe 2). Ces résultats, ainsi que les teneurs en CaCO_3 , figurent dans l'annexe 5 et sont exprimés par rapport au poids sec dessalé. Ces données sont présentées ci-dessous de manière *synthétique et partielle* (à minéralogie dominante). En effet, l'analyse minéralogique a montré qu'une grande partie des niveaux étudiés en géochimie sont composés souvent d'un mélange de plusieurs faciès, ce qui signifie que ces teneurs sont le reflet de l'importance du mélange des différentes phases minérales porteuses de ces éléments.

LE FER

Le tableau 6 indique les teneurs en fer dans les différents faciès pour chaque carotte.

Les teneurs maximales (70 à 75 %) s'enregistrent dans les niveaux à oxydes purs (goéthite, hématite, lépidocrocite). Dans les faciès silicatés, les teneurs varient entre 25 et 45 %. Elles dépendent à la fois du degré de cristallinité des smectites (plus faibles lorsqu'elles sont bien cristallisées : environ 25 %) et des concentrations en glauconie et manganosidérite.

Dans la fosse Atlantis II, les bancs sulfurés de la base montrent des teneurs bien plus faibles en fer total (15 à 20 %) que l'unité sulfurée supérieure (SU 2 de Backer & Richter 1973) où les composés amorphes perturbent le signal (teneurs comprises entre 25 et 35 %). Par contre, les valeurs du fer lié à la pyrite (de 5 à 15 %) indiquent que c'est à la base de ces séries que l'influence sulfurée est la plus marquée, alors qu'elles sont de l'ordre de 0,5 à 1,5 % dans les faciès sulfurés supérieurs. Les niveaux carbonatés enregistrent les teneurs les plus faibles, entre 2 et 10 %.

Dans les dépôts calcaires hors fosse Atlantis II (MD 81408, MD 81388, MD 81412), les teneurs en fer dépendent essentiellement de la fraction carbonatée en général peu ferrifère (carbonates biogènes) qui dilue les minéraux porteurs : oxy-hydroxydes (goéthite, hématite), silicates amorphes et smectites.

LE MANGANÈSE

Excepté dans les faciès purs à oxy-hydroxydes (manganite, todorokite, dioxyde amorphe) où les teneurs sont de l'ordre de 35 à 50 % (MD 81399, MD 81408), les valeurs mesurées dans les autres niveaux dépendent principalement de l'abondance relative de la manganosidérite et, plus accessoirement, de la rhodocrosite. La manganosidérite en particulier est extrêmement répandue en proportions très variables dans tous les autres faciès : les teneurs en Mn varient de 5 % dans les lits à manganosidérite dominante à 0,5 % dans les niveaux à oxydes de fer et sulfurés où elle a été détectée.

Dans les dépôts calcaires biogènes où les carbonates manganosifères ne sont pas détectés (base de la carotte MD 81408), mais où les teneurs en Mn sont comprises entre 2 et 5 %, cet élément se substitue au Ca des réseaux calcitiques, attestant là un début de diagenèse. Dans la fosse Commission I (MD 81388) où la manganosidérite est un minéral rare, les valeurs élevées (10 à 20 %) des boues carbonatées sont à mettre en relation avec des composés amorphes qui colorent en noir les sédiments.

LE ZINC

Cet élément est un très bon indicateur de l'influence sulfurée, même lorsque l'analyse minéralogique ne détecte pas la blende. Ce n'est en général que lorsque les teneurs en Zn sont supérieures à 2 % que ce sulfure apparaît en diffraction X.

Dans la fosse Atlantis II où la blende est toujours présente dans les niveaux sulfurés, les teneurs en zinc se concentrent dans deux unités :

1. Dans les niveaux silicatés supérieurs (MD 81409, MD 81403, MD 81404), les valeurs croissent de 0,7 à 2 % du top à 2 à 5 % vers la base, marquant un passage continu de plus en plus sulfuré dans cette zone silicatée supérieure.

2. Dans les bancs sulfurés plus marqués de la base des séries, les teneurs sont très élevées, de 15 à 20 % (MD 81399, MD 81409, MD 81403), parfois plus importantes que celles du fer (MD 81399). Dans le Nord Passage (MD 81404), ces teneurs tombent à 2 %. Certains lits à sulfures de la carotte MD 81409 (niveaux 320 cm

TABLEAU 6. — Pourcentage en fer total. Les valeurs entre parenthèses correspondent au fer lié à la pyrite et à la chalcopryrite.

COMPOSANTS MAJEURS %	ATLANTIS II				Hors fosse MD 81408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
	MD 81399	MD 81409	MD 81403	MD 81404			
Silicates amorphes	= 30	25 à 35 (1,5 à 2)	30 à 45 (0,1 à 0,5)	30 à 40 (0,5 à 1)		Teneurs très variables de 4 à 15 %.	
Composés amorphes Sulfures (SU 2 ?)	2 (12)	25 à 30 (2 à 3)	25 à 35 (0,5 à 2)	36 (0,5)		Fer lié aux composés amorphes, à la Mn-sidérite et la goethite.	
Goethite	60 à 70	65	50 à 55	55	57		66
Hématite		70					48,5
Lépidocrocite	44	43	45				
Glauconie ss	18 à 20 (0,5 à 2,5)	10 à 25 (1 à 1,5)	35 (0,5 à 1)	12 (2,5)	26 (0,4)		
Manganosidérite	20 à 40 (0 à 6)		2,5 (0,5)				
Silicates (smectites)des zones litées	20 à 50						
Sulfures (bancs de base : SU 1 ?)	15 à 25 (5 à 15)	12 à 25 (5 à 10)	15 à 20 (5 à 10)	20 (15)			

et 338 cm) montrent des teneurs exceptionnellement élevées (26 et 15 %), à mettre en relation, non seulement avec la présence de blende, mais aussi avec celle d'hydroxyde $Zn(OH)_2$ détecté en composant majeur par spectrométrie infrarouge. Dans les séries hors fosse Atlantis II (MD 81408 et MD 81412), les teneurs décelées en zinc, de l'ordre de 1 à 1,5 %, ont permis de mettre en évidence une faible influence sulfurée dans les dépôts carbonatés.

LE CUIVRE

Mis à part les rares niveaux légèrement sulfurés des séries carbonatées des carottes MD 81408 (niveau 448 cm avec 3800 ppm) et MD 81412 (niveau 272 cm avec 1,4 %), cet élément apparaît surtout dans les dépôts minéralisés de la fosse Atlantis II. Les valeurs en Cu total varient de 0,5 % à 1 % dans les zones silicatées supérieures (exceptionnellement 2 % dans le bassin ouest, MD 81399), et entre 1 et 2 % dans les boues

sulfurées où la chalcopryrite est détectée. Dans certains niveaux où la glauconie est un élément majeur, ces teneurs varient entre 0,5 et 0,8 % (atteignant presque 3 % dans un lit à céladonite). Le cuivre montre un comportement particulier vis-à-vis des attaques acides : une partie de cet élément est lié à la phase soluble à HCl, en particulier dans les niveaux silicatés à glauconie et dans certains niveaux sulfurés où la chalcopryrite n'est pas détectée ; l'autre partie est solubilisée par attaque nitrique, principalement là où la chalcopryrite est détectée (RX et infrarouge).

Peu de sulfures, du moins ceux reconnus dans les dépôts hydrothermaux marins, sont solubles à HCl (exceptée la covellite non identifiée dans les sédiments d'Atlantis II). Cet élément est donc lié à deux phases minérales : l'une sulfurée cristallisée (pyrite, chalcopryrite), l'autre présente plus particulièrement dans les faciès silicatés réduits à glauconie et aussi à manganosidérite. L'examen au microscope optique des glauconies montre

que celles-ci sont riches en petites inclusions amorphes de couleur brun-vert, disparaissant après attaque chlorhydrique et correspondant vraisemblablement à des sulfures de cuivre amorphes. De tels composés ont déjà été observés dans des sédiments riches en nontronite et carbonates de la fosse Atlantis II (Brockamp *et al.* 1978 ; Missack *et al.* 1989).

Le cuivre est donc un élément caractéristique des dépôts réduits, même lorsque l'analyse minéralogique ne détecte pas de phase minérale porteuse.

LE COBALT, LE NICKEL, LE PLOMB

Le cobalt est un élément trace dans toutes les séries étudiées (quelques ppm à 200 ppm maximum). Le nickel montre des teneurs très faibles dans l'ensemble des dépôts (quelques dizaines de ppm), passant localement à quelques centaines de ppm dans les niveaux sulfurés. Les teneurs les plus élevées en plomb (1500 à 3000 ppm) apparaissent également dans les niveaux à pyrite et blende. Aucun minéral porteur n'a pu être identifié et les variations des valeurs enregistrées (hormis celles des niveaux sulfurés) ne sont pas significatives, vu l'erreur autorisée par les méthodes d'analyse mises en œuvre.

MESURES PHYSIQUES

Les teneurs en eau, en sels dissous et en CaCO_3 , les poids de particules en gr/cm^3 , les porosités ainsi que les pourcentages de la fraction inférieure à 20 μm figurent dans l'annexe 4.

Les calculs effectués ont montré que la porosité était corrélable avec les teneurs en eau et partiellement avec la granulométrie. La fraction supérieure à 25 μm est plus importante dans les niveaux sulfurés de la base (entre 6 et 10 % du matériel sec dessalé), dans les niveaux à manganosidérite et dans les boues carbonatées (de 15 à 20 %). Dans les autres faciès, cette fraction ne dépasse pas 1 %.

Le séchage et le dessalage des échantillons étant nécessaires pour l'analyse minéralogique, les teneurs en eau et en sels dissous ont été systématiquement déterminées pour chaque niveau étudié. En valeurs absolues, ces teneurs dépendent du temps de stockage des carottes avant leur

échantillonnage (ici de l'ordre de deux ans), les teneurs en sels devant théoriquement augmenter avec ce temps de stockage par suite de la déshydratation du matériel. Cependant, à titre de comparaison, des mesures effectuées peu de temps après les carottages de la campagne Hydrotherm (Blanc 1987) ont montré que, sur un même site (bassin ouest d'Atlantis II) et sur deux séries présentant des unités lithologiques analogues (MD 81399 et MD 85684), ces teneurs étaient sensiblement identiques (voir annexe 11), à 2 % près. Il apparaît donc que les conditions de stockage du matériel dans les chambres froides du Laboratoire de Géologie du Muséum (sous atmosphère neutre et à + 4 °C) n'ont pas modifié ces paramètres, au moins durant les deux ans qui ont précédé l'échantillonnage.

Les résultats de ces mesures sont résumés dans le tableau 7. Dans toutes les séries étudiées, les teneurs en eau sont importantes et comprises entre 30 et 70 % suivant les faciès rencontrés (minimum dans les dépôts carbonatés de la base et maximum dans les unités silicatées supérieures). Ces faciès ayant une distribution verticale, il est difficile de faire la part, dans ces variations, de l'importance de la lithologie et de celle de la compaction due à la charge sédimentaire. Cependant, les profils de poids de particules en gr/cm^3 , et de porosité en fonction de la profondeur d'enfouissement ne montrent aucune corrélation significative.

Les salinités des eaux interstitielles sont extrêmement élevées dans la fosse Atlantis II, et bien souvent supérieures à celle de la saumure inférieure (de 265 à 320 ‰ selon Miller *et al.* 1966 ; Brewer & Spencer 1969 ; Blanc 1987) qui se trouve à la limite de saturation NaCl. Il est donc probable que certains sels, en particulier les chlorures, soient exprimés minéralogiquement dans le sédiment brut humide, mais indécélables par suite des traitements subis par l'échantillon (séchage et lavages). Hors fosse (MD 81408), les salinités sont relativement élevées (140 à 160 ‰) par rapport à celle de l'eau de mer normale, ce qui laisse supposer un débordement des saumures de la fosse Atlantis II et un mélange avec les eaux de fond de la mer Rouge. Dans la fosse Néréus, les salinités des eaux interstitielles sont

TABLEAU 7. — Pourcentage en eau par rapport au poids humide et salinité (en g/l : valeurs entre parenthèses).

MINÉRALOGIE DOMINANTE	ATLANTIS II				Hors fosse	NÉRÉUS
	MD 81399	MD 81409	MD 81403	MD 81404	MD 81408	MD 81412
Silicates (unité sup.)	70 à 72 (285 à 310)	68 à 70 (345 à 350)	68 à 70 (340 à 360)	68 à 70 (350 à 360)		70 (85)
Sulfures et sili- cates (SU 2 ?)	<i>id.</i>	<i>id.</i>	<i>id.</i>			
Goethite	60 à 65 (320 à 350)	61 à 65 (340 à 350)	55 à 65 (360 à 370)			
Glauconie	68 à 70 (337 à 380)	62 à 72 (310 à 340)	70 (350)		80 (150)	
Manganite	58 à 62 (345 à 360)				70 (140)	
Sulfures (unités inf.)	50 à 60 (360 à 400)	55 à 70 (345 à 360)	53 à 60 (340 à 360)	63 à 65 (350)		
Anhydrite		38 à 57 (400 à 530)		20 (500)		
Carbonates (DOP)	30 à 35 (350 à 400)		35 à 50 (320 à 350)		30 à 55 (150 à 160)	44 à 60 (50 à 60)

faibles (50 à 80 ‰), alors que des saumures à chlorinité élevée (188 ‰) ont été reconnues dans le bassin est de cette fosse (Backer & Schoell 1972).

Les corrélations linéaires teneurs en eau/teneurs en sels dissous (tous faciès confondus) sont extrêmement bonnes pour certaines séries (MD 81399, MD 81403, MD 81408, MD 81412, voir annexe 11), indiquant une relative constance de la salinité des eaux interstitielles le long de la colonne sédimentaire.

DISCUSSION

SYNTHÈSE LITHOSTRATIGRAPHIQUE

ET CORRÉLATIONS AVEC LES SÉQUENCES TYPES

L'étude minéralogique et chimique a permis d'identifier les différents faciès et de dresser les « logs lithologiques » en marge desquels (voir annexe 3) a été tentée une corrélation avec les unités de référence établies pour la fosse Atlantis II par Backer & Richter (1973).

Dans Atlantis II (MD 81399, MD 81403 et MD 81404), les dépôts les plus anciens, datés du Pléistocène supérieur, sont les boues carbonatées qui constituent la *Detritical-Oxydic-Pyritic Zone* (DOP) de la base des séries. Cette zone est absente dans le bassin sud-ouest (MD 81409), tandis que dans le Nord Passage (MD 81404), le niveau à anhydrite lui est attribué (Backer & Richter 1973).

Les dépôts carbonatés représentent la sédimentation normale de la mer Rouge. Il s'agit de boues marneuses sans silice biogène, composées de bioclastes calcaires (nanofossiles, foraminifères, ptéropodes) subissant des évolutions diagenétiques (calcite magnésienne, carbonates de fer et de manganèse) et d'une fraction silicatée détritique (quartz, feldspaths, illites, chlorites, kaolinite).

Dans Néréus (MD 81412), les dépôts carbonatés de la base de la série sont relativement homogènes et rappellent ceux d'Atlantis II. Ils se poursuivent par une alternance centimétrique de lits carbonatés plus ou moins enrichis en

oxy-hydroxydes amorphes de fer ou de manganèse, à goéthite ou manganite, aragonite et calcite magnésienne, smectites et silicates amorphes. Ces dépôts sont comparables à ceux décrits dans l'ensemble de la fosse par Bignell & Shabbir (1976).

Dans Commission I (MD 81388), on observe à la base une sédimentation « normale » à hémipélagites sans influences hydrothermales. Ces dernières n'apparaissent qu'à partir d'environ 10 000 ans (Schneider *et al.* 1983), sous la forme d'alternances de lits peu épais carbonatés « normaux » et de lits enrichis en oxy-hydroxydes amorphes de Mn et Fe et très riches en eau.

La goéthite a une large répartition verticale et horizontale dans les séries carbonatées du bassin de Wando (MD 81388), ainsi que dans celles des fosses Commission I et Néréus où elle est associée aux oxy-hydroxydes de manganèse. Dans la fosse Atlantis II, on la trouve aussi en abondance dans les lits de la partie supérieure de la DOP où elle témoigne de la première installation de l'activité hydrothermale. À cette époque, une saumure existait vraisemblablement déjà et devait remplir toute la fosse (Anschutz & Blanc 1995a), mais les conditions devaient être suffisamment oxydantes pour entraîner le dépôt de ces oxydes, en particulier des oxy-hydroxydes de manganèse qui caractérisent les faciès de bordure et un environnement proche du « pôle eau de mer » (Anschutz 1993).

C'est aussi dans les sédiments détritico-carbonatés (DOP de Atlantis II, Néréus et bassin de Wando) que les premiers indices sulfurés se manifestent par la présence de pyrite dans des lits de faible épaisseur. Cette pyrite, dont la taille est parfois supérieure à 50 µm, pourrait être d'origine détritique, mais pourrait aussi résulter de l'activité bactérienne sulfato-réductrice (Wayne *et al.* 1980 ; Anschutz & Blanc 1995a).

Dans la fosse Atlantis II, la séquence carbonatée est surmontée par les premiers dépôts importants de sulfures. Ceux-ci apparaissent vers 12-15 000 ans (Wayne *et al.* 1980 ; Anschutz & Blanc 1995b) et sont constitués par des boues enrichies en pyrite et en blende correspondant à la zone SU 1 (*Lower-Sulfidic Zone*). Dans le bassin ouest (MD 81399), cette zone est caractérisée

par deux niveaux sulfurés séparés par environ 1 m de sédiments finement lités à sulfures, silicates et manganosidérite. Ce double niveau à sulfures a été également observé dans ce bassin (Anschutz 1993). C'est dans le bassin est (MD 81403) que la zone SU 1 est la plus homogène et épaisse, confirmant l'importance de cette unité dans ce bassin (Urvois 1987). Dans le Nord Passage (MD 81404), la première influence sulfurée apparaît après le dépôt à anhydrite (lui-même légèrement pyritisé), suivie, après une alternance de niveaux à goéthite et de zones litées carbonatées, d'un niveau riche en pyrite et chalcopryrite, sans blende. L'attribution de cette séquence à la zone SU 1 est difficile, en raison de nombreuses intercalations de niveaux à goéthite et de séquences finement litées (voir annexe 3). Le milieu correspondant à ces dépôts minéralisés devait être fortement réducteur avec la présence d'une saumure stable dont la profondeur du toit était plus faible (1920-1950 m) qu'elle ne l'est actuellement (Backer & Richter 1973).

Les dépôts d'ordre métrique à oxy-hydroxydes constituent la *Central-Oxydic Zone* (CO), pouvant être localement contaminée par des silicates (*Central-Oxydic-Silicatic Zone* : COS). Ces sédiments sont présents dans tous les sites étudiés, avec de fortes influences silicatées (silicates amorphes, smectites, glauconie) marquant la transition avec la zone SU 1 (COS). C'est dans le bassin ouest que cette unité est la plus épaisse : environ 3,6 m pour CO + COS. Dans le bassin sud-ouest, ces dépôts, constitués de goéthite et d'hématite bien cristallisée, ont une faible épaisseur et reposent directement sur un basalte. Cette unité marque dans la fosse Atlantis II une déstabilisation des conditions redox avec une réoxygénation du milieu qui a affecté toute la fosse.

Le retour à des conditions réductrices est marqué par le dépôt des sédiments sulfurés de la zone SU 2 (*Upper-Sulfidic Zone*) à argiles vertes (smectites et glauconie) passant progressivement à l'unité terminale à silicates et oxy-hydroxydes amorphes (*Amorphous-Silicatic Zone* : AM). Cette séquence a été nettement identifiée dans le bassin est et le Nord Passage. Dans le bassin ouest

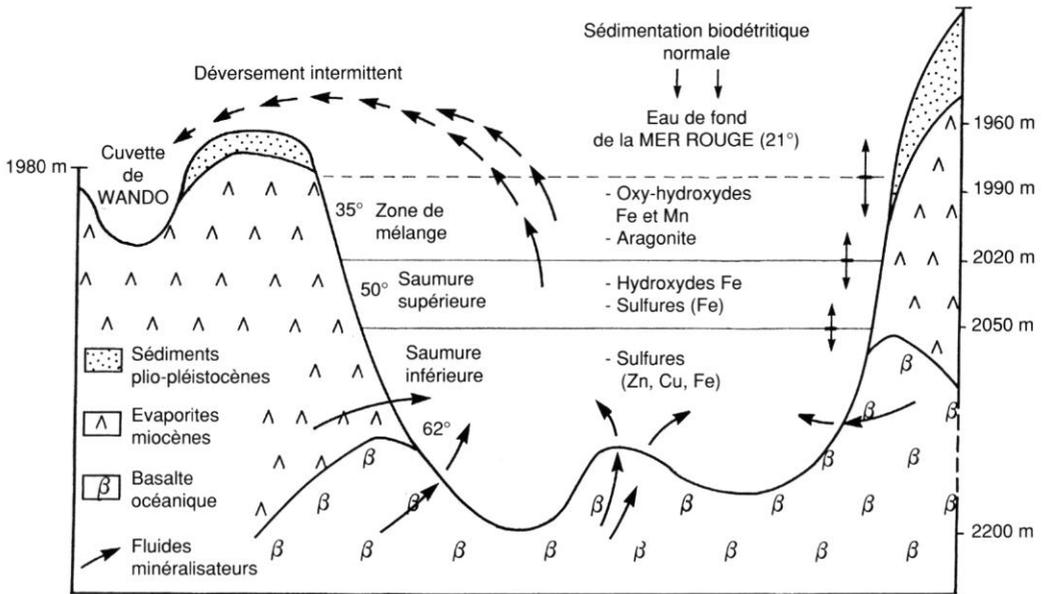


FIG. 12. — Coupe schématique de la fosse Atlantis II et localisation des zones de précipitation des principales phases minérales. D'après Cole (1983) et Hartmann (1985).

(MD 81399), la zone AM n'a pas été échantillonnée ; en effet, en raison de sa consistance liquide, son prélèvement par carottage est difficile. Dans le bassin sud-ouest (MD 81409) où les zones DOP et SU 1 sont absentes, la séquence est conforme à celle de Backer & Richter (1973). La zone SU 2 est remplacée par la *Sulfidic-Amorphous-Silicatic Zone* (SOAN) très riche en blende (teneurs en zinc voisines de 26 %). Elle repose sur des dépôts finement lités à sulfates et est surmontée par une boue silicatée à sulfures (*Sulfidic-Amorphous-Silicatic Zone* : SAM) à blende et pyrite.

LA STRATIFICATION MULTI-ÉCHELLE

L'étude lithologique a montré que les dépôts d'échelle métrique sont ceux qui sont nettement sulfurés (SU 1 et SU 2) ou oxydés (CO). Ces niveaux se présentent sous un aspect relativement homogène, de même que la couche terminale à silicates de fer, oxy-hydroxydes amorphes à barytine et sulfures dilués (zone AM).

La précipitation des sédiments métallifères dans la fosse Atlantis II dépend de la stratification des saumures, de leurs propriétés physico-chimiques

(température, potentiel d'oxydoréduction, teneurs en métaux dissous), de l'importance des arrivées de fluides minéralisateurs ayant percolé à travers le socle environnant (basalte et roches évaporitiques) et de la position des sources hydrothermales. La figure 12 présente un schéma de la stratification des masses d'eaux et des niveaux principaux de précipitation des sédiments.

L'emplacement des sources hydrothermales semble avoir migré au cours du temps du nord vers le sud et se situerait actuellement dans le bassin sud-ouest (Backer & Richter 1973 ; Urvois 1987), ce que confirment des travaux plus récents (Blanc *et al.* 1995 ; Anschutz & Blanc 1995b) et les teneurs élevées en zinc (26 %) dans ce bassin (zone SOAN de MD 81409). L'arrivée de ces fluides pourrait s'effectuer sous forme d'un panache minéralisateur qui traverserait, en période paroxysmale, l'ensemble des saumures, provoquant leur réoxygénation et la précipitation des oxy-hydroxydes, et qui serait piégé en période d'activité plus faible dans les saumures sous-oxygénées où les sulfures se déposeraient (Urvois 1987).

Les différents modèles d'expansion verticale et de

refroidissement d'un panache hydrothermal au sein d'un système hydrologiquement stratifié (*in* Urvois 1987) n'indiquent pas la destruction de la stratification des saumures. Cependant, on observe dans la zone CO de la carotte MD 81399, située dans la saumure inférieure par 2125 m de profondeur, la présence de manganite et de todorokite (qui caractérisent les faciès de bordure dans Atlantis II et/ou un milieu très oxygéné), ce qui laisse supposer un événement hydrothermal singulier susceptible d'avoir oxydé la totalité de la fosse et profondément déstabilisé le corps des saumures (Leclaire *et al.* 1988).

Les stratifications d'ordre centimétrique ou millimétrique sont fréquentes dans les séries étudiées et semblent généralement constituer des séquences de transition entre les grands faciès :

- sommet de la DOP : alternances de goethite et de carbonates, puis de carbonates et de sulfures (MD 81403) ;
- SU 1 à CO : alternances de manganosidérite-smectites et de glauconie (MD 81399), lit à manganosidérite pour MD 81403 ;
- CO à SU 2 : alternances de glauconie et de manganosidérite (MD 81403) et de goethite-glauconie pour MD 81404 ;
- SOAN du bassin sud-ouest (MD 81409) : litages de sulfures et de glauconie.

Ces fins litages témoignent de variations de l'environnement sur de courtes échelles de temps. Les interfaces entre les différentes couches hydrologiques qui tapissent la fosse Atlantis II délimitent des zones où règnent des conditions physico-chimiques différentes (Fig. 12), et leurs profondeurs déterminent donc les limites bathymétriques des différents dépôts métallifères.

Pour les prélèvements de faible profondeur, on n'observe aucune influence hydrothermale nette dans les sédiments des bordures jusqu'à 1960 m environ, profondeur limite en raison du déversement des saumures vers le sud dans les fosses voisines « *Chain Deeps* » et dans « *Discovery Deep* » (Pugh 1969). La présence d'oxydes de manganèse et de couches épaisses de goethite dans le bassin de Wando implique un débordement de la tranche d'eau intermédiaire et/ou de la saumure supérieure, franchissant là un seuil vers 1980-1990 m. Les seules mesures concernant les fluctuations en

profondeur des interfaces hydrologiques concernent la période récente durant laquelle des relevés bathymétriques et de température ont montré une augmentation de l'activité hydrothermale, s'accompagnant d'une élévation de température des saumures et du toit de la saumure inférieure d'au moins 2 m entre 1965 et 1972 (Schoell & Hartmann 1978 ; Hartmann 1980 ; Monin & Plakhin 1982). D'autres auteurs ont constaté des variations récentes de température des saumures et aussi l'apparition de nouvelles stratifications entre 1977 et 1992 entre les deux saumures (Blanc & Anschutz 1995) ; le sommet de la zone de transition avec l'eau de mer se serait également élevé d'environ 80 m en 26 ans (Anschutz & Blanc 1996).

Ces observations à l'échelle de quelques années montrent que les variations de l'activité hydrothermale se manifestent par des fluctuations de profondeur des limites hydrologiques et/ou parallèlement par des changements dans l'épaisseur des saumures. Il est vraisemblable que de telles variations dans la stratification des saumures se soient produites au cours des 10-12 000 ans de l'histoire de la fosse Atlantis II, de manière plus ou moins intense selon l'importance de l'arrivée des fluides hydrothermaux. Bien que l'inventaire des fines laminations centimétriques et millimétriques ne soit pas complet, il apparaît que cette échelle de dépôt caractérise plutôt les séries de moyenne profondeur (2050-2100 m ; MD 81403 et MD 81404), là où les intersections avec les toits des saumures et celui de la zone de transition sont les plus probables.

CONCLUSIONS

Les prélèvements effectués dans les fosses Néréus (MD 81412) et Commission I (MD 81388) caractérisent la sédimentation biodétritique normale de la mer Rouge. Il s'agit de bassins de décantation oxygénés recevant de manière intermittente des « bouffées » de fluides hydrothermaux à l'origine des concentrations en fer et manganèse, et de l'influence sulfurée de la base de la carotte MD 81412. Le bassin de Wando (MD 81408) a enregistré les débordements des saumures de la fosse Atlantis II.

Sur la base des données minéralogiques et géochimiques, les séries de la fosse Atlantis II (MD 81399, MD 81403, MD 81404, MD 81409) ont pu être comparées aux séquences types établies par Backer & Richter (1973).

L'ensemble des unités (DOP, SU 1, CO, SU 2 et AM) a pu être reconnu, avec une unité silicatée COS (située à la base de la zone CO) bien plus développée. Dans le bassin sud-ouest (MD 81409) où se trouve actuellement le débouché des sources hydrothermales, on retrouve la zonation de référence (CO-SOAN-SAM). Dans le Nord Passage (MD 81404) par contre, les zones SU1 et CO ont été difficiles à identifier en raison des nombreux litages affectant la zone CO.

Ces unités sont caractérisées par les paragenèses les plus simples et sont généralement d'ordre métrique ou décimétrique. Les niveaux sulfurés témoignent de la « stratification » des saumures qui se sont établies dès les premiers dépôts sulfurés sur la DOP. Un événement majeur au moins a cependant été susceptible de détruire cette « stratification » avec les dépôts à goethite et oxydes de manganèse de la zone CO, par près de 2125 m de profondeur.

De nombreuses influences carbonatées et silicatées, plus rarement oxydées, d'échelle millimétrique ou centimétrique caractérisent les dépôts de transition. Ces laminites, qui représentent un court intervalle de temps, pourraient être significatives des fluctuations verticales qui auraient affecté les corps des saumures au cours de variations intermittentes de l'activité hydrothermale.

Les « logs » lithologiques et photographiques, ainsi que les données physiques et géochimiques des éléments majeurs (fer, cuivre, manganèse, zinc, CaCO_3) constituent une base de données détaillée représentative des différents faciès reconnus dans cette zone centrale de la mer Rouge, actuellement archivés dans la collection marine du Laboratoire de Géologie du Muséum.

Remerciements

Nous remercions particulièrement L. Leclaire† (professeur au Laboratoire de Géologie du Muséum) qui a été le chef de projet et de mission

de la campagne océanographique en mer Rouge, et aussi l'initiateur de ces travaux. Nous remercions également J.-P. Caulet (Laboratoire de Géologie du Muséum) pour ses critiques et remarques, D. Badaut (Laboratoire de Géologie du Muséum) et E. A. Perseil (Laboratoire de Minéralogie du Muséum) pour leur contribution à ce travail. Nous remercions aussi F. Frohlich (Laboratoire de Géologie du Muséum) pour les déterminations minéralogiques par spectroscopie infrarouge.

RÉFÉRENCES

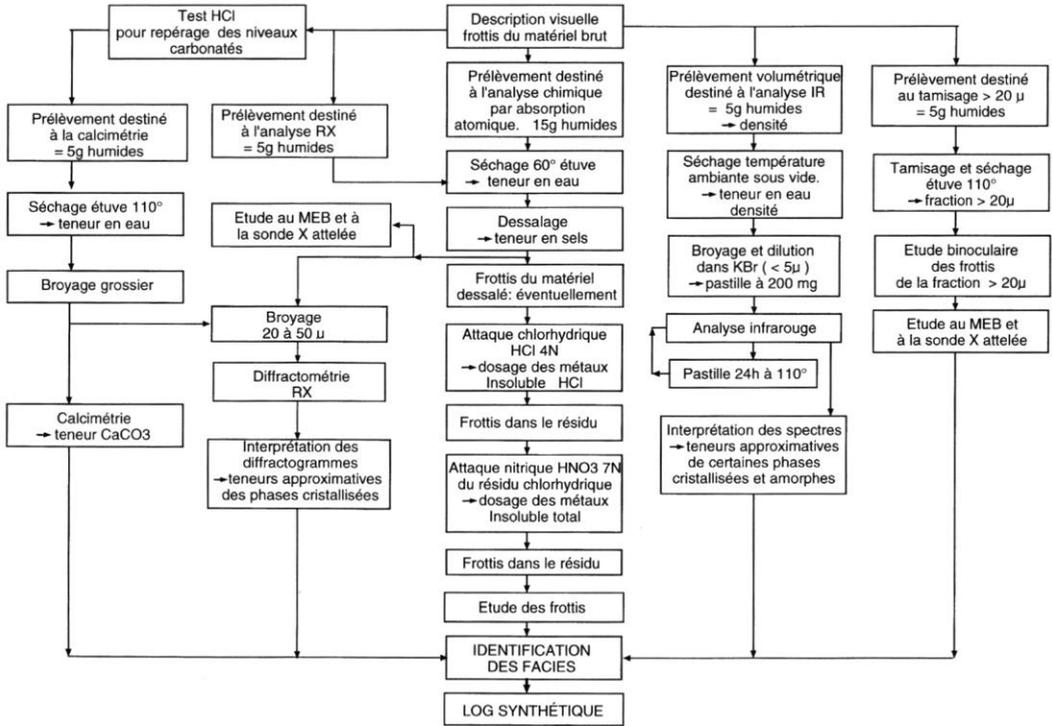
- Anschutz P. 1993. — *Genèse et évolution géochimique des sédiments métallifères de la fosse Atlantis II (mer Rouge)*. Thèse de doctorat, Institut de Géologie, université Louis Pasteur, Strasbourg, 226 p.
- Anschutz P. & Blanc G. 1993. — L'histoire sédimentologique de la fosse Atlantis II (mer Rouge). Les apports de la micropaléontologie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 317, Série II : 1303-1308.
- 1995a. — Diagenetic evolution of the DOP facies from the Atlantis II Deep (Red Sea): evidence of early hydrothermal activity. *Oceanologica Acta* 18 (1): 105-112.
- 1995b. — Chemical mass balance in metalliferous deposits from Atlantis II Deep, Red Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59 (20): 4205-4218.
- 1996. — Heat and salt fluxes in the Atlantis II Deep (Red Sea). *Earth and Planetary Science Letters* 142: 147-159.
- Backer H. 1976. — Facies und chemische Zusammensetzung rezenter Ausfäblungen aus Mineralquellen im Roten Meer. *Geologisches Jahrbuch D* 17: 151-172.
- Backer H. & Richter H. 1973. — Die rezente hydrothermal-sedimentäre Lagestätte Atlantis II-Tief im Roten Meer. *Geologische Rundschau* 62 (3): 697-741.
- Backer H. & Schoell M. 1972. — New deeps brines and metalliferous sediments in the Red Sea. *Nature Physical Science* 240 (103): 153-158.
- Badaut D., Blanc G. & Decarreau A. 1990. — Variation des minéraux argileux ferrifères, en fonction du temps et de l'espace, dans les dépôts métallifères de la fosse Atlantis II en mer Rouge. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 310, Série II : 1069-1075.
- Bignell R. D. & Shabbir S. 1976. — Geochemistry and stratigraphy of Nereus Deep, Red Sea. *Geologisches Jahrbuch D* 17: 173-186.
- Blanc G. 1987. — *Géochimie de la fosse Atlantis II*

- (mer Rouge). *Évolution spatio-temporelle et rôle de l'hydrothermalisme*. Thèse université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 233 p.
- Blanc G. & Anschutz P. 1995. — New stratification in the hydrothermal brine system of the Atlantis II Deep, Red Sea. *Geology* 23 (6): 543-546.
- Blanc G., Boulègue J. & Michard A. 1995. — Isotope compositions of the Red Sea hydrothermal end-member. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 320, série IIa : 1187-1193.
- Brewer P. G. & Spencer D. W. 1969. — A note on the chemical composition of the Red Sea Brines, in *Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea*. Ed. Degens and Ross, Springer-Verlag, Berlin, 600 p.
- Brockamp O., Goulard E., Harder H. & Heydemann A. 1978. — Amorphous Copper and Zinc Sulfides in the Metalliferous Sediments of the Red Sea. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 68: 85-88.
- Caulet J.-P., Clément P. & Giannesini P. J. 1992. — « Geocores » : inventaire informatisé des roches et sédiments marins conservés au Muséum national d'Histoire naturelle. *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, série 4, C 14 (1) : 93-136.
- Cole T. G. 1983. — Oxygen isotope geothermometry and origin of smectites in the Atlantis II Deep, Red Sea. *Earth and Planetary Science Letters* 66: 166-176.
- Craig H. 1966. — Isotopic composition and origin of the Red Sea and Salton Sea geothermal brines. *Science* 134: 1544-1548.
- Decarreau A., Badaut D. & Blanc G. 1990. — Origine and temperature of Fe rich clays from Atlantis II Deep (Red Sea). An oxygen isotopic geochemistry approach. *Chemical Geology* 84 (1/4), special issue: 363-364.
- Hall S. A., Andreasen G. E. & Girdler R. W. 1977. — Total-Intensity magnetic anomaly map of the Red Sea and adjacent coastal areas, a description and preliminary interpretation. *Red Sea Research*, bulletin No. 22: 1-5.
- Hartmann M. 1980. — Atlantis II Deep geothermal-brine system. Hydrographic situation in 1977 and changes since 1965. *Deep-Sea Research* 27A: 161-171.
- 1985. — Atlantis Deep geothermal brine system, chemical processes between hydrothermal brines and Red Sea deep water. *Marine Geology* 64: 157-177.
- Holtzapffel T. 1985. — Les minéraux argileux. Préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Société Géologique du Nord* 12, 136 p.
- Leclaire L., Clément P., Frohlich F. & Giannesini P.-J. 1988. — Stratification des corps minéralisés en mer Rouge : les fosses Atlantis II, Néréus et Commission I. *Colloque national sur l'hydrothermalisme océanique*, CNRS-IFREMER, Brest : 113-115.
- Miller A. R., Densmore C. D., Degens E. T., Hathaway J. C., Manheim F. T., Farlin P. F., Pocklington R. & Jokela A. 1966. — Hot brines and Recent Iron Deposits in deeps of the Red Sea. *Geochimica Cosmochimica Acta* 30: 341-359.
- Missack E., Stoffers P. & El Gorsej A. 1989. — Mineralogy, paragenesis, and phases relations of copper iron in the Atlantis II deep, Red Sea. *Mineralium Deposita* 24: 82-91.
- Monin A. S. & Plakhin E. A. 1982. — Stratification and space-time variability of Red Sea hot brines. *Deep-Sea Research* 29: 1271-1291.
- Pugh D. T. 1969. — Temperature measurements in the bottom layers of the Red Sea brines, in *Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea*. Ed. Degens and Ross, Springer-Verlag, Berlin, 600 p.
- Schneider W., Probst U. & Staenicke J. 1983. — Sedimentological patterns around hydrothermal centers in the Red Sea and Gulf of Aden. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, Hannover 134: 61-93.
- Schoell M. & Faber E. 1978. — New isotopic evidence for the origin of the Red Sea brines. *Nature* 275: 436-438.
- Schoell M. & Hartmann M. 1978. — Changing hydrothermal activity in the Atlantis II Deep geothermal system. *Nature* 274: 784, 785.
- Territoire des TAAF. Direction des laboratoires scientifiques, 1980. — « SYMPAS » (modèle TAAF). *Système modulaire de prélèvement des aires sous-marines*. Notice interne technique, 40 p.
- Thisse Y. 1982. — *Sédiments métallifères de la fosse Atlantis II (mer Rouge) : contribution à l'étude de leur contexte morpho-structural et de leurs caractéristiques minéralogiques et géochimiques*. Thèse 3^e cycle, université d'Orléans, 155 p.
- Urvois M. 1987. — *Apports de l'estimation géostatistique de l'épaisseur des unités métallifères dans la compréhension des mécanismes de mise en place des sédiments de la fosse Atlantis II (mer Rouge)*. Thèse de doctorat, université d'Orléans, 203 p.
- Vergès E. 1979. — *Conditions d'accumulation des métaux dans les sédiments superficiels de l'océan Indien. Implications géochimiques*. Thèse de l'université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- Wayne C., Shanks W. C. & Bischoff J. L. 1980. — Geochemistry, Sulfur Isotope Composition, and accumulation Rates of Red Sea Geothermal Deposits. *Economic Geology* 75: 445-449.

Soumis pour publication le 6 février 1997 ;
 accepté le 23 juillet 1997.

ANNEXE 1

PROTOCOLE ANALYTIQUE



ANNEXE 2

MÉTHODES D'ANALYSES

MESURES PHYSIQUES

TENEURS EN EAU

Une étude préliminaire sur les différents faciès de la carotte MD 81404 (faciès à glauconie, à goéthite, à sulfures, à anhydrite) ainsi que sur des unités lithologiques reconnues (DOP de MD 81391, CO de MD 81392, AM de MD 81396, SU 1 de MD 81397) a permis de déterminer les modalités de séchage de l'échantillon. L'examen des courbes de la perte en eau en fonction de la température (température ambiante sous vide, 60 °C et 100 °C en étuve) a montré que le mode de séchage à 60 °C pendant quatre jours était le plus approprié

et n'altérerait pas l'échantillon. Celui-ci, une fois séché, peut récupérer jusqu'à 25 % de son poids sec par absorption de l'humidité ambiante, ce qui nécessite sa conservation sous vide à température ambiante.

TENEURS EN SELS

Elles sont calculées de manière pondérale, après lavages successifs dans de l'eau déminéralisée (de conductivité inférieures à 4 µS) et centrifugations. Une vérification de la salinité des eaux de lavage de l'échantillon de référence à l'aide d'un salinomètre a montré un écart de 1 % avec la méthode pondérale. Les phénomènes de déflocu-

lation interviennent au quatrième lavage et affectent surtout les faciès à oxydes. L'erreur relative sur ces teneurs est de l'ordre de 6 %. Pour la carotte MD 81388 (Commission I), les teneurs en sels sont faibles (0,5 à 3 %), comprises dans la marge d'erreur. Elles n'ont pas été prises en compte pour le calcul des teneurs en métaux.

POIDS DE PARTICULES EN gr/cm^3

Il n'a pu être calculé que sur les niveaux suffisamment tendres et épais (supérieurs à 0,5 cm) par prélèvement volumétrique du sédiment humide.

POROSITÉ

C'est le pourcentage volumétrique occupé par l'eau interstitielle avec ses sels dissous. Elle se déduit du poids volumétrique du sédiment humide et de son poids sec salé.

FRACTION SUPÉRIEURE À 20 MICRONS

Cette fraction destinée à l'observation au MEB a été estimée de manière pondérale par tamisage sous eau. Les niveaux argileux bien cristallisés (smectites et glauconie) se sont avérés intamissibles du fait de leur texture spongieuse.

TENEURS EN CaCO_3

Ces teneurs ont été calculées par mesure du volume dégagé par attaque HCl 4N à froid. Cette méthode permet de doser les teneurs en calcite, calcite magnésienne et aragonite. Les autres carbonates (manganosidérite, rhodocrosite, sidérite, dolomie et ankérite) sont très faiblement solubles dans HCl à froid. Le dégagement gazeux lent et tardif correspondant à ces carbonates n'a donc pas été pris en compte. L'erreur relative maximum est de 1,5 %.

DOSAGE DES ÉLÉMENTS MAJEURS

(Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb, Zn)

La méthode utilisée a pour objectif la mise en solution des métaux contenus dans les phases carbonatées, oxydées et sulfurées tout en ménageant au maximum la phase silicatée (détritique et argileuse authigène).

Cette mise en solution s'est effectuée par double attaque acide : HCl d'abord, puis HNO_3 ensuite pour solubiliser certains sulfures comme la pyrite. Des essais préalables sur des échantillons de référence ainsi que sur les faciès CO et AM des boues métallifères de la fosse Atlantis II ont permis de déterminer les temps d'attaque, les températures et les concentrations acides les mieux adaptées. Un tel protocole avait d'ailleurs été en partie testé précédemment sur des échantillons de boues rouges de l'océan Indien (Vergès 1979) pour ménager les phases néoformées comme les smectites et les glauconies.

Le choix s'est porté sur une première mise en solution de l'échantillon (dessalé et séché) par HCl 4N pendant une heure au bain-marie, avec reprise du résidu pour une attaque HNO_3 7N au bain-marie pendant une heure. Les solutions d'attaque ont été dosées par spectroscopie d'absorption atomique (Perkin-Elmer 272, série X60). Un échantillon de référence mer Rouge a suivi systématiquement la chaîne de traitement (de la phase de dessalage à celle de l'analyse des solutions en spectrométrie AA), de manière à détecter toute anomalie. Les résultats obtenus sur cet échantillon ont permis de préciser l'ordre de grandeur des erreurs relatives, égales (pour un intervalle de confiance au seuil de 5 %) à :

$$\pm \frac{1,96 \times E. \text{ type}}{\text{Moyenne}}$$

Ces erreurs sont de 6 % pour les teneurs en sels, 9 % pour l'insoluble total, 5 % pour le cuivre total, 10 % pour le fer total, 8 % pour le manganèse et 9 % pour le zinc. Les valeurs obtenues pour le nickel, le cobalt et le plomb sont trop faibles pour être significatives. Les erreurs sont importantes pour le fer et le cuivre liés à la phase soluble à HNO_3 en raison de la reprise du résidu HCl pour la mise en solution HNO_3 . Cependant, ces valeurs ont été reportées sur les tableaux de résultats de manière à repérer les niveaux où les teneurs sont les plus fortes.

Les observations au microscope optique des résidus d'attaque chlorhydrique et des résidus finaux, ainsi que le contrôle de leur composition minéralogique par spectrométrie infrarouge et

diffraction X ont permis de tester la validité de la méthode.

– Les oxy-hydroxydes cristallisés (magnétite, lépidocrocite, goéthite, limonite, manganite) et amorphes, la blende, les carbonates (calcite, sidérite, manganosidérite, rhodocrosite, ankérite, dolomite), et le gypse sont solubilisés par la première attaque chlorhydrique.

– L'anhydrite est faiblement solubilisée par les deux acides et se retrouve en partie dans le résidu final.

– La pyrite et la chalcopryrite sont insolubles dans l'acide chlorhydrique et totalement solubles dans l'acide nitrique.

– La barytine n'est pas solubilisée.

– Les smectites et glauconies bien cristallisées sont insolubles, mais on observe pour les smectites en particulier une décoloration indiquant une perte en métaux qui n'affecte pas leur structure cristalline. Ces mêmes composés peu ou mal cristallisés deviennent solubles dans les acides.

– La fraction silicatée détritique (quartz, feldspaths, minéraux lourds, verre volcanique, illites) n'est pas touchée par ces attaques acides.

L'ANALYSE INFRAROUGE

(Spectromètre Pye Unicam SP 2000)

Les échantillons analysés ont été séchés à température ambiante sous vide et n'ont pas subi le dessalage. Une double dilution dans le KBr (0,25 % de sédiment sec salé pour 99,75 % de KBr) a été nécessaire pour la confection de pastilles à 200 mg en raison de l'absorption par certains composés (silicatés et argileux) de l'humidité ambiante.

Un premier balayage de la totalité du spectre IR sur la pastille brute a permis l'identification de l'ensemble des composés. Un deuxième passage plus restreint dans les fréquences comprises entre 2700 et 3800 cm^{-1} (en enregistrement normal et dilaté) a été effectué sur la pastille étuvée 48 h à 110 °C. Ce chauffage élimine l'oxyhydre OH (3430 cm^{-1}) dû à la présence de molécules d'eau, tout en conservant les OH liés aux silicates et cations métalliques. La présence de sel n'est pas gênante dans la gamme de fréquence 600-4000 cm^{-1} où il est transparent ; entre 200-

600 cm^{-1} , il montre une absorption linéaire provoquant un abaissement de la ligne de base.

Le quartz, les sulfates et la calcite sont facilement identifiables, tandis que les tendances (ferrifère et/ou manganésifère) des carbonates authigènes sont détectées. Les sulfures n'absorbent pas dans les fréquences infrarouges, sauf pour la pyrite et la marcassite. Les oxy-hydroxydes de fer cristallisés sont identifiés, et leur degré d'hydratation peut être approché (distinction entre goéthite et limonite). Les oxy-hydroxydes amorphes sont repérés, mais le faible nombre de leurs bandes d'absorption (larges et mal définies) ne permet pas de juger de leur état de cristallinité. Les silicates amorphes et les familles argileuses glauconiesmectites sont reconnus. Par contre, il n'a pas été possible de différencier un sédiment constitué de silicates amorphes dont une partie est cristallisée d'un autre sédiment constitué d'un mélange de glauconie et de silicates amorphes.

Pour des raisons techniques, l'analyse IR n'a pu se faire sur les échantillons de la carotte MD 81388.

L'ANALYSE DIFFRACTOMÉTRIQUE

(Diffractomètre Siemens D 501)

Des diagrammes ont été effectués sur des poudres de l'échantillon brut dessalé. La phase argileuse a été étudiée sur agrégats orientés à l'état brut, glycolé et chauffé (500 °C), selon la méthode préconisée par le Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie de Lille (Holtzapffel 1985). Des diagrammes types ont été établis à partir des niveaux monocristallins et/ou présentant le minimum de phases minérales de manière à établir des références pour les niveaux (nombreux) constitués d'un important mélange minéralogique. Ces références ont été comparées à celles établies sur les mêmes échantillons par l'analyse infrarouge.

LES OBSERVATIONS AU MEB

La fraction supérieure à 20 μm a été observée sur des préparations métallisées à l'or-palladium (MEB JSM 35C). La sonde X attelée (ORTEC

syst 5000) a permis de déterminer la composition chimique de l'objet observé.

LES OBSERVATIONS OPTIQUES

Des frottis ont été confectionnés à partir des différents faciès caractéristiques rencontrés. Leur observation au microscope optique (sédiment brut et résidus d'attaque HCl et HNO₃), ainsi

que les informations fournies parallèlement par les analyses infrarouge et RX, ont servi à l'identification des phases minérales (dont la taille est supérieure à 5 µm) et de leur comportement aux attaques acides. Ces lames de référence ont permis d'étendre les observations optiques à l'ensemble des unités et à limiter au maximum les analyses complémentaires.

La fraction supérieure à 20 µm a été observée à la loupe binoculaire, en complément des observations faites au MEB.

ANNEXE 3

« LOGS » LITHOSTRATIGRAPHIQUES DES CAROTTES ÉTUDIÉES

En marge de ces « logs » (fosse Atlantis II) figure la correspondance avec la zonation établie par Backer & Richter (1973).

Symboles :

 Goethite	 Blende	 Boue argileuse
 Lépidochrome	 Pyrite	 Niveaux carbonatés indurés
 Hématite	 Boue silicatée	 Détritique
 Oxy-hydroxyde de	 Boue sulfurée	 Zone litée ou à alternances
 Sulfates	 Boue carbonatée	
 Manganosidérite		

MD 81388

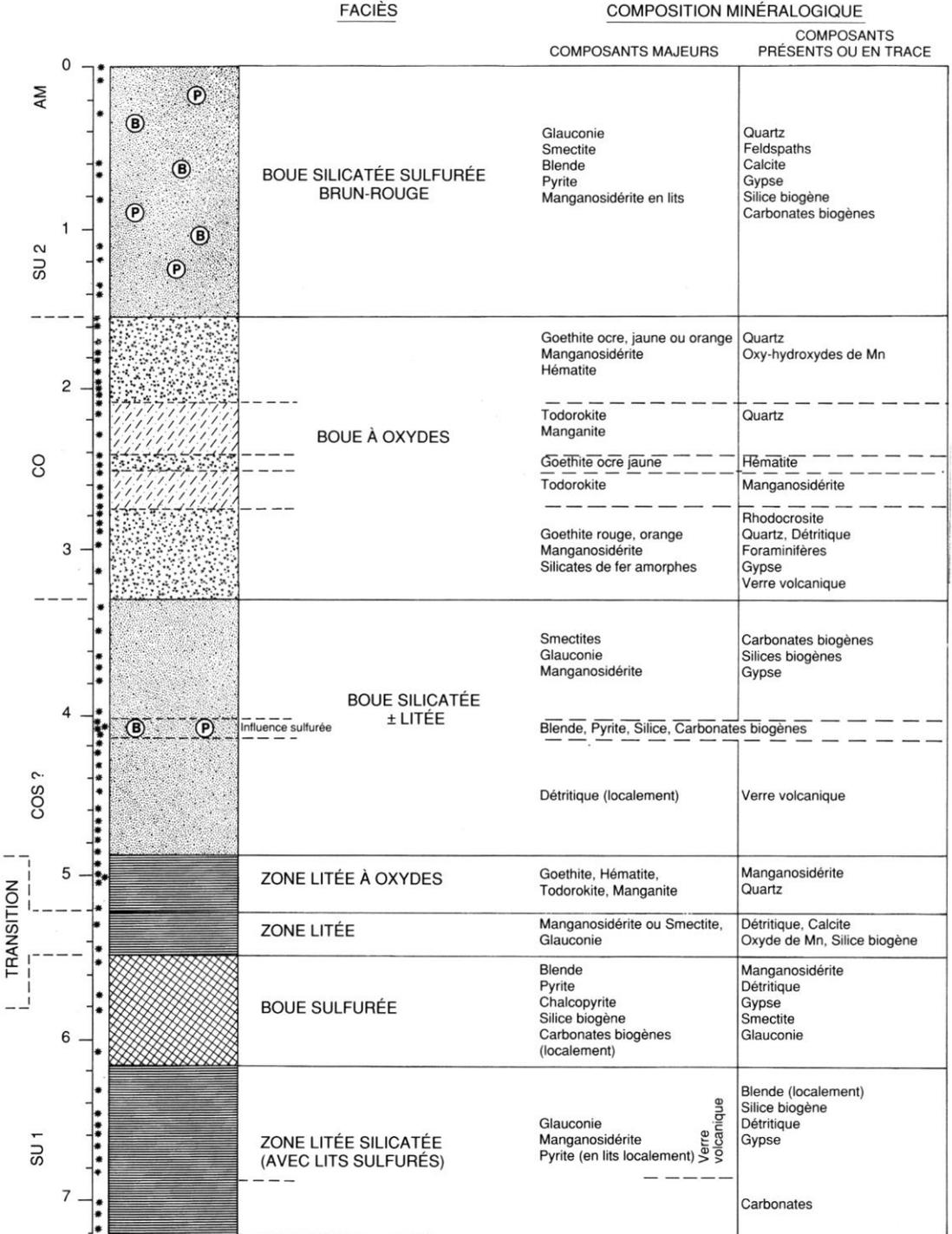
FOSSE COMMISSION I

FACIÈS

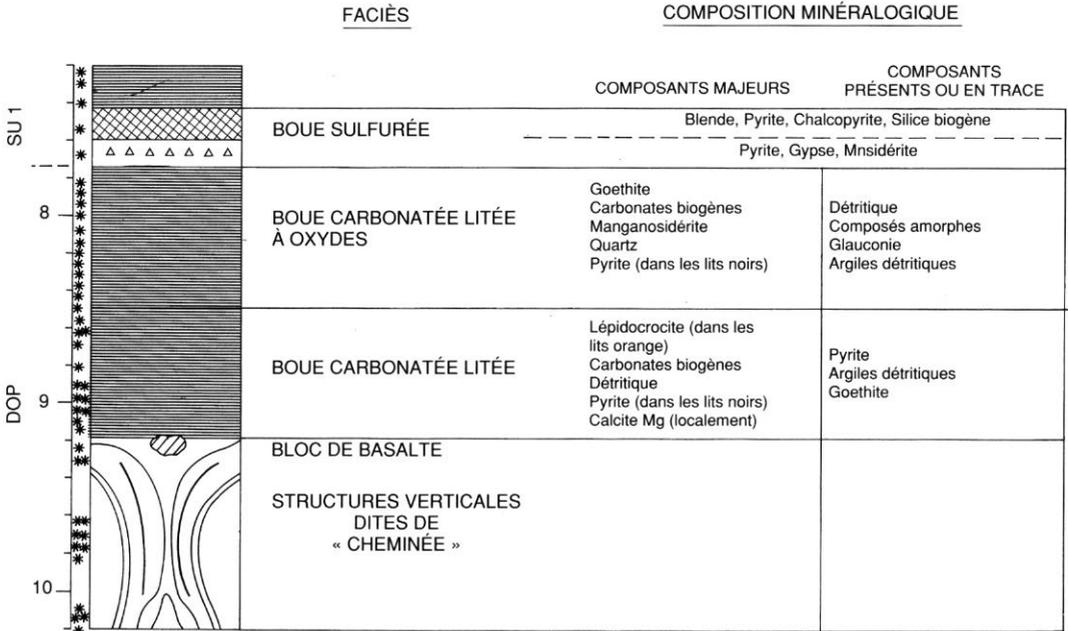
COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

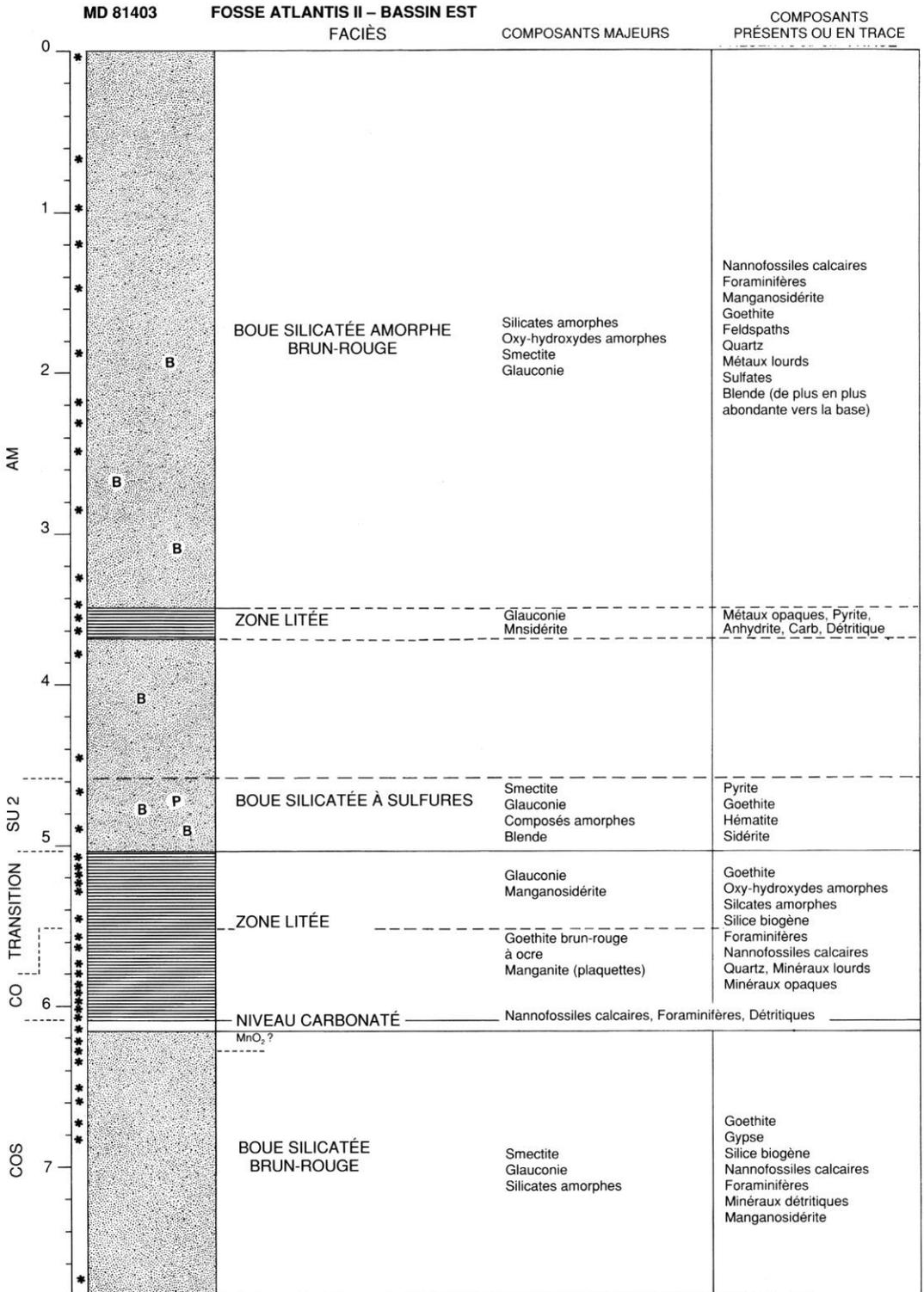
		COMPOSANTS MAJEURS		COMPOSANTS PRÉSENTS OU EN TRACE
UNITÉ 2	0	ALTERNANCE DE LITS		
	1	1) Beige à orange	Nannofossiles Micarb. Foraminifères Quartz Illites-Chlorites Composés amorphes jaunes Détritiques	Calcite Calcite Mg Spicules aragonitiques (parfois concentrés localement) Kaolinite Dolomite Minéraux opaques Anhydrite Verre volcanique
	2	2) Marron foncé à noir	Composés amorphes bruns et jaune Nannofossiles ± dissous Micarb. Foraminifères Détritique (Quartz, Feldspaths, Illites, Chlorites) Goethite	Spicules aragonitiques Kaolinite Oxydes Mn amorphes ? Manganite ? (localement) Hématite (localement)
	3	3) Gris-beige/gris-vert (moins fréquents)	Nannofossiles + micarb. Quartz, Feldspaths, Illites, Chlorites, Métaux lourds Foraminifères Composés amorphes Minéraux opaques Verre basaltiques (localement)	Spicules aragonitiques Kaolinite Pyrite (localement et très rare) Anhydrite
	4	4) Faciès mixtes		
	9,85	-----		
UNITÉ 1	12	BOUE CALCAIRE BEIGE		
	13	Nannofossiles Micarb. Foraminifères Détritiques (Quartz, Feldspaths) Illite, Chlorite Composés amorphes jaunes Minéraux opaques	Dolomite Kaolinite Discoasters Verre volcanique	

MD 81399 FOSSE ATLANTIS II – BASSIN OUEST



MD 81399 (suite)





MD 81403 (suite)

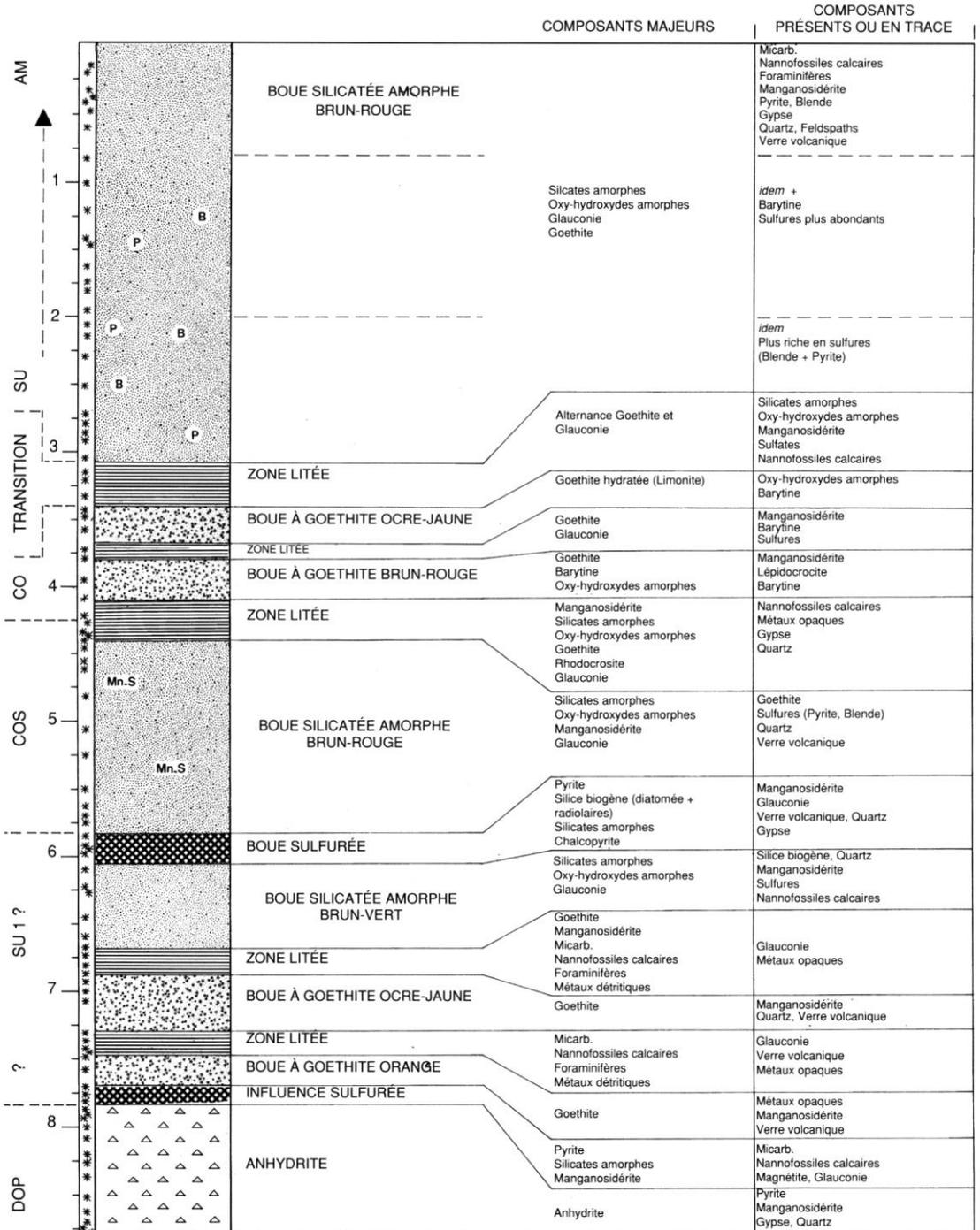
	8	Mns Mns	LIT À MANGANOSIDÉRITE		
SU 1	9		BOUE SULFURÉE	Pyrite Blende Silice biogène (vers la base) Manganosidérite (en plaquettes) Chalcopryrite	Nannofossiles calcaires Foraminifères Silicates amorphes Glaucanie Minéraux détritiques
TRANSITION	10		ALTERNANCE DE BOUES SILICATÉES ET DE BOUES À SULFURES (VERS LA BASE)	Plus riche en goéthite Smectite Glaucanie Silicates amorphes Blende Pyrite	Manganosidérite Gypse Quartz, mx détritiques Silice biogène (dans niveaux sulfurés) Goéthite Mcarb., Foraminifères Chalcopryrite
	11		ZONE LITÉE	Goéthite Organismes calcaires	Silicates amorphes Quartz, mx détritiques Glaucanie
DOP	11		BOUE À GOETHITE OCRE-JAUNE	Goéthite Lépidocrocite	Quartz Micarbonates Nannofossiles calcaires
	12		ZONE LITÉE	Pyrite Goéthite Lits carbonatés	Smectite Silicates amorphes Glaucanie, Quartz
	13		ALTERNANCE DE BOUES À GOETHITE (ORANGE OU OCRE) ET DE BOUES CARBONATÉES	Goéthite Micarbonates Nannofossiles calcaires Calcite magnésienne	Silicates amorphes Quartz Verre volcanique Minéraux détritiques Calcite Kaolinite Illite Minéraux opaques Hématite
	15		BOUE CALCAIRE ORANGE À COCCOLITHES ET FORAMINIFÈRES	Calcite magnésienne Silicates amorphes	Quartz Minéraux détritiques Illite Kaolinite Minéraux opaques Smectite Rhodocrosite
	15,55		BLOC DE BASALTE		

MD 81404

FOSSE ATLANTIS II – NORD PASSAGE

FAÇIÈS

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE



MD 81408

BASSIN DE WANDO

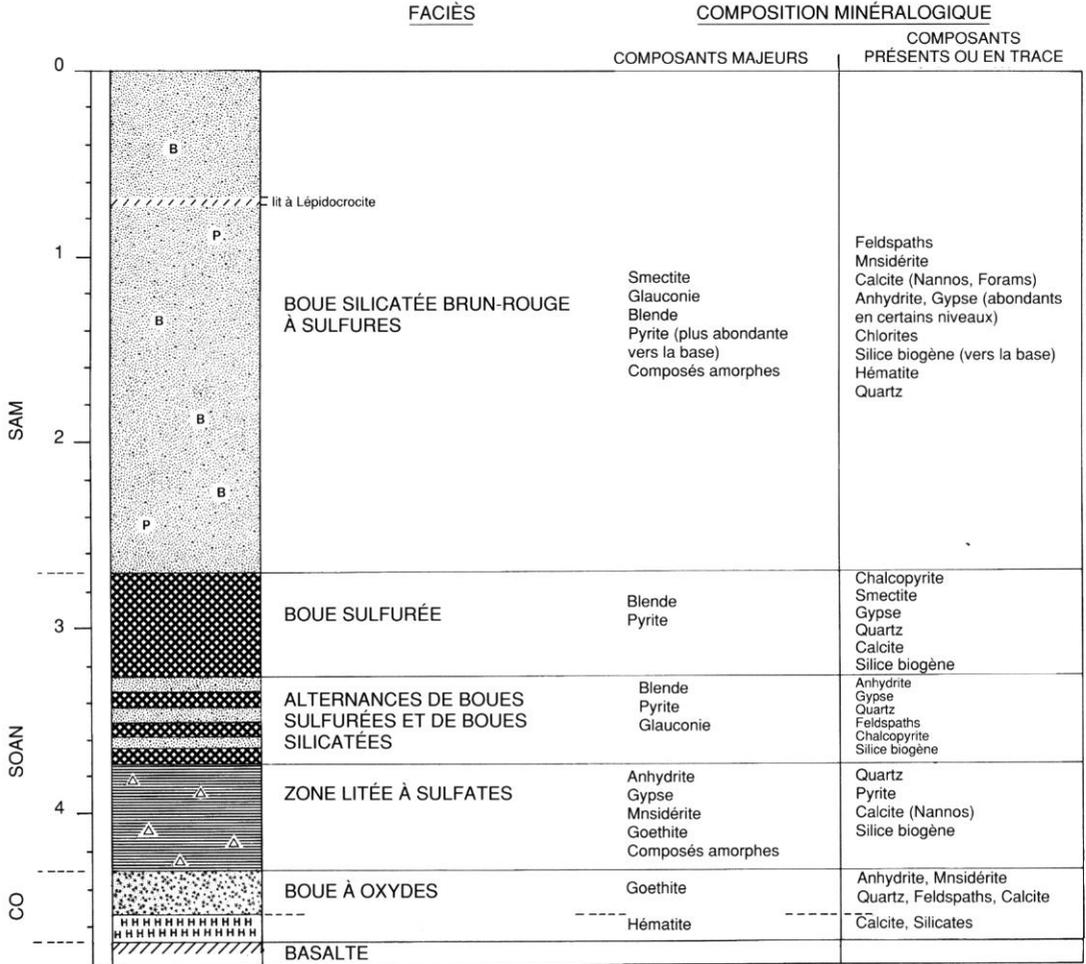
FACIÈS

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE		
		COMPOSANTS MAJEURS	COMPOSANTS PRÉSENTS OU EN TRACE	
UNITÉ 5	0	NIVEAU INDURÉ	Aragonite	Calcite, Goethite, Détritique
		ZONE LITÉE (À OXYDES) HÉTÉROGÈNE DE Mn.	Manganite, Todorokite Calcite (Nannos, Forams) Glauconie, Smectite	Composés amorphes Détritiques, Goethite Sulfates
UNITÉ 4	1	ALTERNANCE DE BOUES ORANGE À GOETHITE ET DE NIVEAUX CARBONATÉS ± INDURÉS	Goethite (bien cristallisée) Aragonite Calcite Mg Mn Sidérite Quartz	Mnsidérite, Composés amorphes Quartz Sidérite Dolomie Nannos, Forams Détritique Smectite Silicates Fer amorphe
	2	BOUE CARBONATÉE HOMOGENÈ BRUN-ORANGE	Calcite (Nanos, Micarb.) Calcite Mg Quartz Smectite	Aragonite Chlorites Illite Kaolinite Dolomie Goethite Forams
UNITÉ 2	3	ALTERNANCE COLORÉE DE BOUES CARBONATÉES ARGILO- DÉTRITIQUES	Calcite (Nannos, Micarb., Forams) Calcite Mg Quartz Détritique Illites	Composés amorphes Dolomie Aragonite Smectite Chlorites Goethite (niveaux orange)
	4	influence sulfurée		Pyrite
UNITÉ 1	5	Lit volcano-détritique BLOC DE SERPENTINE	Calcite (Micarb., Nannos) Calcite Mg Smectite Hématite Oxydes de Mn (dans les zones brun foncé)	Hématite
		influence sulfurée		Quartz Détritique Pyrite (niveaux noirs) Forams Dolomie Illites Chlorites Composés amorphes Mnsidérite

MD 81409

FOSSE ATLANTIS II – BASSIN SUD-OUEST



MD 81412

FOSSE NÉREÛS – BASSIN EST

FACIÈS

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

		COMPOSITION MINÉRALOGIQUE			
		COMPOSANTS MAJEURS	COMPOSANTS PRÉSENTS OU EN TRACE		
UNITÉ 2	0	ALTERNANCE DE LITS CARBONATÉS ± RICHES EN OXY-HYDROXYDES	Carbonates biogènes Aragonite Oxy-hydroxydes amorphes (Fe ou Mn) Goéthite (vers la base) Détritique (localement) Calcite Mg Oxydes de Mn (Todorokite)	Détritique Dolomie Argiles « détritiques » Smectites Silicates amorphes Magnétite Glauconie ?	
	1				
UNITÉ 1	2	BOUE CARBONATÉE SILICATÉE À OXYDES	Smectite Carbonates biogènes Calcite Mg Hématite Magnétite (localement) Oxy-hydroxydes amorphes	Détritique Dolomie Argiles « détritiques » Magnétite Mnsidérite Goéthite Maghémite ? Silicates amorphes	
	2.5				lits à hématite
	3				influence sulfurée

ANNEXE 4

MESURES PHYSIQUES,
TENEURS EN SELS ET CaCO₃

Niveau : profondeur en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire.

% Eau : les pourcentages en eau sont exprimés par rapport au poids humide.

PP gr/cm³ : poids de particules en gr/cm³ (sédiment dessalé).

% sels : les pourcentages en sel sont exprimés par rapport au poids sec non dessalé.

tr : traces.

Porosité : elle est exprimée en pourcentage du volume humide.

% CaCO₃ : les pourcentages en CaCO₃ sont exprimés par rapport au sédiment dessalé.

MD 81388 : Commission I.

Niveau	% Eau	PP gr/cm ³	% sels	Porosité	% CaCO ₃
2	41,5	0,91	tr	65	28,8
7	51,4	0,73	tr	78	23,2
30	43,2	0,95	tr	73	30,8
54	45,0	0,83	tr	68	27,0
80	63,0	0,46	tr	78	34,3
119	58,4	0,58	tr	81	32,2
134	40,7	0,99	tr	68	37,9
146	61,5	0,49	tr	78	29,4
187	62,2	0,54	tr	87	
189	60,6	0,53	tr	81	38,4
214	50,1	0,80	tr	80	37,5
230	44,5	0,87	tr	70	40,7
236	39,7	0,97	tr	64	40,6
247	62,0	0,52	tr		39,9
251	43,9	0,90	tr	70	39,9
257	65,0	0,44	tr	81	38,3
261	46,4	0,82	tr	71	35,2
292	71,4	0,34	tr	84	31,8
315	48,5	0,77	tr	72	38,2
320	46,8	0,78	tr	69	35,2
325	39,2	0,94	tr	61	30,2
330	66,4	0,40	tr	66	38,9
373	46,4	0,84	tr	73	27,2
389	46,9	0,78	tr	69	44,1
409	45,6	0,83	tr	70	24,4
418	49,1	0,76	tr	73	15,2
426	36,5	1,21	tr	70	9,0
444	35,4		tr		48,2
450	46,4	0,85	tr	74	46,2
455	33,7		tr		51,3
467	57,1	0,63	tr	83	28,3
476	49,7	0,73	tr	73	35,9
506	44,9	0,85	tr	69	36,4
519	38,7	0,96	tr	60	35,8
535	52,7	0,62	tr	69	25,4
560	38,4	0,88	tr	55	33,4
577	56,6	0,62	tr	80	32,6
609	25,0	1,43	tr	48	12,0
623	48,3	0,81	tr	76	31,3
630	33,9	1,10	tr	56	14,3

Niveau	% Eau	PP gr/cm ³	% sels	Porosité	% CaCO ₃
639	58,4	0,53	tr	75	11,4
646	29,0	1,23	tr	50	9,5
653	44,4	0,88	tr	71	40,3
664	52,6	0,66	tr	74	14,4
672	48,3	0,75	tr	70	16,5
677	29,5	1,25	tr	52	7,0
681	48,7	0,75	tr	71	44,3
684	47,0	0,84	tr	75	20,7
691	60,0	0,54	tr	80	16,3
694	42,5	0,94	tr	69	20,2
697	51,2		tr		12,8
704	39,5	0,99	tr	65	37,2
715	52,5		tr		9,5
730	49,4	0,73	tr	72	21,4
732	29,9		tr		13,9
734	48,5	0,79	tr	74	11,2
745	32,5		tr		15,5
746					30,6
751	39,4		tr		53,1
757	50,8	0,79	tr	81	29,9
763	41,9	0,93	tr	67	25,8
777	59,1	0,63	tr	92	18,5
792	30,3		tr		13,6
799	61,8	0,45	tr	74	9,7
816	47,3		tr		28,4
837	29,1		tr		21,0
845	57,8	0,59	tr	80	24,6
851	36,1		tr		38,4
857	59,0	0,59	tr	85	19,1
871					29,9
878	47,6	0,76	tr	69	31,8
890	56,0	0,61	tr	78	23,8
893	61,9	0,50	tr	80	21,3
900	31,6				22,7
909	38,9		tr		15,3
919	63,9	0,80	tr		5,2
922	48,8	0,75	tr	71	18,4
924	39,7	0,99	tr	64	23,3
929	57,3	0,59	tr	79	
953	29,1	1,44	tr	59	19,1
956	43,6				44,1
962	40,0	1,16	tr	77	49,2
969	36,0	1,15	tr	65	22,2
984	39,8		tr		28,0
987	40,9	0,98	tr	67	44,5
1021	41,5	0,92	tr	66	44,9
1106	41,4	0,95	tr	67	43,6
1131	42,1	0,89			
1176	40,2	0,99	tr	66	41,8
1257	39,4	0,97	tr	63	41,4
1337	39,6	1,01	tr	66	42,0

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	% Eau	PP gr/cm³	% sels	Porosité	> 20 µm	% CaCO₃
AM	8	70,7	0,10	76,4	99		tr
	30	71,8	0,08	79,4	95	5,3	tr
	82	67,1			88		tr
	112	62,9					tr
	116	61,9		58,1		10,8	tr
SU 2	138	68,2					0
	142	67,7		71,0			0
CO	172	64,6	0,18	61,4	83	tr	tr
	180	64,4	0,18	61,2	87		0
	187	60,6	0,26	52,4	81	0,2	0
	203	62,5	0,22	56,7	83		0
	223	61,2	0,28	54,0	96		0
	225					42,3	0
	261	59,3	0,31	49,7	86	11,2	0
	275					1,6	tr
	280	56,5	0,36	44,2	87		tr
	317	64,8	0,18	64,1	89	4,5	0
COS ?	371	60,6			81		0
	380	66,9	0,14	70,3	93		tr
	407	60,9	0,29	53,7	77		0
	410	72,3		81,6			tr
	420	68,9	0,08	79,4	85		0
	450	68,6	0,11	75,1	97		tr
	458	65,1	0,14	64,1	83		0
	482	69,4	0,07	81,1	90		tr
	496	66,0	0,13	69,4	86		0
	500	61,8		58,7			0
502	66,0	0,12	69,2	75	0,8	tr	
TRANSITION	544	54,3	0,35	44,3	77		67,2
SU 1	552	56,6	0,60		85	8,4	
	567	48,4	0,23	69,0	77	18,8	tr
	599	57,1	0,28	54,0	81	13,4	tr
	645	61,3	0,25	57,7	87		0
	654	67,6	0,11	75,9	94		tr
	682	65,9	0,05	87,7	83		tr
	709	69,1	0,08	80,3	93		0
	738	67,5	0,12	73,4	94		0
	752	52,7	0,43	40,7	78	7,6	tr
DOP	787	56,3	0,35	44,7	79	8,2	31,5
	805	44,9	0,61	30,2	75	19,3	6,8
	812	52,5	0,50	40,9	89	1,9	0
	828	50,0	0,55	35,4	84		tr
	840	50,4	0,50	39,5	86	9,7	tr
	863	33,8	0,75	36,4	63	22,9	70,7
	891	34,4	0,94	18,6	60	16,4	48,3
	893	42,4	0,69	27,3	70		15,4
	894	32,9		18,1			65,2
	895	33,2		19,9			21,4
	897	34,2		19,3			
	900	55,3	0,37	44,2	84		tr
	944	49,7	0,51	35,4	79		
974	30,0		33,4		21,8	70,8	

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	% Eau	PP gr/cm ³	% sels	Porosité	% CaCO ₃
AM	61	69,9	0,08	79,5	91	tr
	122	70,4	0,06	83,9	89	0
	147	70,5			87	0
	192	69,7	0,08	80,8	96	tr
	286	70,0	0,06	83,1	86	tr
	342	69,4	0,06	83,2	85	tr
SU 2	451	68,8			89	tr
	487	69,8	0,09	78,3	92	0
TRANSITION	514	69,1			95	tr
	555	68,1		72,6		tr
CO	569	58,1			86	tr
	598	68,3			87	0,0
	609	66,1		70,0		
	622	52,0	0,41	36,2	65	21,9
COS	635	64,3			85	tr
	648	71,4			80	tr
	781	70,9	0,06	85,7	99	0
	826	37,2	0,68	20,7	69	0
SU 1	842	50,2	0,32	37,8	85	4,9
	885	58,7	0,24	51,2	86	15,2
	907	55,3			68	tr
	937	55,4			72	tr
TRANSITION	965	66,3	0,14	66,7	79	0
	984	65,3			84	0
	1052	51,8	0,45	40,0	84	tr
	1109	61,8		55,1		0,0
	1125	59,2		51,4		tr
DOP	1157	45,2	0,61	30,5	73	18,2
	1177	47,5	0,53	33,5	80	tr
	1200	62,7	0,22	57,5	83	tr
	1280	62,5	0,21	58,5	89	tr
	1355	36,1	0,90	19,6	62	61,3
	1368	48,0			68	
	1421	47,4	0,55	31,0	71	21,6
	1433	35,0	0,86	18,7	56	69,1
	1458	62,7	0,22	55,8	81	tr
	1467	31,8			45	
	1544	31,9	1,04	13,5	55	51,6

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Zonation Backer & Richter (1973)							
	Niveau	% Eau	PP gr/cm³	% sels	Porosité	> 20 µm	% CaCO₃
AM	20	68,0			75		0
	40	69,0	0,06	80,8	74	10,7	0
	60	68,8	0,08	78,0	74		0
	80	69,1	0,07	80,1	71		tr
	100	69,1	0,07	80,1	76		tr
	120	68,9	0,07	79,1	73	11,4	tr
SU 2	140	69,3	0,06	80,6	72	11,4	tr
	210	69,1	0,07	80,8	73	8,6	tr
TRANSITION	278	68,5	0,06	77,7	68	2,6	0
	320	67,1	0,10	73,6	73	6,7	0
CO	350	65,8	0,13	69,3	77	0,4	0
	390	67,1	0,11	73,7	76	2,4	0
COS	435	64,8	0,13	69,4	75	15,2	0
	460	69,4	0,07	79,4	80	4,5	0
	480	69,8	0,06	80,3	73	9,0	0
	525	70,3	0,09	76,0	78	11,6	0
	560	70,2	0,07	81,4	86	17,1	0
SU 1	585	61,4	0,18	58,0	73	6,8	0
DOP	700	56,9	0,30	47,0	72	0,6	0
	825	18,3	1,42	11,0	35	84,4	0

MD 81408 : bassin de Wando.

Séquence	Niveau	% Eau	PP gr/cm³	% sels	Porosité	> 20 µm	% CaCO₃
UNITÉ 5	0	20,6		tr			91,5
	10	68,8	0,21	31,9	76		tr
	26	79,2	0,10	55,6	79		tr
UNITÉ 4	53	77,5	0,13	50,1	90		tr
	84	69,4	0,24	33,8	81		tr
	95	34,4		7,8			46,8
	121	29,4		6,2		26,6	70,9
UNITÉ 3	197	38,6	0,93	9,5	62	9,7	60,3
UNITÉ 2	281	40,8	0,85	11,0	66	65,3	48,5
	298	30,7		7,1			61,9
	311	35,0	1,02	8,5	59	28,9	56,4
	329	33,5	1,09	8,0	60	6,5	68,2
	342	30,9	1,23	7,1	56	3,5	72,2
	353	54,9	0,46	20,3	69	25,7	42,0
	393	27,7	0,97	6,1	62	1,3	67,9
UNITÉ 1	434	56,5	0,50	19,7	78	14,3	38,3
	448	53,5	0,51	17,1	65		tr
	480	56,8	0,48	19,8	75	15,7	29,5
	489	45,9	0,74	12,9	68	12,3	51,0
	499	43,5	0,72	11,8	64	37,8	40,5
	527	53,9		18,4		44,9	48,2

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Zonation
Backer & Richter
(1973)

	Niveau	% Eau	PP gr/cm ³	% sels	Porosité	> 20 µm	% CaCO ₃
SAM	10	71,4	0,08	79,5	90	4,6	tr
	30	70,5	0,08	78,7	86	5,5	tr
	64	72,8	0,06	82,2	85		0
	68	70,4		78,4			0
	105	71,3	0,08	79,1	84	9,3	tr
	132	69,8	0,08	78,9	86	10,5	tr
	186	69,6	0,07	79,7	79	7,0	0
	220	70,9	0,06	84,5	87	tr	0
	240	69,5	0,07	80,8	92		0
SOAN	255	70,1	0,08	79,5	87	10,1	0
	295	68,9	0,08	78,3	82	9,0	tr
	320	56,6	0,31	47,0	73	7,3	tr
	338	62,4	0,22	59,1	83		0
	356	62,7	0,18	56,7	66		0
	388	59,3	0,25	56,3	77	13,5	tr
	402	38,7	0,66	33,4	62		0
	425	62,6	0,17	65,2	82	11,9	tr
CO	440	65,8	0,15	66,9	83	0,3	tr
	488	55,5	0,14	79,2	75	14,2	tr

MD 81412 : Néréus.

Séquence	Niveau	% Eau	PP gr/cm ³	% sels	Porosité	> 20 µm	% CaCO ₃
UNITÉ 2	5	42,1	0,92	tr	71	2,7	65,4
	19	65,3	0,48	10,4	84	11,7	47,4
	27					77,1	
	31	62,9	0,48	8,8	89		
	42	53,6	0,69	6,7	57	25,8	36,2
	63	21,0		tr			
	78	67,5	0,44	11,4	92	2,2	17,4
	92	43,0	0,92	tr	68	9,2	64,2
	107	59,6	0,41	9,0	83	6,8	
UNITÉ 1	115	54,0	0,65	9,1	82	10,2	48,0
	140	53,9	0,68	8,3	76	11,7	45,9
	156	73,3	0,31	22,8	99	11,7	19,6
	187	57,6	0,64	10,4	95	9,2	34,1
	220	61,9	0,50	9,6	89	1,3	
	225	36,9	1,22	6,0	77	1,3	
	230	44,9	0,86	4,1	73		60,2
	244	66,8	0,40	20,6	93		
	260	47,7	0,78	5,6	70	5,4	47,6
	272	39,1	1,18	tr	73	2,5	
	296	44,5	0,82	9,9	72	16,5	70,4

ANNEXE 5

MESURES GÉOCHIMIQUES, EXPRIMÉES
PAR RAPPORT AU POIDS SEC DESSALÉ

Niveau : profondeur en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire.

Ins total : pourcentage pondéral du résidu des deux attaques acides.

Cu total (ppm) et Fe total (%) sont les teneurs en cuivre et fer mis en solution par les deux attaques acides.

Mn (ppm) et Zn (ppm) sont les teneurs en manganèse et en zinc entièrement solubilisés par la première attaque chlorhydrique.

Cu HNO₃ (ppm) et Fe HNO₃ (%) sont les teneurs en cuivre et fer solubilisés par la deuxième attaque nitrique.

tr : traces.

MD 81388 : Commission I.

Séquence	Niveau	Ins total	Cu total	Fe total	Mn	Zn
UNITÉ 2	2	46,5	76	4,5	13415	532
	7	48,2	84	6,2	22046	754
	30	43,9	tr	4,9	5314	tr
	80	25,2	94	9,5	33992	1569
	134	50,4	tr	3,5	7203	tr
	146	28,3	117	9,0	49700	1657
	189	22,9	100	8,9	48617	1486
	230	33,6	tr	5,0	9734	tr
	236	38,9	tr	2,9	5919	624
	257	22,6	92	8,8	42138	1400
	292	10,8	165	13,9	80890	2750
	325	50,9	tr	2,7	2590	tr
	330	6,3	168	13,8	93960	3188
	373	38,9	tr	9,5	26070	978
	426	72,3	tr	3,2	tr	tr
	444	35,9	tr	3,1	16564	488
	450	26,4	75	6,8	12197	651
	455	24,0	tr	3,6	8897	tr
	467	23,4	70	11,7	98681	2277
	519	41,9	tr	4,4	8123	406
	577	29,2	86	9,8	36942	1609
	609	73,1	tr	3,4	5814	tr
	630	66,4	tr	3,1	2822	1006
	639	39,4	109	10,5	45666	1588
	664	48,3	101	8,9	28321	1047
	681	30,9	73	5,3	60703	813
	697	49,2	124	8,1	35911	1077
	715	50,6	123	8,1	53996	1289
	730	43,9	175	15,3	103887	3167
	751	27,4	tr	3,0	1153	3062
777	33,3	tr	6,6	18022	802	
792	71,2	179	7,2	117017	1933	
799	26,1	87	12,6	159661	2976	
845	33,6	tr	12,2	14918	2102	
851	42,4	tr	3,2	20504	2179	
890	28,9	90	10,1	73219	3591	
909	61,0	125	3,8	1280	3906	
919	9,8	126	19,5	201811	5352	
984	45,4	tr	4,7	4520	tr	
UNITÉ 1	987	32,9	tr	4,6	7790	tr
	1106	33,8	tr	4,5	7411	tr
	1337	34,7	tr	4,6	7106	tr

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Zonation Backer & Richter (1973)								
	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO ₃	Fe total	Fe HNO ₃	Mn	Zn
AM	8	30,8	6407	536	33,2	1,9	8969	53855
	30	31,5	7486	422	33,4	1,7	2401	48761
SU 2	116	40,1	21328	15942	24,6	12,0	7859	61491
	142	46,5	530	117	31,8	2,2	2593	5450
CO	172	3,5	315	0	59,2	tr	2103	3229
	180	6,0	243	0	58,3	tr	51516	4139
	187	tr	287	tr	60,3	tr	8996	4822
	203	2,8	tr	tr	61,2	0,6	6035	3866
	223	7,1	720	tr	11,6	tr	414839	1587
	261	tr	1088	tr	22,8	tr	370190	2355
	280	6,1	222	tr	57,0	tr	33044	1416
	317	11,0	1424	tr	53,3	tr	16515	3140
CO ?	380	20,6	1186	tr	60,3	tr	2061	3000
	407	50,3	1844	474	18,9	5,6	19084	22624
	410	35,7	976	tr	28,2	0,9	29568	3031
	420	20,3	2708	136	33,2	tr	59741	6259
	450	27,6	763	tr	39,9	0,7	30953	3280
	458	18,5	1453	tr	48,3	tr	20909	3613
	482	34,9	3280	172	18,7	0,5	72732	1640
	496	3,7	143	0	68,5	0	10390	1740
	500	tr	691	0	10,1	0	508922	1219
	502	tr	556	0	71,4	0	4398	2238
TRANSITION	544	11,6	688	tr	37,5	tr	59848	4919
SU 1	552	37,5	23199	17566	14,7	8,7	4361	136054
	567	33,5	34082	26309	17,7	6,1	12197	81617
	599	38,2	38591	26051	22,0	15,7	tr	92171
	645	27,0	827	tr	34,1	tr	33202	2678
	654	46,4	16451	4246	26,5	13,9	tr	1321
	682	19,1	3927	1187	35,9	2,0	tr	1370
	709	61,3	31916	1070	18,4	2,6	tr	1220
	752	31,0	25576	23893	13,0	7,1	4629	215635
DOP	787	28,8	tr	tr	24,3	tr	45487	2454
	805	39,4	231	tr	13,3	8,9	2316	3139
	812	9,5	233	153	45,5	5,1	7321	2021
	828	4,6	tr	tr	50,0	tr	4335	1561
	840	17,1	129	tr	51,4	tr	tr	842
	863	27,3	tr	tr	6,5	tr	4470	420
	891	28,8	tr	0	5,4	tr	5759	439
	893	52,4	604	155	9,6	1,0	tr	784
	894	20,9	tr	tr	4,0	0,4	4497	899
	895	46,1	114	77	14,8	10,3	2340	4241
	897	40,8	1140	85	5,3	2,3	3164	1091
	900	13,5	tr	0	43,7	tr	2843	1579
	944	18,0	105	0	28,5	tr	4575	915
	974	27,6	tr	0	4,8	tr	10092	329

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Zonation Backer & Richter (1973)								
	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO₃	Fe total	Fe HNO₃	Mn	Zn
AM	61	28,4	4288	160	37,8	0,6	4445	24549
	122	29,7	2403	259	44,3	0,9	2327	5081
	192	30,4	7799	tr	34,5	tr	6415	23405
	286	33,0	4819	tr	31,3	tr	tr	13979
SU 2	342	37,9	6113	474	30,5	1,2	tr	21700
	487	37,4	9899	639	26,7	1,7	2741	69907
TRANSITION	555	27,1	676	0	36,4	0,5	28946	5144
CO	609	4,4	tr	tr	45,3	tr	47697	3910
	622	22,2	127	0	5,5	tr	144583	1585
COS	781	41,9	1065	tr	34,6	0,7	1673	2074
	826	10,8	409	tr	24,2	tr	86609	1667
SU 1	842	40,0	16928	16892	14,5	9,2	5156	124982
	885	44,2	761	122	14,3	0,9	14574	4474
TRANSITION	965	32,3	2612	357	36,2	1,4	tr	1569
	1052	26,8	22877	22779	14,9	5,4	10220	165780
	1109	3,8	242	tr	53,9	tr	tr	1408
	1125	13,6	133	tr	45,1	tr	tr	1421
DOP	1157	42,9	246	183	16,0	11,4	2862	2544
	1177	8,4	1186	168	42,8	1,1	5564	885
	1200	tr	tr	0	54,3	tr	tr	1612
	1280	tr	474	tr	54,0	tr	2065	2639
	1355	30,6	tr	0	3,7	tr	4264	tr
	1421	38,6	435	tr	13,9	tr	9168	486
	1433	24,6	tr	0	2,6	tr	4174	tr
	1458	tr	tr	0	51,2	tr	1930	564
	1544	34,9	tr	0	3,7	tr	2463	tr

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Zonation Backer & Richter (1973)								
	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO ₃	Fe total	Fe HNO ₃	Mn	Zn
AM	40	23,1	3148	249	41,0	0,8	5521	6695
	60	28,5	3702	174	36,3	0,6	9616	6738
	80	28,6	3718	174	35,9	0,5	6940	11074
	100	32,5	4645	104	29,6	0,4	5030	15720
	120	34,0	4342	tr	27,5	tr	4615	16111
SU 2	140	34,0	3519	305	28,2	0,5	4412	10226
	210	32,1	4868	353	23,8	1,6	3839	20589
TRANSITION	278	75,7	530	121	11,9	2,4	tr	1606
	320	22,3	2876	tr	39,8	0,3	15806	3787
CO	350	4,9	tr	0	52,8	tr	tr	4350
	390	9,5	251	tr	45,7	tr	7355	3727
COS	435	20,3	1515	tr	34,0	0,3	30727	2216
	460	48,0	5688	191	20,1	1,5	15913	2236
	480	24,1	713	tr	35,1	0,3	24407	1611
	525	30,3	2250	150	36,7	0,7	14851	2200
	560	48,4	762	tr	28,6	4,5	5066	2357
SU 1	585	48,9	18208	6546	20,6	15,2	3959	18135
DOP	700	tr	212	0	56,2	tr	tr	2372
	825	66,6	325	tr	tr	0,8	tr	tr

MD 81408 : bassin de Wando.

Séquence	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO ₃	Fe total	Fe HNO ₃	Mn	Zn
UNITÉ 5	0	4,3	tr	0	tr	0	tr	tr
	10	17,2	185	0	5,4	tr	349601	8231
	26	40,8	963	tr	26,2	0,4	13166	1354
UNITÉ 4	53	tr	tr	0	56,7	0	4737	677
	84	tr	tr	0	57,2	tr	3391	3243
	95	15,2	tr	0	16,3	tr	17487	1050
	121	16,9	tr	0	tr	tr	3309	tr
UNITÉ 3	197	22,8	tr	0	5,9	tr	3368	tr
UNITÉ 2	281	30,2	tr	tr	9,0	tr	3020	tr
	298	20,2	107	tr	tr	tr	3623	404
	311	26,7	265	tr	6,1	0,3	11850	1262
	329	20,6	tr	0	4,2	tr	7335	409
	342	19,8	tr	0	tr	tr	3531	tr
	353	33,4	tr	0	8,1	0,3	3173	11390
	393	54,6	tr	0	tr	tr	6297	309
UNITÉ 1	434	22,5	254	tr	16,5	tr	48694	5497
	448	31,2	3830	112	12,2	tr	37684	13247
	480	13,8	796	tr	29,8	tr	38311	4933
	489	19,6	tr	0	12,3	tr	19670	1122
	499	17,9	tr	0	13,2	tr	49497	781
	527	24,7	544	104	18,7	tr	33112	2667

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Zonation								
Backer & Richter (1973)								
	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO ₃	Fe total	Fe HNO ₃	Mn	Zn
SAM	10	23,0	8121	455	36,9	1,5	tr	22295
	30	23,4	8262	390	38,0	1,7	tr	24769
	64	41,1	6357	528	29,1	1,9	tr	7566
	68	23,4	905	0	42,7	0,4	tr	7637
	132	32,1	8943	530	23,0	1,9	3448	80046
	186	27,9	6127	429	31,8	1,8	13051	25549
	220	36,0	10637	639	27,5	2,9	tr	49023
	240	51,4	614	134	25,4	1,6	tr	3312
SOAN	255	37,7	10716	1138	25,9	4,8	tr	67397
	295	37,3	11391	1135	25,2	4,9	tr	54446
	320	28,8	19199	11756	11,0	6,9	tr	263364
	338	35,2	21563	9808	17,7	10,0	tr	154650
	356	73,6	1148	tr	10,0	1,1	tr	4102
	388	17,3	1523	183	35,1	0,6	18529	1639
	402	16,3	8812	1903	18,0	5,1	16292	4431
	425	11,2	4315	668	44,0	1,0	7655	946
CO	440	4,0	2739	0	66,3	tr	1180	965
	488	6,3	4772	303	70,5	tr	1959	893

MD 81412 : Néréus.

Séquence	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO ₃	Fe total	Fe HNO ₃	Mn	Zn
UNITÉ 2	5	17,5	141	0	6,5	tr	15925	527
	19	7,6	155	0	19,1	tr	97800	5536
	42	37,6	tr	tr	6,8	2,6	11916	704
	63	3,4	tr	tr	2,8	tr	7003	tr
	78	6,8	221	0	44,2	tr	7176	1128
	92	24,4	tr	0	4,5	tr	11679	389
	107	17,7	760	tr	28,1	tr	10716	2778
UNITÉ 1	115	23,4	368	tr	10,2	tr	9006	234
	140	32,6	tr	tr	5,8	1,1	2698	663
	156	33,5	201	tr	21,8	1,6	3088	tr
	187	17,8	2280	tr	22,1	0,8	5370	tr
	225	tr	1240	0	65,6	tr	5921	tr
	244	12,4	tr	0	48,6	tr	3815	354
	260	16,1	4011	tr	15,7	1,0	6259	1486
	272	9,4	25092	268	37,1	2,9	3645	15288

ANNEXE 6

OBSERVATIONS AU MICROSCOPE OPTIQUE

Le niveau cumulé correspond à la cote en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire.
Les composants sont indiqués par ordre d'importance.

Nannos : nannofossiles calcaires ; (BC), bien conservés ; (MC), mal conservés.

Composant : TBC, très bien cristallisé ; BC, bien cristallisé ; MC, mal cristallisé.

Forams : foraminifères

Micarb : « Micarbonate ». Fraction fine (quelques μm) carbonatée d'origine indéterminable.

Mnsidérite : Manganosidérite.

MD 81388 : Commission I.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
2	Nannos, Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Détritique, Composés + ou – amorphes (globules bruns)	Composés amorphes
7	Nannos, Micarb, Aragonite (baguettes), Globules (MC), Détritique, Argiles	Forams
30	Nannos, Micarb, Aragonite (baguettes), Détritique, Argiles, Composés amorphes (globules jaunes), Forams	
51	Micarb, Forams, Nannos, Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Composés amorphes (globules jaunes), Argiles	Opaques
54	Nannos, Micarb, Aragonite (baguettes), Composés amorphes, Détritique, Forams, Argiles	Opaques
62	Globules bruns MC, Composés amorphes, Argiles, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	Détritique
80	Nannos (MC), Micarb, Aragonite (baguettes), Argiles, Globules bruns MC, Forams	Détritique fin
119	Argiles, Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Détritique grossier, Amorphes (globules jaunes)	Forams
134	Forams, Détritique grossier, Argiles (gds mx), Micarb, Aragonite (baguettes), Opaques	Nannos (MC)
140	Composés MC, Détritique grossier, Forams, Micarb, Aragonite (baguettes)	Nannos (MC)
146	Globules bruns amorphes, Nannos (MC), Micarb, Aragonite (baguettes), Composés MC, Détritique fin	Opaques, Forams
155	Micarb, Nannos (BC), Composés amorphes, Détritique, Forams	
161	Forams, Détritique, Nannos (BC), Micarb, Aragonite (baguettes), Amorphes	Opaques
170	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Détritique, Forams	
178	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique, Forams	Opaques
188	Globules bruns MC, Amorphes, Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique grossier	Opaques
196	Globules bruns MC, Amorphes, Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique grossier	Opaques
205	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique, Forams	Opaques
213	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique, Forams	Opaques
225	Nannos (BC), Micarb, Forams, Aragonite (baguettes), Détritique grossier, gros mx argileux	Opaques, Amorphes
229	Nannos (BC), Micarb, Forams, Aragonite (baguettes), Détritique, Amorphes	Opaques,
234	Nannos (BC), Micarb, Forams, Aragonite (baguettes), Détritique grossier, grands mx argileux	Opaques, Amorphes

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
244	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique	Opaques
247	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Forams, Détritique	Opaques
251	Micarb, Nannos (BC), Forams, Aragonite (baguettes), Détritique grossier	Opaques, Amorphes
252	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Forams, Amorphes	Pyrite, Opaques anguleux
257	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Forams, Aragonite (baguettes), Détritique	
265	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique grossier	
267	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Forams, Amorphes, Détritique fin	Opaques
292	Amorphes, Micarb, Nannos (BC), Forams	Détritique fin, Opaques
315	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Amorphes, Forams	Opaques
320	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Forams, Amorphes	Opaques anguleux
325	Détritique grossier, Forams, Nannos (BC), Micarb, Amorphes	
330	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	Détritique fin
332	Goethite (?), Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams	Détritique
336	Goethite (?), Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams	Détritique
360	Micarb, Aragonite (baguettes), Amorphes, Nannos, Détritique, Forams	Opaques
373	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique grossier, Forams	Opaques
376 a	Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Amorphes, Opaques anguleux	
376 b	Détritique grossier, Mx argileux, Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	Opaques
384	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Forams, Opaques, Amorphes, Discoasters	
389	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Détritique, Forams	Amorphes, Opaques
400	Détritique grossier, Forams, Opaques anguleux, Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	
402	Aragonite (baguettes), Micarb, Forams, Détritique grossier, Nannos (MC),	Opaques, Amorphes
410	Aragonite (baguettes), Micarb, Forams, Détritique grossier, Nannos (MC),	Opaques, Amorphes
418	Amorphes, Détritique, Opaques, Forams, Nannos (MC), Micarb, Aragonite (baguettes)	
427	Opaques (Pyrite ?), Détritique grossier, Amorphes, Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	
443	Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Détritique, Verre volcanique, Nannos (MC)	Opaques, Amorphes
451	Amorphes, Micarb, Forams, Détritique grossier, Nannos (MC)	Opaques
455	Aragonite (baguettes), Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Détritique fin	Opaques
461	Micarb, Aragonite (baguettes), Amorphes, Nannos (MC), Détritique fin	Opaques
468	Amorphes, Détritique grossier, Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Nannos (MC)	
476	Aragonite (baguettes), Micarb, Amorphes, Nannos (MC), Forams, Détritique fin	Opaques
492	Amorphes, Micarb, Aragonite (baguettes), Détritique fin, Verre volcanique	Opaques
500	Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Forams, Détritique grossier	Amorphes, Opaques
503	Amorphes, Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Détritique fin	

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
506	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique fin	Opaques
510	Mx argileux, Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Amorphes, Détritique grossier	Opaques
513	Détritique grossier, Mx argileux, Forams, Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos	Opaques
519	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Forams, Amorphes, Opaques anguleux	
525	Amorphes, Aragonite (baguettes), Micarb, Forams, Détritique grossier, Nannos (MC)	Opaques
535	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique fin, Forams	
560	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique fin, Forams, Opaques	
578	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique fin	Opaques
609	Détritique grossier, Forams, grands mx argileux, Amorphes (jaunes), Micarb, Nannos (MC), Opaques	
621	Amorphes (jaunes), Micarb, Détritique grossier, Aragonite (baguettes), Nannos (MC)	Opaques
629	Verre basaltique altéré, Détritique grossier, Forams, Argiles, Opaques	Micarb, Nannos
639	Amorphes (brun-jaune), Micarb, Nannos (MC), Forams, Aragonite (baguettes), Détritique fin, Globules bruns MC	Opaques
646	Détritique grossier, Argiles, Verre basaltique, Forams, Opaques, Micarb, Nannos	
653	Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Globules amorphes (jaunes), Forams, Opaques, Détritique	Globules amorphes (bruns)
664	Détritique grossier, Globules amorphes ou MC (brun-jaune), Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	Opaques
672	Globules amorphes (jaunes), Détritique grossier, Micarb, Nannos (MC), Forams, Aragonite (baguettes)	Opaques
681	Micarb, Nannos, Forams, Détritique grossier, Aragonite (baguettes), Globules amorphes (jaunes)	Opaques
684	Détritique grossier, Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Globules amorphes (jaunes), Nannos (MC)	Opaques
691	Composés amorphes ou MC (brun), Détritique, Forams	Micarb, Nannos
694	Micarb, Globules MC (brun-jaune), Détritique grossier, Forams, Nannos	Gros Opaques anguleux
697	Composés amorphes (jaune-brun), Globules bruns MC, Détritique grossier, Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite	Opaques
704	Micarb, Globules + ou – amorphes (jaunes), Forams, Détritique, Opaques	
715	Globules bruns MC, Détritique grossier, Micarb, Nannos (MC)	Opaques
720	Micarb, Forams, Détritique grossier, Opaques	
730	Globules amorphes (brun-jaune), Détritique grossier, Micarb, Nannos (MC), Forams	Globules bruns MC Opaques
732	Détritique grossier, Forams, Argiles, Verre basaltique, Micarb, Nannos (MC), Amorphes (jaunes)	
734	Globules amorphes (jaune-brun), Détritique grossier, Forams, Micarb, Nannos (MC)	Opaques
745	Détritique grossier, Opaques, Forams, Micarb, Nannos (MC), Argile brune	
746	Micarb, Forams, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Opaques	Globules jaunes amorphes
751	Micarb, Globules jaunes amorphes, Nannos (MC), Détritique fin	Forams, Opaques
757	Amorphes jaunes + ou – globuleux, Micarb, Nannos (MC), Forams, Détritique grossier	Opaques

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
763	Globules jaunes amorphes, Micarb, Nannos (MC), Forams, Détritique fin, Opaques	
777	Argiles brunes, Globules bruns opaques, Détritique grossier, Micarb, Nannos, Forams	
789	Micarb, Nannos (MC), Détritique grossier, Forams, Globules jaunes amorphes	Opaques
792	Détritique grossier, Argiles, Opaques, Forams, Globules bruns opaques, Globules jaunes amorphes	Micarb, Nannos (MC)
799	Composés brun-jaune et Globules bruns amorphes, Détritique fin, Forams, Micarb	Nannos
816	Composés brun-jaune et Globules bruns amorphes, Détritique fin, Micarb, Nannos (MC), Forams, Opaques	
834	Micarb, Nannos (MC), Détritique fin, Globules jaunes amorphes	Opaques
837	Détritique grossier, Argiles, Forams, Grands Opaques, Micarb, Nannos (MC)	Globules jaunes amorphes
845	Globules jaunes amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Détritique fin	Opaques
851	Micarb, Nannos, Argiles, Opaques, Détritique grossier, Forams	
857	Composés bruns amorphes, Globules bruns MC, Détritique fin	Micarb, Nannos (MC), Forams
871	Composés bruns amorphes, Globules bruns MC, Détritique fin	Micarb, Nannos (MC), Forams
878	Composés jaunes amorphes, Micarb, Nannos (MC), Détritique fin, Forams, Globules brun-jaune amorphes	Opaques
890	Composés bruns amorphes, Globules bruns MC, Détritique fin	Micarb, Nannos (MC), Forams
893	Composés bruns amorphes, Globules bruns MC, Détritique fin	Micarb, Nannos (MC), Forams
900	Détritique grossier, Argiles, Micarb, Nannos	Aragonite (baguettes)
909	Détritique grossier, Argiles, Opaques, Composés amorphes jaunes, Forams, Micarb, Nannos (MC)	
915	Composés jaune-brun amorphes, Globules bruns, Détritique fin, Micarb, Nannos (MC), Forams	Opaques
916	Composés jaune-brun et Globules bruns amorphes, Nannos, Aragonite (baguettes), Détritique grossier	
919	Composés jaune-brun amorphes, Globules incolores de silice amorphe	Détritique fin, Micarb, Nannos
922	Composés jaunes et Globules brun-jaune amorphes, Nannos (MC), Micarb, Détritique fin	Opaques, Aragonite (baguettes)
924	Détritique grossier, Micarb, Nannos, Aragonite (baguettes), Globules jaunes amorphes, Forams, Opaques	
929	Composés rouge-brun amorphes (Goéthite ou Hématite MC)	Micarb, Nannos, Détritique
946	Composés brun-jaune amorphes, Globules bruns + ou – opaques, Détritique fin, Nannos (MC), Forams	Opaques
953	Détritique grossier, Forams, Gros Opaques	Micarb, Nannos
956	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique fin, Globules jaunes amorphes	Opaques
962	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams, Globules jaunes amorphes, Détritique fin	
969	Globules jaunes amorphes, Détritique grossier, Micarb, Nannos, Forams	Opaques
984	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (baguettes), Globules jaunes amorphes, Opaques, Détritique fin	Discoasters
987	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1021	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1106	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1176	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1257	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1297	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1337	<i>id.</i>	<i>id.</i>

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Smectite, Glauconie, Mnsidérite, Pyrite	Quartz, Feldspaths
8	Smectite, Glauconie, Pyrite, Mnsidérite	Quartz
30	Smectite, Glauconie, Mnsidérite, Pyrite	Quartz, Feldspaths
65	Glauconie TBC	
82	Mnsidérite, Glauconie BC	Silice biogène, Quartz
112	Pyrite, Silicates amorphes, Silice biogène, Sphérules de silice amorphe	Forams, Anhydrite, Barytine, Détritique
121	Smectite brune BC, Glauconie	
138	Glauconie BC	Silicates amorphes
154	Goethite ou Lépidocrocite MC	Mnsidérite
155	Silicates amorphes ou MC, Mnsidérite, Barytine	Gypse
160	Goethite MC, Mnsidérite	Quartz, Barytine
168	<i>id.</i>	<i>id.</i>
172	Goethite BC	Mnsidérite
180	Goethite BC (ou Hématite ?), Mnsidérite	Détritique
187	Goethite TBC	Mnsidérite, Détritique
194	Goethite BC	Mnsidérite
197	Goethite BC	Quartz
200	Goethite BC	
203	Goethite TBC	
206	Goethite BC	
208	Goethite BC	Détritique
228	Oxydes de Mn BC	Quartz
243	Goethite TBC	
247	Goethite BC	Oxydes de Mn BC
249	Oxydes de Mn BC	Quartz
251	Goethite MC ou Hématite	Quartz
261	Oxydes de Mn BC	Détritique, Mnsidérite (?)
275	Goethite MC, Forams, Quartz, Mnsidérite	
277	Goethite MC, Mnsidérite	Détritique
280	Goethite TBC	Mnsidérite, Détritique
283	Goethite MC, Oxydes de Mn	Quartz
297	Goethite MC, Silicates amorphes, Mnsidérite, Forams recristallisés	Quartz
317	Goethite MC, Silicates amorphes, Forams recristallisés, Mnsidérite	Glauconie, Détritique, Verre volcanique
334	Smectite brune MC, Glauconie BC, Mnsidérite	Quartz
351	Goethite MC, Oxydes de Mn BC, Micarb, Mnsidérite	Silice biogène, Quartz
364	Smectite brune MC, Carbonates biogènes recristallisés, Mnsidérite	Quartz
371	Détritique, Smectite BC, Silicates amorphes, Carbonates recristallisés, Mnsidérite, Opaques	Glauconie
380	Goethite MC	Mnsidérite, Glauconie, Détritique
402	Smectite brune TBC	Mnsidérite
404	Micarb, Nannos (BC), Forams, Glauconie BC, Opaques, Mnsidérite	Silice biogène, Quartz
405	Micarb, Nannos (BC), Forams, Aragonite (?), Glauconie ou Smectite, Silice biogène, Silicates amorphes, Opaques	Quartz
406	Silice biogène, Micarb, Nannos (BC), Forams, Silicates + ou - amorphes, Aragonite, Détritique, Pyrite	
407	Mnsidérite, Glauconie BC, Détritique, Pyrite	
410	Smectite BC	Mnsidérite, Pyrite
420	Glauconie BC, Mnsidérite	Forams recristallisés, Détritique
424	Smectite brune, Glauconie, Mnsidérite	Pyrite, Quartz, Silice biogène
430	Mnsidérite, Smectite brune	Quartz
438	Smectite brune TBC, Mnsidérite	Quartz, Verre volcanique
450	Smectite brune TBC, Mnsidérite	Quartz

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
458	Glauconie ou Smectite BC, Goethite MC, Mnsidérite	Quartz, Pyrite
462	Smectite TBC	
467	Glauconie TBC, Mnsidérite, Quartz	Forams, Micarb
471	Smectite MC	Nannos, Mnsidérite
475	Goethite TBC	Quartz, Mnsidérite
477	Smectite brune TBC, Mnsidérite	Quartz
482	Glauconie TBC, Mnsidérite	
489	Goethite TBC	Mnsidérite, Quartz
491	Goethite BC ou Hématite	Mnsidérite
493	Smectite BC ou Hématite, Oxydes de Mn, Smectite brune, Glauconie	Quartz, Mnsidérite
496	Goethite TBC, Hématite (?)	Mnsidérite, Quartz
500	Oxydes de Mn TBC	
502	Goethite TBC	Mnsidérite, Quartz
522	Smectite brune TBC	Mnsidérite
530	<i>id.</i>	<i>id.</i>
535	Mnsidérite	
538	Glauconie TBC	Quartz
542	Smectite ou Glauconie MC, Pyrite, Silice biogène, Micarb, Forams, Aragonite (?), Nannos (MC), Quartz	Mnsidérite
544	Mnsidérite	Détritique, Pyrite, Silice biogène
552	Mnsidérite, Carbonates biogènes, Sphérules de silice amorphe, Pyrite	Silice biogène, Détritique, Blende
567	Pyrite, Silice biogène, Sphérules de silice amorphe, Micarb, Nannos (MC)	Quartz, Blende
581	Pyrite, Silice biogène MC	Gypse, Détritique
599	Pyrite, Silice biogène	Forams, Blende, Détritique
612	Micarb, Nannos (MC), Mnsidérite, Silicates amorphes, Silice biogène, Pyrite, Glauconie, Sphérules de silice amorphe	Détritique
617	Pyrite, Silice biogène, Glauconie	Forams, Micarb, Détritique
618	Pyrite, Silice biogène, Sphérules de silice amorphe, Glauconie	Détritique
622	Mnsidérite, Pyrite, Quartz, Smectite brune	Sphérules de silice amorphe
635	Mnsidérite, Pyrite	Quartz, Silice biogène
639	Pyrite, Mnsidérite, Silice biogène MC	
641	Verre volcanique, Smectite brune, Mnsidérite, Glauconie	Pyrite, Silice biogène
645	Glauconie TBC, Mnsidérite	Pyrite
647	Mnsidérite, Verre volcanique, Smectite ou Glauconie	Opaques
654	Glauconie MC, Pyrite, Silice biogène	
666	Smectite brune MC, Glauconie BC, Verre volcanique, Mnsidérite	Forams
674	Silicates amorphes, Pyrite, Mnsidérite	Silice et Carbonates biogènes, Quartz
682	Smectite brune TBC, Verre volcanique	Mnsidérite
706	Mnsidérite, Glauconie BC	Verre volcanique, Quartz
709	Glauconie BC	Pyrite
716	Glauconie BC, Pyrite, Mnsidérite	Silice biogène, Micarb
725	Glauconie TBC, Pyrite	Silice biogène
728	Pyrite, Silice biogène, Micarb	Nannos (MC), Sphérules amorphes
734	Mnsidérite, Micarb, Carbonates biogènes recristallisés, Pyrite	
738	Glauconie TBC	
752	Pyrite, Sphérules de silice amorphe, Silice biogène	Micarb, Détritique, Blende, Gypse
761	Gypse, Pyrite, Mnsidérite, Silicates amorphes	Silice biogène, Verre volcanique, Quartz
766	<i>id.</i>	<i>id.</i>
778	Goethite TBC	Mnsidérite
783	Composés amorphes, Débris carbonatés recristallisés, Mnsidérite	Quartz

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
787	Micarb, Forams, Aragonite (?), Composés amorphes, Amas carbonatés	Détritique, Glauconie, Nannos (MC)
797	Pyrite grossière, Détritique	Forams
805	Carbonates et Silice biogènes, Pyrite, Détritique	Verre volcanique
812	Goethite ou Lépidocrocite, Mnsidérite, Pyrite	Détritique, Silice biogène
817	Goethite BC, Mnsidérite	Micarb, Quartz
819	Carbonates biogènes recristallisés en Mnsidérite, Composés amorphes	Quartz
822	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (?), Forams, Quartz	Opaques
828	Goethite BC, Mnsidérite	Micarb, Quartz
830	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (?), Quartz, Composés amorphes	
840	Composés rouges MC, Barytine (?), Mnsidérite	
847	Micarb	Aragonite, Quartz, Nannos recristallisés
855	Micarb, Nannos (BC), Forams, Aragonite, Amas carbonatés, Pyrite, Détritique	
860	Micarb, Aragonite (?), Quartz	
863	Carbonates biogènes recristallisés, Amas carbonatés, Quartz	Opaques, Composés amorphes
880	Carbonates biogènes recristallisés, Amas carbonatés, Quartz, Composés amorphes	
886	Micarb, Détritique	
890	Carbonates biogènes + ou – recristallisés, Amas carbonatés, Détritique, Composés amorphes	Opaques
893	Carbonates biogènes + ou – recristallisés, Smectite ou Glauconie, Détritique, Opaques (Pyrite?)	
894	Carbonates biogènes, Aragonite, Pyrite	Quartz
895	Pyrite, Glauconie ou Smectite, Carbonates biogènes, Détritique	
897	Nannos, Micarb, Forams, Aragonite (?), Détritique, Pyrite	
898	Lépidocrocite ou Goethite MC, Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Détritique	
900	Goethite ou Lépidocrocite BC	Nannos et Forams recristallisés
901	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Lépidocrocite ou Goethite MC, Détritique	Nannos
905	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Quartz	Pyrite
909	Goethite ou Lépidocrocite BC	Nannos et Forams recristallisés
911	Micarb, Forams, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Quartz	Composés amorphes
913	Lépidocrocite MC, Micarb, Nannos (MC), Forams, Aragonite (?)	
915	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Détritique	Pyrite
916	<i>id.</i>	<i>id.</i>
925	Carbonates très recristallisés	
936	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Détritique	
944	Lépidocrocite ou Goethite	Carbonates

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Smectite	Forams, Nannos, Détritique, Mnsidérite
61	<i>id.</i>	<i>id.</i>
147	Smectite	Quartz, Nannos, Mnsidérite

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
192	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Smectite, Micarb, Mnsidérite, Opaques	Forams, Nannos, Détritique, Glauconie
218	Micarb, Nannos, Silicates et Oxy-Hydroxydes amorphes, Forams	Mnsidérite, Opaques, Détritique, Glauconie
232	Smectite, Oxy-hydroxydes amorphes, Micarb	Quartz, Forams, Opaques,
	Glauconie	
249	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Micarb, Quartz, Opaques, Glauconie
286	Smectite, Oxy-hydroxydes amorphes	Carbonates biogènes, Opaques, Glauconie
331	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Micarb, Quartz
342	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Glauconie	Détritique, Micarb, Opaques
352	Glauconie, Mnsidérite	Opaques, Pyrite
353	Mnsidérite, Glauconie	Opaques, Carbonates, Anhydrite
375	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Glauconie	Micarb, Nannos, Forams, Quartz
451	Opaques, Smectite, Glauconie	Quartz, Nannos, Silicates amorphes
464	Smectite	Quartz, Glauconie, Silicates amorphes
487	Smectite, Glauconie, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Pyrite, Quartz
488	Goethite	Oxy-hydroxydes amorphes, Opaques
505	Glauconie	Micarb, Nannos, Opaques, Pyrite
507	Mnsidérite, Glauconie	Détritique, Opaques, Pyrite, Anhydrite
518	Mnsidérite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Anhydrite	Opaques, Pyrite, Nannos, Glauconie
525	Mnsidérite, Glauconie	Opaques, Quartz, Forams
546	Glauconie, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Silice biogène	Sphérules amorphes, Anhydrite, Opaques
555	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Mnsidérite	Micarb, Nannos, Glauconie, Opaques
560	Mnsidérite, Silicates amorphes, Détritique fin	Glauconie, Silice et carbonates biogènes
569	Smectite, Carbonates authigènes et détritiques	Oxy-hydroxydes amorphes, Détritique
576	Goethite	Détritique, Opaques
586	<i>id.</i>	<i>id.</i>
592	Goethite, Opaques	Détritique, Mnsidérite
598	Goethite	Opaques, Quartz, Micarb
600	<i>id.</i>	<i>id.</i>
616	Micarb, Nannos, Forams, Détritique, Verre volcanique	Opaques
617	Micarb, Nannos, Silicates amorphes	Forams, Détritique, Opaques, Verre volc.
622	Opaques, Goethite, Composés amorphes	Carbonates biogènes, Détritique
625	Micarb, Forams, Nannos, Silicates amorphes, Détritique, Verre volcanique	Discoasters, Opaques
635	Silicates amorphes, Smectite, Micarb, Nannos	Quartz, Opaques
648	Glauconie	Carbonates et Silice biogènes, Mnsidérite
650	Mnsidérite, Micarb, Nannos, Carbonates authigènes	Détritique, Glauconie, Forams, Amorphes

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
658	Mnsidérite, Silicates amorphes	Détritique, Smectite, Pyrite, Glauconie
659	Glauconie	Opaques, Pyrite, Diatomées
669	Smectite, Glauconie, Silicates amorphes	Micarb, Forams, Opaques
682	Smectite, Silicates amorphes	Glauconie, Détritique, Bioclastes
776	Smectite	Glauconie, Opaques, Micarb, Quartz
826	Mnsidérite	Détritique, Glauconie, Opaques, Micarb
828	Glauconie	Opaques, Silice biogène
834	Micarb, Nannos, Opaques, Silice biogène, Sphérules de silice amorphe	Forams, Glauconie, Silicates amorphes
842	Opaques, Pyrite	Détritique, Nannos, Micarb, Silice biogène
856	Silicates amorphes, Micarb, Nannos, Mnsidérite, Opaques	Diatomées, Glauconie, Anhydrite, Forams
860	Mnsidérite, Opaques	Quartz, Silicates amorphes, Glauconie
873	Opaques, Pyrite, Silice biogène	Micarb, Forams, Sphérules amorphes
885	Glauconie, Micarb, Nannos, Mnsidérite, Opaques	Forams, Détritique, Silice biogène
890	Mnsidérite, Opaques, Micarb, Silice biogène	Détritique, Smectite, Sphérules amorphes
901	Micarb, Nannos, Opaques, Silicates amorphes, Détritique	Mnsidérite, Sphérules amorphes
904	Opaques, Silicates amorphes, Smectite, Détritique	Mnsidérite, Silice biogène, Verre volc.
907	Opaques, Sphérules de silice amorphe	Silice biogène, Micarb, Forams
912	Mnsidérite, Opaques	Quartz, Silicates amorphes, Diatomées
916	Opaques (Pyrite ?), Micarb, Nannos, Mnsidérite, Silice biogène	Forams, Silicates amorphes, Glauconie
923	Smectite	Mnsidérite, Micarb
933	Calcite authigène	Détritique, Silicates amorphes, Diatomées
940	Opaques (Pyrite ?), Sphérules amorphes, Silice biogène, Micarb	Quartz, Mnsidérite
945	Smectite	Opaques, Quartz, Mnsidérite
958	Smectite, Mnsidérite (?)	Forams, Opaques, Détritique, Verre volc.
963	Opaques (Pyrite ?), Silice biogène, Sphérules de silice amorphe	Micarb, Mnsidérite, Détritique
973	Silicates amorphes, Mnsidérite	Micarb, Opaques, Verre volcanique
984	Opaques, Silice biogène, Mnsidérite, Micarb	Détritique, Silicates amorphes, Glauconie
994	Opaques, Micarb, Nannos	Détritique, Mnsidérite, Amorphes, Diatomées
1003	Smectite, Micarb, Nannos	Verre volcanique, Quartz
1012	Silicates amorphes, Mnsidérite, Micarb, Smectite	Forams, Opaques, Quartz, Verre volcanique
1034	Mnsidérite	Opaques, Quartz, Micarb
1041	Mnsidérite, Opaques	Smectite, Amorphes, Quartz, Glauconie

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
1052	Opaques (Pyrite ?), Silice biogène	Micarb, Quartz, Forams, Verre volcanique
1062	Goethite, Silicates amorphes	Micarb, Nannos, Forams, Quartz
1064	Silicates amorphes, Micarb, Nannos, Forams	Opaques, Quartz, Smectite, Mnsidérite
1065	Micarb, Nannos, Forams	Glauconie, Opaques, Quartz, Verre volc.
1067	Goethite	Nannos, Micarb, Opaques
1069	Micarb, Nannos, Forams	Quartz, Glauconie, Silicates amorphes
1071	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes, Opaques	Quartz, Glauconie, Verre volcanique
1075	Micarb, Nannos, Forams, Glauconie, Quartz, Opaques	Silicates amorphes
1080	Micarb, Nannos, Opaques, Smectite, Quartz, Forams	Silicates amorphes
1109	Goethite	Quartz, Micarb, Nannos
1120	Goethite, Silicates amorphes	Quartz, Opaques, Micarb
1125	Goethite ou Lépidocrocite	Détritique, Micarb, Opaques
1129	Micarb, Nannos, Forams	Détritique, Silicates amorphes, Verre volc.
1133	Micarb, Nannos, Détritique, Opaques, Forams	Smectite, Mnsidérite, Silicates amorphes
1138	Micarb, Nannos, Forams, Opaques	Quartz, Glauconie, Silicates amorphes
1150	Goethite	Mnsidérite, Forams, Opaques
1157	Opaques, Forams, Micarb, Nannos, Quartz	Smectite, Silicates amorphes
1162	Goethite	Mnsidérite, Forams
1177	Goethite, Mnsidérite	Opaques, Forams, Barytine
1213	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes	Opaques, Glauconie, Quartz
1228	Goethite, Mnsidérite	Micarb, Opaques
1234	Mnsidérite, Opaques	Quartz, Silicates amorphes
1244	Goethite	Verre volcanique, Opaques
1256	Mnsidérite	Quartz, Silicates amorphes, Forams
1261	Goethite, Verre volcanique	Forams, Mnsidérite, Quartz, Opaques
1280	Goethite	Mnsidérite, Opaques
1310	Goethite	Opaques, Mnsidérite, Nannos, Forams
1325	Micarb, Nannos, Silicates amorphes, Détritique	Opaques, Glauconie, Verre volcanique
1335	Micarb, Nannos, Forams	Silicates amorphes, Détritique, Verre volc.
1355	Micarb, Nannos, Silicates amorphes	Détritique, Opaques, Glauconie, Verre volc.
1368	Composés amorphes (Oxy-hydroxydes ?)	Carbonates biogènes, Détritique, Mnsidérite
1380	Micarb, Nannos, Carbonates détritiques, Détritique, Silicates amorphes	Calcite authigène, Verre volcanique, Opaques
1400	Micarb, Nannos, Carbonates détritiques	Opaques, Détritique, Silicates amorphes

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
1408	Goethite, Micarb, Nannos	Quartz, Opaques
1417	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1421	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes, Opaques, Détritique	
1433	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes	Verre volc., Opaques, Glauconie, Détritique
1458	Goethite	Détritique, Opaques, Quartz, Barytine (?)
1467	Micarb, Nannos, Forams, Opaques, Silicates amorphes	
1494	Micarb, Nannos, Forams, Détritique	Opaques, Silicates amorphes
1544	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes, Opaques	Quartz

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Glauconie	Carbonates biogènes, Détritique, Diatomées
20	<i>id.</i>	<i>id.</i>
37	Goethite	Carbonates biogènes, Détritique, Glauconie
40	Glauconie, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes, Smectite	Carbonates biogènes, Détritique, Mnsidélite
43	Glauconie	Silicates amorphes, Quartz, Opaques
60	Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes, Glauconie, Mnsidélite	Carbonates biogènes, Quartz, Opaques
80	<i>id.</i>	<i>id.</i>
100	<i>id.</i>	<i>id.</i>
120	Glauconie, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes, Mnsidélite, Micarb, Nannos, Forams	Détritique, Opaques
140	<i>id.</i>	Quartz, Opaques, Barytine (?)
170	Glauconie, Silicates amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Opaques	Quartz
190	Glauconie, Micarb, Nannos, Forams, Opaques, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes	Détritique, Mnsidélite
210	Glauconie, Silicates amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Opaques	Mnsidélite, Détritique
230	<i>id.</i>	<i>id.</i>
250	<i>id.</i>	<i>id.</i>
270	<i>id.</i>	<i>id.</i>
278	Glauconie	Opaques
287	Opaques, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Sphérules de silice amorphe	Carbonates biogènes, Diatomées, Barytine
290	<i>id.</i>	<i>id.</i>
307	Glauconie, Silicates amorphes	Détritique, Barytine (?)
320	Goethite, Mnsidélite, Glauconie	Quartz
323	Silicates amorphes, Glauconie MC, Mnsidélite, Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz, Nannos, Opaques
336	Goethite MC, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Mnsidélite, Glauconie
350	Goethite BC	Détritique, Mnsidélite
366	Goethite, Silicates amorphes	Quartz, Opaques, Mnsidélite, Glauconie
375	Glauconie, Goethite MC	Détritique, Opaques
377	<i>id.</i>	<i>id.</i>
390	Goethite MC, Barytine, Mnsidélite	Détritique

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
413	Mnsidérite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Détritique, Opaques, Glauconie
422	Goethite MC	Glauconie, Mnsidérite, Détritique, Opaques
424	Goethite	<i>id.</i>
430 a	Mnsidérite, Micarb	Détritique, Amorphes, Glauconie, Nannos
430 b	Smectites, Silicates amorphes	<i>id.</i>
437	Smectite, Silicates amorphes, Mnsidérite, Glauconie	Quartz, Micarb, Opaques
446	Glauconie, Mnsidérite	Quartz, Opaques, Silicates amorphes
456	Glauconie, Oxy-hydroxydes amorphes, Mnsidérite	Détritique, Diatomées, Silicates amorphes
460	Glauconie, Opaques, Mnsidérite, Sulfures amorphes ?, Oxy-hydroxydes amorphes	
480	Smectite, Silicates amorphes, Mnsidérite, Oxy-hydroxydes amorphes	Micarb, Opaques, Glauconie
506	Goethite, Oxy-hydroxydes amorphes	Détritique, Barytine, Mnsidérite, Glauconie
525	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Mnsidérite, Glauconie	Micarb, Quartz, Opaques
560	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Glauconie	Détritique, Mnsidérite, Nannos, Opaques
565	Glauconie	Amorphes, Opaques, Mnsidérite, Micarb
567	Mnsidérite, Micarb	Opaques, Nannos
577	<i>id.</i>	<i>id.</i>
585	Opaques (Pyrite ?), Silicates amorphes, Silice biogène, Glauconie	Détritique, Sphérules amorphes, Verre volc.
595	Opaques, Silicates amorphes, Mnsidérite	Détritique, Silice biogène
606	Glauconie, Carbonates détritiques, Silicates amorphes	Micarb, Nannos, Diatomées, Mnsidérite
625	Smectite, Silicates amorphes, Glauconie, Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz, Micarb, Mnsidérite
640	Glauconie, Opaques	Sulfures amorphes ?
659	Glauconie	Opaques, Sulfures amorphes
670	Mnsidérite, Glauconie, Opaques	Détritique, Verre volc., Diatomées, Amorphes
680	Micarb, Aragonite (Baguettes), Nannos, Forams, Détritique, Mnsidérite	Glauconie, Opaques, Verre volcanique
684	Goethite, Mnsidérite, Micarb	Opaques, Carbonates biogènes, Glauconie
700	Goethite	Quartz, Opaques, Mnsidérite, Verre volc.
730	Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos, Forams, Détritique, Mnsidérite	Glauconie, Opaques, Verre volcanique
732	Opaques, Micarb, Détritique, Nannos, Silicates amorphes	Forams, Glauconie, Mnsidérite
735	Micarb, Calcite authigène	Détritique, Opaques, Verre volc., Glauconie
738	<i>id.</i>	<i>id.</i>
746	Goethite	Opaques
760	Goethite	Mnsidérite, Opaques, Verre volcanique
770	Goethite, Silicates amorphes, Mnsidérite	Quartz, Opaques, Micarb, Nannos
774	Opaques (Pyrite), Silicates amorphes, Micarb	Quartz, Mnsidérite, Nannos, Verre volc.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
777	Opaques (Sulfures ?)	Micarb, Nannos, Amorphes, Mnsidérite
780	Opaques, Mnsidérite, Carbonates détritiques	Silicates amorphes, Quartz, Micarb
825	Anhydrite, Opaques (Pyrite ?)	
877	<i>id.</i>	Silicates amorphes

MD 81408 : bassin de Wando.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Aragonite, Nannos, Forams, Goethite MC	Détritique, Verre volcanique
10	Oxydes de Mn BC, Mnsidérite	Détritique, Nannos
13	Goethite MC, Carbonates authigènes, Détritique, Nannos	
19	Glauconie (?), Nannos, Micarb, Forams, Composés amorphes	Détritique, Opaques
26	Smectite, Nannos, Micarb	Glauconie BC, Opaques, Détritique
44	Goethite MC, Mnsidérite (?)	Quartz, Nannos, Forams
45	Oxydes de Mn BC, Smectite, Micarb, Carbonates authigènes	Quartz, Forams
47	Calcite authigène, Micarb et Nannos recristallisés	
48	Nannos, Micarb, Forams, Aragonite, Composés amorphes	Quartz
53	Goethite BC	Quartz, Nannos
65	Forams, Micarb, Nannos, Aragonite, Composés amorphes, Quartz	
72	Micarb, Forams, Aragonite	Nannos
84	Goethite BC	Mnsidérite, Quartz
95	Mnsidérite, Aragonite (?), Quartz	Détritique, Nannos, Composés amorphes
127	Forams, Nannos (MC), Micarb, Aragonite, Quartz	
138	Goethite BC, Mnsidérite	
142	Nannos, Micarb, Aragonite, Goethite, Quartz, Forams	
147	Nannos, Micarb, Smectite MC ou Goethite MC	Quartz
207	Nannos, Micarb, Smectite ou Goethite MC	Quartz
266	Nannos, Micarb, Aragonite, Forams, Goethite ou Smectite MC	Quartz
281	Forams, Goethite ou Smectite MC, Micarb, Nannos, Quartz	
288	Forams recristallisés, Amas carbonatés, Micarb, Nannos, Aragonite	Quartz, Carbonates authigènes
290	Smectite	Nannos
291	Goethite BC	Nannos
298	Nannos, Micarb, Aragonite, Forams recristallisés	Quartz, Composés amorphes
311	Composés amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Quartz, Aragonite (?)	
329	Nannos, Micarb, Forams, Composés amorphes, Quartz	Calcite authigène
333	Composés amorphes, Forams, Micarb, Amas carbonatés, Nannos (MC), Aragonite (?), Quartz	
340	Forams, Micarb, Amas carbonatés, Nannos recristallisés, Quartz	Aragonite (?)
342	Nannos recristallisés, Aragonite (?), Micarb, Forams	Détritique, Argiles
353	Opaques (Sulfures), Composés amorphes, Forams, Nannos, Micarb	Détritique
368	Composés amorphes, Nannos, Micarb, Forams, Aragonite, Quartz	
372	Micarb, Forams et Nannos recristallisés, Opaques, Quartz	Aragonite (?)
379	Nannos et Forams recristallisés, Aragonite (?), Composés amorphes, Opaques, Quartz	
393	<i>id.</i>	
410	Micarb, Forams et Nannos recristallisés, Micarb, Calcite authigène, Opaques, Quartz	Discoasters

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
411	Amas carbonatés, Hématite, Micarb	Quartz, Nannos, Aragonite
416 a	Micarb, Forams, Nannos recristallisés, Aragonite (?), Composés amorphes, Quartz	
416 b	Sphérules opaques, Composés amorphes, Amas carbonatés, Forams, Nannos, Quartz	
434	Hématite, Amas carbonatés, Micarb, Quartz, Nannos recristallisés	Calcite authigène, Opaques
442	Hématite, Mnsidérite, Opaques (Oxydes de Mn ?), Forams, Micarb	Quartz, Nannos
446	Hématite, Micarb, Nannos recristallisés, Amas carbonatés	Quartz
448	Opaques (Sulfures), Composés amorphes, Micarb, Nannos recristallisés, Smectite	Quartz, Verre volcanique
457	Hématite, Micarb	Nannos recristallisés, Quartz
469	Hématite, Micarb	<i>id.</i>
475	Hématite	Micarb, Amas carbonatés
478	Smectite, Opaques	Détritique, Micarb
480	Hématite, Smectite	Forams, Micarb, Quartz
489	Hématite, Micarb, Aragonite (?), Amas carbonatés	Quartz, Nannos, Mnsidérite, Opaques
499	Micarb, Amas carbonatés, Composés + ou – amorphes	Détritique
507	Verre volcanique, Smectite, Opaques	Quartz, Amas carbonatés
510	Hématite	Quartz
512	Smectite, Pyrite	Micarb, Amas carbonatés
513	Micarb, Amas carbonatés, Pyrite (?)	
518	Hématite, Amas carbonatés, Micarb, Opaques	

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
9	Oxydes et Silicates amorphes, Smectite MC	Glaucanie, Nannos
10	Smectite MC, Composés amorphes	Mnsidérite, Pyrite, Forams, Gypse
30	Smectite MC, Composés amorphes, Glaucanie	Nannos, Pyrite, Mnsidérite, Quartz
51	Smectite BC	Glaucanie, Verre volcanique, Opaques
58	Pyrite, Opaques, Anhydrite	Quartz, Nannos
60	Glaucanie ou Smectite, Hématite	Nannos, Pyrite
72	Glaucanie ou Smectite, Mnsidérite	Verre volcanique, Nannos, Quartz
105	Smectite, Composés amorphes, Glaucanie BC	Détritique, Mnsidérite, Gypse, Forams
113	Smectite MC, Composés amorphes	Glaucanie, Forams, Nannos, Mnsidérite
124	Smectite BC, Glaucanie, Pyrite	Calcite, Quartz
132	Glaucanie BC, Pyrite, Opaques, Smectite BC, Anhydrite	Détritique, Mnsidérite, Nannos
149	Glaucanie BC, Smectite MC, Composés amorphes, Opaques, Pyrite, Nannos, Micarb, Mnsidérite (?)	Quartz
160	Glaucanie, Pyrite, Opaques, Micarb, Nannos, Forams, Mnsidérite, Smectite, Composés amorphes	Quartz, Anhydrite
186	Smectite, Pyrite, Composés amorphes, Mnsidérite	Micarb, Nannos
214	Silicates amorphes, Amas carbonatés	Micarb, Quartz
220	Smectite MC, Pyrite, Mnsidérite (?)	Quartz, Forams, Micarb, Nannos

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
240	Smectite, Glauconie, Composés amorphes, Micarb, Nannos, Forams	Quartz, Pyrite
253	Smectite, Pyrite, Mnsidérite	Anhydrite, Micarb
255	Pyrite, Blende, Glauconie BC	Silice biogène, Quartz, Composés amorphes
260	Glauconie ou Smectite, Pyrite	Détritique
267	Smectite BC, Pyrite	Nannos, Micarb
295	Glauconie, Smectite, Pyrite, Blende	Détritique, Forams, Diatomées, Détritique
320	Blende, Pyrite	Quartz, Silice biogène
338	Blende, Pyrite	Quartz, Silice biogène, Smectite
348	Glauconie BC	Pyrite
372	Pyrite, Blende, Mnsidérite	Quartz, Anhydrite, Barytine
374	Composés amorphes, Goethite MC	Mnsidérite, Pyrite
381	Anhydrite, Mnsidérite (?), Pyrite	Détritique
384	Goethite ou Smectite MC, Mnsidérite	Quartz
390	Composés amorphes, Carbonates	Nannos, Quartz
395	Smectite BC, Mnsidérite, Micarb	Composés amorphes, Quartz
399	Anhydrite, Mnsidérite, Composés amorphes, Pyrite	Quartz
402	Pyrite, Anhydrite, Mnsidérite	Quartz, Silice biogène
403	Pyrite, Composés amorphes, Mnsidérite	Quartz
410	Goethite BC, Composés amorphes, Mnsidérite	Quartz, Anhydrite
425	Anhydrite, Composés amorphes, Mnsidérite, Goethite MC	
440	Goethite, Verre volcanique	Détritique, Mnsidérite
446	Goethite MC, Mnsidérite	Quartz
451	Goethite BC	Mnsidérite
488	Hématite	

MD 81412 : Néréus.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
5	Micarb, Nannos, Aragonite (baguettes), Oxy-hydroxydes amorphes	Détritique, Silicates amorphes
7	Oxy-hydroxydes de Fe et de Mn + ou – amorphes, Silicates amorphes	Nannos, Quartz, Carbonates détritiques
9	Nannos, Forams, Micarb, Aragonite (baguettes), Silicates amorphes	Détritique, Opaques
13	Micarb, Carbonates détritiques, Nannos, Forams	Pyrite, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes
18	Oxy-hydroxydes de Fe et de Mn + ou – amorphes, Nannos, Aragonite (baguettes), Silicates amorphes	Forams, Quartz
23	Glauconie BC, Détritique, Micarb, Nannos, Opaques (Pyrite ?), Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	
27	Glauconie BC, Détritique, Micarb, Carbonates détritiques, Opaques (Pyrite), Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Nannos
34	Nannos, Micarb	Forams, Glauconie, Détritique, Opaques
36	Composés amorphes, Smectite MC, Nannos, Micarb	Forams, Quartz, Calcite authigène
38	Composés amorphes, Nannos, Micarb, Smectite	<i>id.</i>
42	Nannos, Micarb, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Smectite, Détritique, Opaques	Calcite authigène, Forams, Glauconie (?)

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
43	Nannos, Micarb, Opaques	Composés amorphes, Quartz, Glauconie
44	Nannos, Micarb, Glauconie, Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Quartz
48 a	Oxy-hydroxydes amorphes, Nannos, Micarb	Forams, Quartz, Opaques
48 b	Carbonates recristallisés, Nannos	Opaques, Smectite
51	<i>id.</i>	<i>id.</i>
52	Goethite MC	Nannos, Micarb
80	Nannos, Micarb, Forams	Glauconie, Composés amorphes, Détritique
82	Oxy-hydroxydes amorphes, Nannos, Micarb	Quartz, Opaques, Forams
83	Nannos, Micarb, Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz, Opaques
100	Silicates amorphes	Nannos, Micarb, Opaques
102	Glauconie, Micarb, Nannos, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Quartz, Pyrite
104	Nannos, Micarb, Silicates amorphes, Forams	Opaques, Pyrite, Quartz
106	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Micarb, Nannos, Opaques (Pyrite ?)	Glauconie, Quartz
107	Hématite, Opaques (Pyrite ?)	Nannos, Micarb
115	Nannos, Micarb, Smectite, Opaques	Quartz
130	Micarb, Nannos	Opaques, Smectite, Silicates amorphes
136	Smectite, Calcite authigène, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Nannos, Mnsidélite
140	Nannos, Micarb, Opaques, Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz, Forams
156	Smectite, Oxy-hydroxydes amorphes, Opaques, Nannos, Micarb	Forams, Quartz, Mnsidélite
166	Smectite	Opaques, Pyrite, Nannos, Micarb
172	Hématite BC	Carbonates détritiques
187	Smectite, Hématite MC, Micarb, Carbonates détritiques	Nannos, Opaques, Quartz, Mnsidélite
191	Smectite, Carbonates détritiques, Micarb, Hématite	Opaques
194	Glauconie, Micarb, Carbonates détritiques	Nannos, Opaques
195	Hématite BC	Micarb
197	Micarb, Carbonates détritiques, Smectite ou Glauconie	Quartz, Opaques
206	Smectite, Micarb, Carbonates détritiques, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Nannos, Mnsidélite
220	Hématite, Micarb, Carbonates détritiques, Opaques	
225	Hématite	Opaques, Mnsidélite
228	Smectite, Micarb, Nannos	Opaques, Quartz, Forams
230	Micarb, Nannos, Smectite	<i>id.</i>
234	Micarb, Smectite, Nannos, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Opaques	Forams, Glauconie, Quartz
240	Smectite, Micarb, Nannos, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Forams, Quartz, Opaques
244	Hématite	Micarb, Quartz
260	Smectite, Micarb, Nannos, Opaques	Forams, Quartz
272	Opaques (sulfures)	Micarb, Nannos
286	Micarb, Smectite	Nannos, Forams, Quartz, Opaques
291	Goethite MC, Oxy-hydroxydes amorphes, Micarb	Quartz, Nannos
295	Micarb, Smectite	Opaques, Quartz, Mnsidélite, Nannos
296	Micarb	Opaques, Smectite, Nannos, Mnsidélite

ANNEXE 7

ANALYSES DIFFRACTOMÉTRIQUES

Le niveau cumulé correspond à la cote en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire.
Les composants sont indiqués par ordre d'importance.

Composant : TB, très bien cristallisé ; BC, bien cristallisé ; MC, mal cristallisé.

Mnsidérite : Manganosidérite.

CaMg : Calcite magnésienne.

MD 81388 : Commission I.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
2	Calcite, Illite, Quartz, Chlorite, CaMg, Détritique	Kaolinite, Aragonite, Dolomite
7	Calcite, Illite, Quartz, Chlorite, Détritique	CaMg, Aragonite, Kaolinite, Dolomite
30	Calcite, Illite, Quartz, Chlorite, CaMg, Détritique	Kaolinite, Dolomite, Aragonite
54	<i>id.</i>	<i>id.</i>
80	Calcite, CaMg, Quartz	Illite, Chlorite, Kaolinite, Dolomite, Goethite
85	Calcite, CaMg, Oxydes de Mn + ou – amorphes probables	Quartz, Illite, Kaolinite, Smectite
119	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite, Kaolinite, Goethite
134	Illite, Détritique, Calcite, Quartz, Aragonite, Chlorite	Dolomite, CaMg
140	Calcite, CaMg, Quartz	Illite, Chlorite, Détritique, Goethite, Aragonite
155	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Kaolinite, Aragonite, Dolomite
188	Calcite, CaMg, Quartz	Illite, Chlorite, Détritique, Aragonite
189	Calcite, CaMg, Quartz	Illite, Chlorite, Oxydes de Mn (?)
214	Calcite, Quartz, Illite, Chlorite, CaMg, Détritique	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
230	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Aragonite, Dolomite, Goethite
236	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Aragonite, Dolomite
247	Calcite, CaMg, Quartz	Détritique, Illite, Kaolinite, Aragonite, Goethite
251	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
257	Calcite, CaMg	Illite, Chlorite, Détritique, Aragonite, Goethite
265	Calcite, CaMg, Goethite	Illite, Chlorite, Détritique, Manganite
315	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Aragonite, Goethite
320	Calcite, CaMg, Quartz, Détritique, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
325	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite, Aragonite	CaMg, Dolomite
330	Calcite, Composés MC, Goethite, Hématite	Chlorite, CaMg, Aragonite
336	Calcite, CaMg, Oxydes de Mn probables	Goethite, Quartz, Aragonite
340	Calcite, Goethite	Hématite, Quartz, Détritique, Aragonite, CaMg
373	Quartz, Calcite, Illite, Chlorite, Détritique, CaMg	Goethite, Hématite, Dolomite, Oxydes de Mn (?)
389	Calcite, Quartz, Illite, Chlorite, Détritique, CaMg	Kaolinite, Dolomite, Aragonite
410	Quartz, Détritique, Calcite, Illite, Chlorite, CaMg	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
418	Quartz, Calcite, Détritique, Illite, Chlorite	Goethite, Hématite, CaMg, Dolomite, Kaolinite
427	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Aragonite, Dolomite, Pyrite (?)
443	Quartz, Calcite, CaMg, Aragonite, Détritique	Illite, Chlorite, Dolomite
450	Aragonite, Quartz, Calcite, Détritique, CaMg	Illite, Chlorite, Goethite, Anhydrite
455	Aragonite, Quartz, Détritique, Calcite, Illite	CaMg, Chlorite
461	CaMg, Calcite, Goethite, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Dolomite, Aragonite, Manganite (?)
476	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique, Aragonite	Goethite, Dolomite

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
479	Aragonite, CaMg, Calcite, Quartz	Argiles
506	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite, Détritique	Goethite, Aragonite, Kaolinite, Dolomite
519	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Goethite, Dolomite, Kaolinite, Anhydrite
525	CaMg, Quartz, Calcite, Détritique	Hématite, Illite, Smectite, Chlorite
535	Quartz, Goethite, CaMg, Calcite, Illite, Chlorite, Détritique	Aragonite, Dolomite, Anhydrite
560	CaMg, Calcite, Quartz, Détritique, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite
578	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Goethite, Dolomite, Kaolinite
585	CaMg, Calcite, Quartz, Oxydes de Mn + ou – amorphes probables	Hématite, Illite, Chlorite (?), Kaolinite (?)
609	Quartz, Détritique, Calcite, Illite	Aragonite, Chlorite, Dolomite, CaMg, Anhydrite
621	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Dolomite	Goethite, Détritique, Aragonite
629	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Dolomite, Aragonite, Anhydrite
639	Quartz, Goethite, Détritique, Calcite	Illite, Chlorite, Aragonite, CaMg
646	Illite, Quartz, Détritique, Chlorite, Calcite	CaMg, Aragonite, Dolomite, Anhydrite
653	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite, Détritique	Dolomite, Kaolinite (?)
664	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Goethite, Dolomite
672	Quartz, Détritique, Calcite, Illite, Chlorite	CaMg, Anhydrite, Dolomite
677	Quartz, Détritique, Calcite, Illite, Chlorite	Anhydrite, Dolomite, CaMg
681	Quartz, Calcite, CaMg, Dolomite, Illite, Chlorite, Détritique	Anhydrite, Kaolinite
684	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Kaolinite, Dolomite, Anhydrite
691	Quartz, Calcite, CaMg, Goethite, Détritique	Illite, Chlorite, Kaolinite, Dolomite
694	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Kaolinite, Dolomite, Anhydrite
697	Quartz, Détritique, Calcite, Illite, Chlorite	Goethite, Dolomite, CaMg, Anhydrite
704	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Dolomite, Kaolinite
715	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	Goethite, CaMg, Dolomite, Kaolinite
730	Quartz, Illite, Chlorite, Détritique, Calcite, CaMg	Dolomite, Goethite, Kaolinite, Anhydrite
732	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Dolomite, Anhydrite
734	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Dolomite, Kaolinite (?)
745	<i>id.</i>	<i>id.</i>
746	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Dolomite, Anhydrite, Kaolinite
751	Quartz, Dolomite, CaMg, Calcite	Illite, Chlorite, Détritique
757	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Goethite, Dolomite
763	Quartz, Détritique, Illite, Calcite, CaMg, Chlorite	Dolomite, Anhydrite, Kaolinite (?)
775	Oxy-hydroxydes de Mn, Quartz, Calcite, CaMg	Goethite (?), Argiles
777	Quartz, Calcite, CaMg, Goethite	Illite, Chlorite, Détritique, Dolomite, Manganite
792	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	Anhydrite, Dolomite, Aragonite, CaMg
799	Quartz, Goethite, Calcite	CaMg, Illite, Chlorite, Détritique, Manganite
816	Quartz, Calcite, CaMg, Détritique, Illite, Chlorite	Goethite, Anhydrite, Dolomite
837	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite, CaMg	Aragonite, Dolomite, Anhydrite
845	Quartz, Calcite, CaMg	Illite, Chlorite, Détritique, Dolomite
851	Quartz, Calcite, Détritique, CaMg, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
857	Goethite, Quartz, Calcite, CaMg	Détritique, Illite, Chlorite, Dolomite
871	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Goethite, Dolomite, Anhydrite
878	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite, Hématite
890	Quartz, Calcite, CaMg	Illite, Chlorite, Goethite, Dolomite
893	Oxydes + ou – amorphes, Quartz, Goethite, Calcite, CaMg	Illite, Chlorite, Détritique, Manganite
900	Illite, Chlorite, Détritique, Quartz, Calcite, CaMg	Aragonite, Dolomite, Anhydrite
909	Quartz, Illite, Chlorite, Détritique, Calcite	CaMg, Anhydrite
919	Goethite	Quartz, Calcite, CaMg, Détritique
922	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite, CaMg	Dolomite, Anhydrite
924	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Dolomite, Kaolinite (?)
929	Oxydes + ou – amorphes (oxydes de Mn ?)	Goethite, Quartz, Calcite
953	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Dolomite, Kaolinite (?)
956	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Dolomite (?)
962	<i>id.</i>	<i>id.</i>

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
969	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Kaolinite
984	Calcite, Quartz, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Dolomite, Kaolinite
987	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Dolomite, Kaolinite, Goethite
1021	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Dolomite, Kaolinite
1106	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1176	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1257	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1297	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1337	<i>id.</i>	<i>id.</i>

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Smectite, Blende, Chalcopryrite	Goethite, Quartz
8	Blende, Pyrite, Smectite, Quartz	Goethite
30	Smectite, Blende, Pyrite, Goethite, Quartz	Calcite
60	Smectite, Blende	Chalcopryrite, Quartz, Rhodocrosite
82	Mnsidérite	Quartz
112	Pyrite, Blende, Gypse	Marcassite (?), Chalcopryrite, Quartz, Mnsidérite
138	Céladonite, Smectite	Goethite
168	Mnsidérite, Goethite	
172	Goethite	Quartz, Mnsidérite
180	Mnsidérite, Goethite, Hématite, Oxydes de Mn + ou – amorphes probables	
187	Goethite	Magnétite, Mnsidérite, Quartz
203	Goethite	Hématite
225	Todorokite, Manganite, Goethite	
243	Goethite	Hématite
261	Todorokite, Manganite, Goethite	
270	Oxydes de Mn + ou – amorphes probables, Goethite	Todorokite, Mnsidérite
280	Goethite	
317	Mnsidérite, Rhodocrosite, Goethite MC	Quartz, Détritique
351	Goethite, Mnsidérite, Pyrite	Quartz, Détritique, Calcite
371	Quartz, Détritique, Glauconie, Chlorite	Kaolinite, Dolomite, Anhydrite
380	Composés amorphes probables	Quartz
404	Calcite, Quartz, Blende	Chlorite, Illite, Smectite
407	Mnsidérite, Quartz	Pyrite, Blende, Chlorite, Illite
410	Mnsidérite, Glauconie	
420	Mnsidérite, Glauconie	Quartz, Détritique
450	Mnsidérite	Glauconie
458	Goethite, Mnsidérite	
462	Smectite BC	
482	Rhodocrosite, Mnsidérite, Glauconie	Quartz, Détritique
496	Hématite, Goethite	Quartz
497	Manganite	
500	Manganite, Todorokite	
502	Goethite	
526	Mnsidérite, Smectite MC	Quartz, Calcite
538	Smectite, Céladonite	
544	Mnsidérite, Calcite, CaMg	Quartz, Détritique, Goethite, Chlorite
546	Mnsidérite, Oxydes de Mn + ou – amorphes probables, Calcite, CaMg	Quartz
552	Blende, Pyrite, Chalcopryrite, Calcite, Mnsidérite	Quartz, Détritique, Dolomite

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
567	Blende, Pyrite, Chalcopryrite	Calcite, Dolomite, Mnsidérite, Quartz
599	<i>id.</i>	Mnsidérite, Quartz, Goethite
622	Mnsidérite, Smectite, Quartz, Détritique	Calcite, CaMg, Pyrite
645	Mnsidérite, Glauconie	
654	Pyrite, Glauconie	Mnsidérite, Quartz, Détritique
674	Mnsidérite, Blende, Pyrite, Chalcopryrite, Goethite	Quartz, Détritique, Smectite
682	Glauconie, Mnsidérite, Goethite (?) TMC	Quartz, Calcite
709	Glauconie	Pyrite, Mnsidérite, Calcite
718	Mnsidérite	Quartz, Détritique
738	Glauconie, Pyrite	
752	Blende, Pyrite, Chalcopryrite	Calcite, Mnsidérite, Gypse, Quartz
792	Calcite, Quartz	Dolomite, Smectite
805	Quartz, Pyrite, Calcite	Dolomite, Détritique, CaMg
820	Mnsidérite, Calcite	Quartz, Goethite
828	Goethite, Mnsidérite	Quartz, Calcite
839	Quartz, Sidérite	Calcite
840	Quartz, Mnsidérite, Maghémite (?), Goethite	Smectite
863	CaMg, Calcite, Quartz, Aragonite	Mnsidérite, Détritique, Chlorite, Illite
868	CaMg, Aragonite, Quartz	Smectite
890	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite	Mnsidérite, Dolomite, Détritique
893	Quartz, Calcite, Détritique, Dolomite	Illite, Kaolinite
894	Calcite, CaMg, Quartz, Chlorite	Illite, Mnsidérite, Détritique
895	Quartz, Calcite, Pyrite, Détritique, Chlorite	Illite, CaMg, Kaolinite
897	Quartz, Calcite, CaMg, Dolomite, Détritique, Chlorite	Kaolinite, Illite
900	Lépidocrocite	Goethite, Détritique, Quartz, Calcite, CaMg
944	Lépidocrocite, CaMg, Calcite, Quartz	Détritique, Illite

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
61	Smectite	Quartz, Blende, Mnsidérite, Calcite
89	Smectite	Blende
122	Composés + ou – amorphes	Goethite
147	<i>id.</i>	Quartz
192	Quartz, Blende, Smectite, Calcite	Mnsidérite, Glauconie
286	Calcite, Smectite	Blende, Quartz
342	Calcite, Blende	Smectite, Glauconie, Quartz
451	Smectite, Composés + ou – amorphes probables, Blende	Calcite, Quartz
487	Glauconie, Smectite, Pyrite, Sidérite	Blende, Calcite, Détritique, Goethite
509	Mnsidérite, Glauconie	
514	Composés amorphes probables, Smectite, Sidérite	Quartz, Détritique, Calcite
555	Mnsidérite, Goethite TMC	Quartz, Smectite
569	Chlorite, Smectite	
586	Goethite	
598	Goethite	
609	Goethite, Rhodocrosite	Quartz, Détritique
616	Calcite, CaMg, Rhodocrosite, Quartz, Détritique	Illite, Blende (?)
622	Calcite, Quartz, Détritique, CaMg, Chlorite	Goethite, Aragonite, Todorokite (?)
635	Goethite, Rhodocrosite	Quartz, Détritique, Smectite, Calcite, CaMg
648	Glauconie, Calcite	Quartz, Détritique, Rhodocrosite (?)
781	Glauconie, Smectite	Mnsidérite
826	Mnsidérite	Quartz, Kaolinite, Détritique

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
842	Blende, Pyrite, Chalcopryrite, Mnsidérite	Calcite, Quartz, Détritique
885	Calcite, Quartz, Mnsidérite, Glauconie, Détritique	Pyrite, Dolomite, Chlorite
907	Blende, Pyrite, Mnsidérite, Chalcopryrite, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite
933	Mnsidérite	Quartz, Pyrite, Détritique
937	Blende, Pyrite, Sidérite, Mnsidérite	Quartz, Chalcopryrite, Détritique
965	Smectite	Mnsidérite, Pyrite, Quartz
984	Mnsidérite, Gypse, Blende, Pyrite	Calcite, Quartz, Calcite, Chlorite
986	Goethite	Smectite
1034	Mnsidérite	Pyrite
1041	<i>id.</i>	<i>id.</i>
1052	Blende, Pyrite, Mnsidérite, Chalcopryrite	Calcite, Quartz, Détritique, Chlorite, Illite
1075	Calcite, Quartz, CaMg	Détritique, Chlorite, Illite
1103	Goethite	
1109	Goethite	
1125	Lépidocrocite	Quartz, Goethite
1133	Quartz, Calcite, Pyrite, Détritique	Aragonite, Dolomite, Illite, Mnsidérite
1157	Quartz, Calcite, Pyrite, Détritique	Chlorite, Illite, Dolomite, Mnsidérite
1177	Sidérite, Goethite	
1200	Goethite	
1280	Goethite	Mnsidérite
1345	CaMg, Aragonite	Quartz, Détritique
1355	CaMg, Calcite, Quartz,	Aragonite, Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
1368	Calcite, CaMg, Quartz, Goethite	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
1421	Quartz, Calcite, CaMg, Goethite, Détritique, Chlorite, Illite	Mnsidérite, Kaolinite
1433	Calcite, CaMg, Quartz, Chlorite, Illite	Détritique, Kaolinite
1458	Goethite	Hématite
1467	Calcite, CaMg, Quartz, Chlorite, Illite	Goethite, Détritique, Blende (?)
1488	CaMg	Quartz, Ankérite, Détritique
1544	Calcite, CaMg, Quartz, Dolomite, Détritique	Chlorite, Illite, Kaolinite
1555	Calcite	Quartz, Détritique, Rhodocrosite, Smectite

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
40	Goethite MC, Smectite, Composés amorphes probables	Mnsidérite, Quartz
140	Smectite, CaMg	Quartz, Mnsidérite
210	Smectite, Blende	Quartz, Calcite, Pyrite, Amorphes probables
278	Smectite, Chlorite	
320	Mnsidérite, Goethite, Composés amorphes probables	Quartz, Smectite
350	Goethite BC	Mnsidérite, Barytine
390	Goethite MC, Mnsidérite	Quartz, Sidérite, Lépidocrocite, Barytine
435	Rhodocrosite, Goethite MC	Smectite, Quartz
460	Mnsidérite, Smectite, Composés amorphes probables	Quartz, Calcite
480	Mnsidérite, Smectite MC	Quartz, Goethite
525	Mnsidérite, Smectite ou Silicates de fer MC	Quartz, Oxydes de Mn (?)
560	Smectite, Silicates de fer MC	Quartz, Mnsidérite
585	Pyrite, Chalcopryrite	Quartz, Smectite
700	Goethite	Mnsidérite, Smectite
825	Anhydrite	Gypse, Pyrite, Quartz

MD 81408 : bassin de Wando.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Aragonite, Calcite, CaMg	Quartz, Détritique
10	Todorokite, Manganite	Smectite
26	Glauconie	Smectite
36	Calcite, CaMg, Rhodocrosite	Quartz, Smectite
53	Goethite	
65	Aragonite, Quartz, Calcite, CaMg	Smectite
84	Goethite	Mnsidérite
95	Mnsidérite, Calcite, CaMg, Aragonite, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
121	CaMg, Quartz	Calcite, Sidérite, Aragonite, Détritique
197	Calcite, CaMg, Quartz, Chlorite	Illite, Kaolinite, Détritique, Sidérite
207	CaMg, Calcite, Quartz	Smectite, Chlorite, Illite
281	Calcite, CaMg, Quartz, Détritique	Chlorite, Illite, Kaolinite, Aragonite
291	Goethite	
298	CaMg, Calcite, Quartz	Chlorite, Illite, Kaolinite, Aragonite, Détritique
311	Calcite, CaMg, Quartz, Détritique	Aragonite, Chlorite, Illite, Kaolinite, Hématite
317	CaMg, Calcite, Quartz, Détritique	Chlorite, Illite
329	Calcite, CaMg, Quartz	Chlorite, Illite, Kaolinite, Détritique
342	Calcite, CaMg, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
353	Calcite, Quartz, Dolomite, Smectite	Pyrite, Détritique, Chlorite, Illite
356	Calcite, Quartz, Ankérite	Pyrite, Smectite, Chlorite, Illite
379	Calcite	Quartz, Smectite, Chlorite, Illite, Hématite
393	Calcite, CaMg, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite, Hématite
410	Calcite, Ankérite, Quartz	Pyrite, Smectite, Chlorite, Illite
434	CaMg, Quartz, Hématite, Smectite	Détritique, Chlorite, Illite, Dolomite
448	CaMg, Smectite, Quartz	Blende, Hématite, Chlorite, Illite
457	CaMg, Oxydes de Mn probables, Smectite, Hématite	Quartz
480	Smectite TBC, CaMg, Hématite	Oxydes de Mn amorphes probables
489	Calcite, Hématite, Quartz	Smectite, Chlorite, Illite, Détritique
499	CaMg, Smectite, Hématite	Oxydes de Mn amorphes possibles
518	CaMg, Hématite	Chlorite, Oxydes de Mn amorphes possibles
525	Calcite, Hématite, Kaolinite	Smectite, Détritique

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Smectite MC, Goethite MC	Hématite
10	Smectite MC, Pyrite	Blende, Quartz, Calcite
30	Blende, Pyrite, Smectite	Calcite, Quartz
37	Blende, Smectite MC	
60	Hématite, Smectite, Blende	Chalcopryrite
64	Glauconie, Pyrite	Goethite
68	Lépidocrosite, Smectite	
105	Smectite, Blende, Rhodocrosite, Calcite, Quartz	Mnsidérite
132	Blende, Smectite, Pyrite	Chalcopryrite, Calcite, Mnsidérite, Détritique
186	Blende, Pyrite, Smectite	Quartz, Détritique, Mnsidérite
240	Glauconie	Pyrite, Blende
255	Pyrite, Blende, Smectite MC	Chalcopryrite, Détritique
291	Blende, Pyrite, Smectite MC	Chalcopryrite

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
295	Blende, Pyrite, Smectite MC	Quartz, Chalcopryrite
310	Blende, Pyrite	Chalcopryrite
320	Blende, Pyrite, Chalcopryrite	Quartz
338	<i>id.</i>	Quartz, Illite
356	Glauconie	Goethite
360	Smectite, Céladonite	
388	Anhydrite, Mnsidérite, Gypse, Goethite	Quartz, Détritique, Pyrite (?)
402	Anhydrite, Mnsidérite, Gypse, Pyrite	Quartz, Kaolinite
425	Mnsidérite, Anhydrite, Goethite	Pyrite
426	Mnsidérite, Anhydrite, Goethite, Hématite	Magnétite
440	Goethite	Mnsidérite
451	Goethite	Calcite
488	Hématite	Calcite

MD 81412 : Néréus.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
1	Calcite, CaMg	Quartz, Goethite
5	<i>id.</i>	<i>id.</i>
18	Calcite, Todorokite MC, CaMg	Goethite, Détritique, Quartz, Kaolinite, Chlorite
31	Calcite, Oxydes de Mn amorphes probables, CaMg	Quartz, Goethite
32	Calcite, Goethite, CaMg, Oxydes de Mn probables	Chlorite, Illite, Kaolinite, Aragonite, Détritique
42	Quartz, Détritique, Calcite, Pyrite, CaMg	Chlorite, Illite, Kaolinite, Aragonite, Smectite
49	Aragonite, Calcite, CaMg	Quartz, Détritique, Dolomite
57	Calcite, CaMg, Oxydes de Mn (Todorokite ?)	Quartz
63	Aragonite, Calcite, CaMg	Goethite, Quartz, Détritique, Dolomite
78	Goethite	Magnétite, Dolomite, Quartz, Détritique
92	Calcite, CaMg, Quartz	Aragonite, Chlorite, Illite, Kaolinite, Détritique
107	Hématite, Magnétite, Calcite, CaMg, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite, Mnsidérite
113	Calcite, Smectite	
115	Smectite, Calcite	Chlorite, Illite, Kaolinite, Détritique, Quartz
133	Calcite, Smectite	
140	Calcite, Smectite, Quartz	Chlorite, Illite, Kaolinite, Mnsidérite, Détritique
147	CaMg, Smectite	Quartz, Pyrite
156	Smectite, Calcite, Quartz, Pyrite	Mnsidérite, Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
187	CaMg, Smectite, Hématite, Magnétite	Chlorite, Illite, Détritique
220	Dolomite, Hématite, Magnétite, Smectite, Calcite, CaMg, Pyrite	Illite, Quartz, Kaolinite, Mnsidérite
225	Hématite	Magnétite, Mnsidérite, Calcite
230	Calcite, Smectite, Quartz, Dolomite	Détritique, Chlorite, Illite, Mnsidérite
234	Calcite, Quartz	Smectite
244	Hématite, Smectite	Calcite, CaMg, Quartz, Dolomite
260	Calcite, CaMg, Magnétite, Smectite	Hématite
272	Magnétite, Pyrite, Blende, Chalcopryrite, Calcite	Chlorite, Illite, Kaolinite, Mnsidérite
286	Calcite	Quartz, Magnétite, Hématite, Smectite
296	Calcite, Smectite, Quartz	Illite, Chlorite, Détritique, Mnsidérite

ANNEXE 8

ANALYSES INFRAROUGES

Le niveau cumulé correspond à la cote en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire. Les composants sont indiqués par ordre d'importance.

Composant : TBC, très bien cristallisé ; BC, bien cristallisé ; MC, mal cristallisé.

Mnsidérite : Manganosidérite.

CaMg : Calcite magnésienne.

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
8	Glauconie ou Nontronite Fe	Carbonates
30	<i>id.</i>	<i>id.</i>
82	Mnsidérite, Phyllite Fe	<i>id.</i>
112	Silice amorphe, Sulfures	Gypse
138	Glauconie BC	<i>id.</i>
172	Goethite	Quartz, Mnsidérite
180	Goethite MC (Limonite)	Lépidocrocite (?)
187	Goethite BC	Magnétite
203	Goethite BC, Hématite	
223	Oxy-hydroxydes de Mn	
261	Oxy-hydroxydes de Mn	
280	Goethite	
371	Smectite Fe, Kaolinite, Chlorite	Quartz
380	Silicates de fer amorphes	Carbonates
407	Mnsidérite, Glauconie ou Nontronite	Quartz, Kaolinite
410	Nontronite MC	Gypse, Mnsidérite
420	Glauconie ou Smectite, Mnsidérite	Gypse
450	Glauconie ou Nontronite	Mnsidérite, Gypse
458	Goethite, Oxy-hydroxydes MC	
482	Glauconie BC, Mnsidérite	
496	Hématite, Goethite	
500	Oxydes de Mn, Goethite	
502	Goethite	
544	Mnsidérite, Calcite, Oxydes de Mn	Quartz
552	Mnsidérite, Silice amorphe, Calcite	
567	Silice amorphe, Pyrite, Carbonates	
599	Silice amorphe, Pyrite	
645	Glauconie BC, Mnsidérite ou Sidérite	
654	Glauconie	Gypse
682	Glauconie BC, Oxy-hydroxydes	Sulfates
709	Glauconie BC	Gypse
828	Goethite	Mnsidérite
840	Magnétite	Quartz, Carbonates
900	Lépidocrocite BC, Mnsidérite	

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
61	Glauconie, Silicates de fer amorphes	Calcite, Détritique
122	Silicates de fer amorphes, Glauconie, Goethite	Détritique, Calcite
147	Silicates et Oxy-hydroxydes de fer amorphes	Goethite, Gypse
192	Silicates de fer amorphes, Glauconie	Calcite, Détritique
286	Silicates de fer amorphes	Sulfates, Carbonates, Glauconie
342	Glauconie	Calcite, Sulfates
451	Glauconie, Gypse	Calcite
487	Glauconie BC, Gypse	Calcite
514	Glauconie, Silicates amorphes, Gypse	Carbonates
555	Glauconie, Silicates amorphes, Goethite	Carbonates, Gypse
569	Goethite BC, Silicates de fer amorphes	Dolomite, Gypse
598	Goethite BC	Gypse
622	Calcite, Dioxyde de Mn, Goethite	
635	Goethite MC, Silicates de fer amorphes	Calcite
648	Glauconie TBC	Gypse, Calcite
781	Glauconie TBC	Gypse, Quartz, Goethite
826	Mnsidélite, Dioxyde de Mn	Silicates amorphes, Chlorite
842	Silice amorphe, Pyrite	Calcite, Mnsidélite
885	Nontronite, Calcite, Mnsidélite	Quartz, Goethite, Silicates amorphes, Pyrite (?)
907	Silice amorphe	Pyrite, Gypse, Carbonates
937	Silice amorphe	Sulfures, Mnsidélite, Sulfates
965	Glauconie	Sulfates, Carbonates
984	Goethite BC, Glauconie	Gypse, Carbonates
1052	Silice amorphe, Sulfures	Mnsidélite, Sulfates
1075	Calcite, Dioxyde de Mn	Kaolinite, Calcite, Quartz
1109	Goethite TBC	
1125	Lépidocrocite	Carbonates
1133	Calcite, Quartz, Pyrite	Détritique
1157	Silicates amorphes, Calcite	Quartz, Sulfures
1177	Lépidocrocite, Goethite	Carbonates, Sulfates
1200	Goethite TBC	
1280	Goethite TBC	
1355	Calcite, Silicates amorphes	Kaolinite, Calcite, Quartz
1368	Dioxyde de Mn, Goethite, Calcite	
1421	Oxy-hydroxydes de Fe et Mn, Silicates de fer amorphes, Calcite	Quartz
1433	Calcite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz
1458	Goethite	Hématite
1467	Calcite, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes	Smectite
1544	<i>id.</i>	Quartz

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
20	Silicates amorphes, Nontronite	Quartz, Détritique, Mnsidérite, Sulfates
40	Glauconie, Oxy-hydroxydes amorphes	Carbonates, Sulfates, Goethite
60	Silicates amorphes, Glauconie, Nontronite, Mnsidérite	Quartz, Anhydrite
80	Silicates amorphes, Glauconie, Mnsidérite, Montmorillonite	Quartz, Anhydrite
100	<i>id.</i>	<i>id.</i>
120	Silicates amorphes ou Glauconie MC, Calcite	Sulfates, Quartz
140	Silicates amorphes, Glauconie	Calcite, Sulfates
210	Silicates amorphes, Glauconie, Carbonates	Sulfates
278	Glauconie	Sulfates, Carbonates
320	Glauconie MC, Silicates amorphes, Oxy-hydroxydes de fer	Sulfates, Carbonates
350	Goethite (Limonite)	Quartz, Argile ferrifère, Mnsidérite
390	Goethite, Barytine	Quartz, Mnsidérite, Lépidocrocite (?)
435	Goethite, Glauconie, Silicates amorphes	Mnsidérite, Quartz, Gypse
460	Glauconie, Silicates amorphes	Mnsidérite ou Rhodocrocite
480	Silicates amorphes, Glauconie, Céladonite (?)	Quartz, Gypse, Mnsidérite
525	Silicates amorphes, Glauconie	Quartz, Gypse, Mnsidérite, Goethite
560	Silicates amorphes, Glauconie MC	Mnsidérite, Gypse
585	Silice amorphe, Argile ferrifère	Pyrite, Gypse
700	Goethite	Mnsidérite, Smectite
825	Anhydrite	Gypse, Pyrite, Quartz

MD 81408 : bassin de Wando.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Aragonite	Silicates
10	Manganite, Todorokite ou Vernadite	Goethite
26	Glauconie	Carbonates, Sulfates
53	Goethite (Limonite)	
84	Goethite (Limonite)	
95	Aragonite, Calcite, Silicates de fer amorphes, Smectite ferrifère BC	
121	Calcite ferrifère, CaMg, Silicates de fer amorphes, Smectite ferrifère BC	
197	Calcite ferrifère ou CaMg, Smectite, Illite	Kaolinite, Quartz
281	Calcite ferrifère ou CaMg, Smectite, Illite, Goethite	Quartz
298	Calcite ferrifère ou CaMg, Smectite, Illite, Silicates amorphes	
311	Calcite ferrifère ou CaMg, Illite	
329	Calcite ferrifère ou CaMg, Illite, Silicates amorphes	Quartz, Goethite, Smectite, Kaolinite
342	Calcite ferrifère ou CaMg, Illite	
353	Calcite ferrifère ou CaMg, Silicates amorphes	Smectite
434	CaMg, Hématite	Silicates amorphes
448	Silicates amorphes	Argiles ferrifères
480	Hématite, Calcite	
489	Calcite ferrifère ou CaMg, Hématite, Smectite	
499	Calcite ferrifère ou CaMg, Hématite	
525	Calcite ferrifère ou CaMg, Chlorite	

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Nontronite ou Glauconie, Gypse	Calcite, Quartz
30	Nontronite, Gypse	Calcite
64	Nontronite	Gypse
68	Nontronite, Lépidocrocite	Gypse
105	Nontronite	Mnsidélite, Gypse
132	Nontronite, Mnsidélite	Calcite, Détritique
186	Nontronite MC, Gypse	Carbonates
220	Nontronite, Gypse	Détritique
240	Nontronite ferrifère	Gypse
255	Nontronite, Gypse	Détritique
295	<i>id.</i>	<i>id.</i>
320	Goethite, Hydroxyde de Zn	
338	Goethite, Hydroxyde de Zn, Gypse	
356	Glauconie, Céladonite TBC	Sulfures
402	Anhydrite, Mnsidélite	Goethite
425	Limonite, Anhydrite	Carbonates
440	Goethite	Carbonates, Anhydrite
488	Hématite	Silicates

MD 81412 : Néréus.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
5	Calcite, Oxy-hydroxydes de Mn, Carbonates	Silicates amorphes, Kaolinite, Quartz
19	<i>id.</i>	
42	Calcite, Maghémite	Kaolinite
78	Goethite	Carbonates
92	Calcite, Silicates de fer amorphes, Oxy-hydroxydes de Mn	Kaolinite, Quartz
107	Hématite, Carbonates, Silicates de fer amorphes	Quartz
115	CaMg, Maghémite	Détritique
140	CaMg, Smectite MC	Quartz
156	Maghémite, CaMg	
187	<i>id.</i>	
225	Hématite	
244	Oxydes de fer BC, Maghémite, Calcite	
260	Maghémite	

ANNEXE 9

CAROTTE MD 81408 (BASSIN DE WANDO)

Étude au MEB et à la sonde attelée des éléments carbonatés de la fraction supérieure à 20 microns.

Sect.	Prof. cm	Composants majeurs et moyennement abondants	Objet analysé	Ca	Fe	Mn	Mg	Si	% fraction > 20 µm	Remarques
II 4	121	– Amas carbonatés de couleur claire – Détritique (Quartz, Feldspaths) – Foraminifères	Amas calcitique	-	-	-	-	-	26,55	
II 80	196	– Amas carbonatés colorés en rouille – Détritique (Quartz, Feldspaths) – Verre volcanique – Foraminifères	Calcite Mg	-	-	-	-	-	9,66	
III 27	281	– Amas carbonatés colorés en rose-rouille – Détritique grossier – Foraminifères	Assemblage de cristaux de Calcite Mg	-	-	-	-	-	65,29	
III 58	312	<i>id.</i> III 27	Aragonite	-	-	-	-	-	28,88	
III 76	330	– Amas carbonatés de couleur claire – Détritique – Foraminifères	Calcite Mg Amas carbonatés	66 89	0 0	4 0	27 7	4 5	6,45	Nannos recristallisés
III 88	341	<i>id.</i> III 76	Amas carbonatés	97	0	0	0	3	3,51	
III 138	390	– Amas carbonatés de couleur jaune – Détritique – Foraminifères	Amas carbonatés Coccosphère	65 72	tr -	tr -	21 5	5 7	1,29	
IV 34	434	– Amas carbonatés de couleur rouge (plaquettes) – Détritique relativement fin	Forams recrist. Plaquettes <i>id.</i> <i>id.</i> Forams Mangano-sidérite Plaquettes <i>id.</i> Forams	41 57 60 65 60 " 53 53 66	10 6 3 5 4 " 4 5 3	37 31 28 30 30 " 29 31 31	0 0 6 0 6 " 7 5 0	11 6 0 0 0 " 6 5 0	14,30	Cristaux dans loge
IV 80	480	– Amas carbonatés fortement colorés en brun (plaquettes)	Plaquettes Forams très recristallisés	62 69	5 3	29 26	0 0	4 0	15,69	

Sect.	Prof. cm	Composants majeurs et moyennement abondants	Objet analysé	Ca	Fe	Mn	Mg	Si	% fraction > 20 µm	Remarques
IV 90	490	<i>id.</i> IV80	Plaquette	84	0	14	0	2	12,30	
			<i>id.</i>	88	0	12	0	0		
			<i>id.</i>	89	0	11	0	0		
			Forams	90	0	10	0	0		
IV 99	499	– Amas carbonatés – Foraminifères – Détritique grossier	Amas	54	8	13	0	4	37,81	
			<i>id.</i>	53	11	12	0	3		
			<i>id.</i>	62	2	10	0	1		
IV base	525	– Amas carbonatés colorés en rouge – Foraminifères	Amas	28	27	7	4	0	44,91	Imprégnation d'hématite et de silicates
			<i>id.</i>	19	18	7	7	23		
			<i>id.</i>	16	25	11	7	18		

ANNEXE 10

CAROTTE MD 81399
(ATLANTIS II, BASSIN OUEST)

Tableau comparatif des déterminations par spectrométrie infrarouge et diffraction X des composants majeurs silicatés de néoformation.

Gl : Glauconie.
Sm : Smectite.
ab : abondant.
m : moyennement abondant.
tr : traces.

Section	Prof. cm	Faciès	Couleur	Détermination IR	Détermination RX
I	top	Boue silicatée sulfurée	brun-rouge	Gl ou Sm (ab)	Sm (ab)
	30		brun-rouge	Gl ou Sm (ab)	Sm (ab)
	82		marron-vert	Sm (ab)	non détecté
	138		vert-brun	Gl (ab)	Gl (ab)
III	71	Boue silicatée plus ou moins litée	kaki	Sm (ab)	Gl (ab)
	107		brun	Gl ou Sm (ab)	non détecté
	110		brun-rouge	Sm (ab)	Gl (ab)
	119		vert	Gl ou Sm (ab)	Gl (ma)
IV	25	450	brun-rouge	Gl ou Sm (ab)	Gl (tr)
IV V	58	Zone litée silicatée inférieure	vert	Gl (ab)	Gl (ab)
	2		jaune-vert	Gl (ab)	Gl (ma)
	81		noir	Gl (ab)	Gl (ma)
	110		brun-rouge	Gl (ab)	Gl (ab)
	136		verdâtre	Gl (ab)	Gl (ab)

ANNEXE 11

CORRÉLATIONS
POURCENTAGE EN SELS/POURCENTAGE EN EAU

