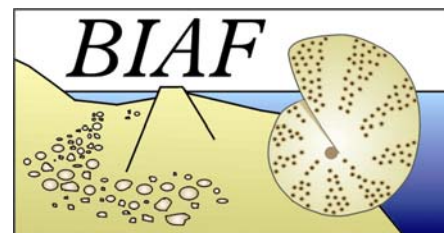




**LABORATOIRE DES BIO-INDICATEURS
ACTUELS ET FOSSILES (BIAF)**
UPRES EA 2644
2 Boulevard LAVOISIER
49045 ANGERS Cedex 01
France



Etude des faunes de foraminifères benthiques de la côte méditerranéenne française : mise en place d'un nouvel indice biotique dans le cadre de Directive Cadre Eau

Rapport final

Christine Barras & Frans Jorissen

Laboratoire des Bio-Indicateurs Actuels et Fossiles (BIAF)
Université d'Angers

Citation : Barras, C., Jorissen, F.J., 2011. Etude des faunes de foraminifères benthiques de la côte méditerranéenne française : mise en place d'un nouvel indice biotique dans le cadre de Directive Cadre Eau : Rapport final. Laboratoire des Bio-Indicateurs Actuels et Fossiles (BIAF), Université d'Angers. 162 pages. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17366643>



Mai 2011



SOMMAIRE

1 INTRODUCTION.....	5
2 MATERIEL ET METHODES.....	6
2.1 ETUDE DE LA FAUNE VIVANTE	10
2.2 ETUDE DE LA FAUNE MORTE	11

PARTIE A

ZONE D'ETUDE LANGUEDOC-ROUSSILLON ET PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR : ETUDE DE LA FAUNE VIVANTE DES FORAMINIFERES

1 CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DES STATIONS ETUDIEES	13
2 CARACTERISTIQUES DES ASSEMBLAGES DE FORAMINIFERES VIVANTS.....	16
3 REPARTITION VERTICALE DES FORAMINIFERES VIVANTS.....	23
4 COMPOSITION DES FAUNES DE FORAMINIFERES VIVANTS.....	29
4.1 DESCRIPTION DES ESPECES MAJEURES	29
4.2 GROUPES D'ESPECES INDICATRICES	32
4.2.1 <i>Les espèces épiphytes</i>	32
4.2.2 <i>Les espèces tolérantes et sensibles</i>	34
5 DISCUSSION	37
5.1 UNE ETUDE DE BIO-INDICATION A PARTIR DES FAUNES DE FORAMINIFERES PEUT-ELLE ETRE BASEE UNIQUEMENT SUR L'ANALYSE DU 1 ^{ER} CENTIMETRE DE SEDIMENT ?.....	37
5.1.1 <i>Comparaison des paramètres faunistiques</i>	38
5.1.2 <i>Intérêt de l'étude de distribution verticale des faunes</i>	39
5.2 PROBLEMES LIES AUX VARIATIONS ENVIRONNEMENTALES NATURELLES	40
5.3 CONSTRUCTION DE L'INDICE FORAMINIFERE	41

PARTIE B

ZONE D'ETUDE LANGUEDOC-ROUSSILLON ET PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR : ETUDE DE LA FAUNE MORTE DES FORAMINIFERES

1 CARACTERISTIQUES DES ASSEMBLAGES DE FORAMINIFERES MORTS	48
2 COMPOSITION SPECIFIQUE DES FORAMINIFERES MORTS	51
3 INTERPRETATION DE L'EVOLUTION DES FAUNES DANS LE TEMPS (ENTRE FAUNE MORTE ET FAUNE VIVANTE).....	55
4 CONCLUSIONS	58

PARTIE C

ZONE D'ETUDE DE LA CORSE : ETUDE DE LA FAUNE VIVANTE DES FORAMINIFERES

1 CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DES STATIONS ETUDIEES	61
2 CARACTERISTIQUES DES ASSEMBLAGES DE FORAMINIFERES VIVANTS.....	64
3 REPARTITION VERTICALE DES FORAMINIFERES VIVANTS.....	68
4 COMPOSITION SPECIFIQUE DES FORAMINIFERES VIVANTS.....	71
4.1 DESCRIPTION DES ESPECES MAJEURES	71
4.2 GROUPES D'ESPECES INDICATRICES	74
4.2.1 <i>Les espèces épiphytes</i>	74
4.2.2 <i>Les espèces tolérantes et sensibles</i>	75
5 CLASSES DES MASSES D'EAU DE CORSE.....	76

SYNHESE.....	79
---------------------	-----------

PERSPECTIVES.....	82
--------------------------	-----------

Lexique.....	83
--------------	----

Références.....	84
-----------------	----

ANNEXES.....	91
---------------------	-----------

ANNEXE 1 : Planches photographiques des espèces majeures des zones d'études LR-PACA et Corse.

ANNEXE 2 : Fiches individuelles des stations de la zone d'étude LR-PACA.

ANNEXE 3 : Fiches individuelles des stations de la zone d'étude Corse.

ANNEXE 4 : Classement des états écologiques des masses d'eau des zones d'étude LR-PACA et Corse d'après l'indice foraminifères.

ANNEXE 5 : Carte de la zone d'étude LR-PACA représentant les classes d'état écologique des stations étudiées.

ANNEXE 6 : Carte de la zone d'étude Corse représentant les classes d'état écologique des stations étudiées.

1 Introduction

Ce rapport présente les résultats de l'étude des foraminifères benthiques des masses d'eau côtières méditerranéennes des régions Languedoc-Roussillon et Provence Alpes Côtes d'Azur et de la Corse. Le but de cette étude était de mettre au point un nouvel indice biotique « benthos » basé sur les faunes de foraminifères benthiques. Cette initiative se situe dans le contexte de la Directive Cadre Eau et de la mise en œuvre des réseaux de surveillance des eaux côtières.

Depuis quelques décennies, les foraminifères benthiques sont utilisés pour évaluer l'impact des activités anthropiques en milieu marin. Plus particulièrement, plusieurs études récentes ont démontré le fort potentiel de bio-indication des foraminifères dans les eaux côtières (Armynot du Chatelet *et al.*, 2004 ; Durrieu *et al.*, 2006 ; Mojtahid *et al.*, 2006, 2008, 2009 ; Romano *et al.*, 2008 ; Duchemin *et al.*, 2008). En effet, la **forte biodiversité des foraminifères et les demandes écologiques spécifiques** de chaque espèce leur attribuent la capacité de répondre très clairement aux contaminations par un changement de diversité spécifique, de densité totale ou de densité relative des différentes espèces. De plus, par rapport aux organismes benthiques de plus grande taille, les foraminifères présentent plusieurs avantages :

- Du fait de leur **court cycle de vie** (1 à 3 mois en moyenne, 1 an maximum ; Murray, 1991), les foraminifères réagissent rapidement aux stress environnementaux et à leurs variations, ce qui donne la possibilité de suivre efficacement l'évolution de la qualité du milieu à court-terme ;
- Les **foraminifères sont abondants** dans les sédiments marins ; une **faible quantité de sédiment** permet d'étudier les faunes à l'aide d'**analyses statistiques robustes** tout en limitant la détérioration du milieu ;
- De nombreux taxons secrètent une coquille calcaire laissant ainsi une trace dans les enregistrements sédimentaires. L'**étude des tests morts** à quelques centimètres de profondeur dans le sédiment permet d'avoir des **renseignements sur les conditions antérieures** à la modification du milieu (Alve, 1995). Cette étude des faunes mortes est indispensable lors de l'absence d'une EBS (Environmental Baseline Study), ou d'un site de référence (non pollué) dans la zone d'étude ;
- La taxonomie est bien définie, ce qui permet une **reconnaissance aisée à l'échelle de l'espèce**. Des spécialistes sont formés en France et à l'étranger, par conséquent l'utilisation de l'outil foraminifère en routine paraît tout à fait réalisable.

Ce rapport est divisé en 3 parties.

La Partie A traite de l'étude des foraminifères vivants de la zone d'étude Languedoc-Roussillon et Provence Alpes Côtes d'Azur. Après une description des faunes et des divers paramètres faunistiques, l'indice foraminifère développé au cours de cette étude est expliqué et une classe écologique est attribuée aux différentes masses d'eau.

Dans la Partie B, les données de la faune morte sont décrites et analysées en parallèle des données des faunes vivantes afin d'étudier l'évolution de la qualité du milieu dans le temps. La possibilité d'utiliser les faunes mortes pour définir des conditions de référence y est discutée en détail.

La Partie C présente les données des foraminifères vivants de la zone d'étude Corse. L'indice foraminifère développé dans la Partie A (sur la base de répartition des faunes dans la zone d'étude Languedoc-Roussillon et Provence Alpes Côtes d'Azur) a été appliqué à ces données de manière à répartir les masses d'eau de Corse en différentes classes écologiques.

A la fin de ce rapport, nous concluons sur l'utilité des foraminifères dans l'étude de la qualité du milieu marin côtier et proposons des perspectives à ce travail.

2 Matériel et méthodes

Les carottes sédimentaires utilisées pour l'étude des foraminifères ont été prélevées tout le long de la côte méditerranéenne française durant les missions DCE 1 et 2 en Mars-Avril 2009 à bord du navire l'Europe : 31 stations en LR-PACA (Figure 1) et 11 en Corse (Figure 2). Le tableau 1 récapitule les noms des stations, leur localisation, leur profondeur d'eau et les masses d'eau les caractérisant. Le sédiment superficiel a été échantillonné à l'aide d'un sous-carottage dans un carottier-boîte Reineck (diamètre des sous-carottes = 7.10cm) sauf pour 3 stations (Cerbère, Bonifacio et Bastia Sud) qui ont été échantillonnées à l'aide d'un carottier d'interface (Gemax, diamètre des carottes = 8.80cm).

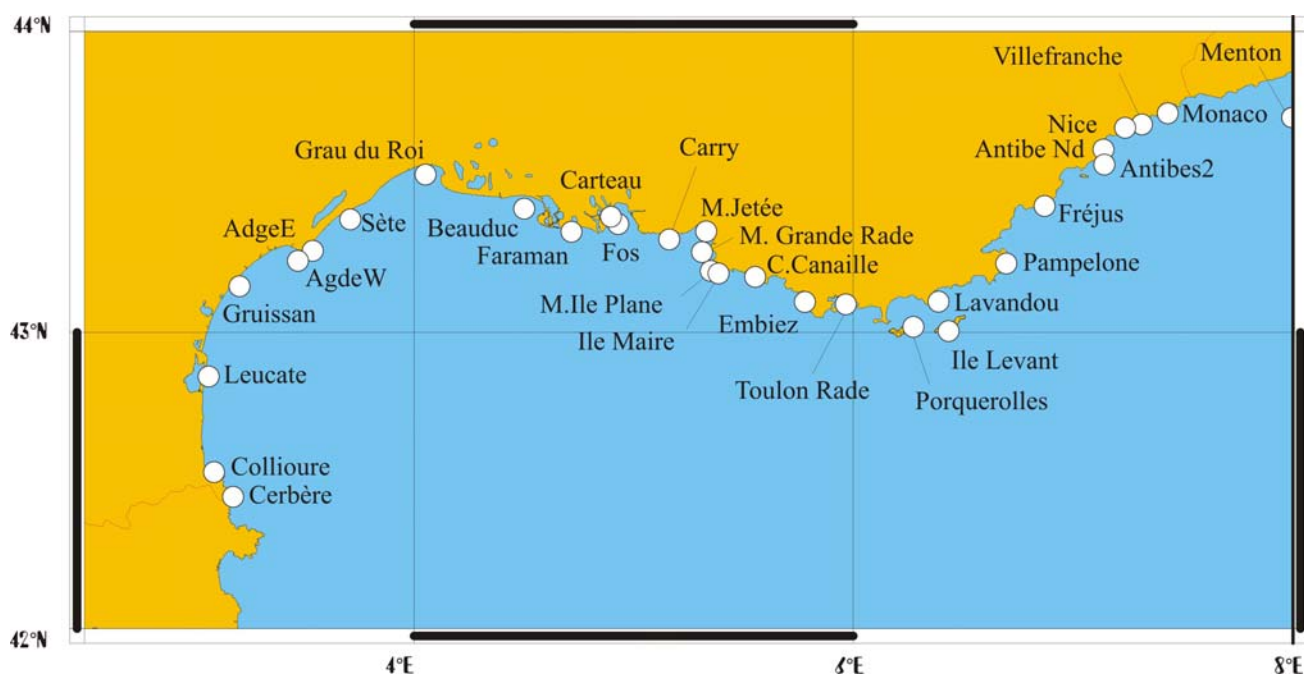


Figure 1 : Carte montrant la position géographique des sites étudiés en LR-PACA.



Figure 2 : Carte montrant la position géographique des sites étudiés en Corse.

Une fois à bord, lorsque le sédiment le permettait, les carottes ont été découpées en 4 tranches d'un demi-centimètre (0-0.5, 0.5-1, 1-1.5 et 1.5-2cm), 4 tranches d'un centimètre (2-3, 3-4, 4-5 et 5-6cm) et 2 tranches de deux centimètres d'épaisseur (6-8cm et 8-10cm). Parfois, la carotte n'était pas suffisamment longue pour échantillonner jusqu'à 10 cm ou bien il était uniquement possible de prélever à la cuillère approximativement le centimètre supérieur de la totalité de la boîte Reineck (par exemple, présence de cailloux empêchant le sous-carottage). Le sédiment ainsi prélevé a été ensuite coloré avec 1g/l de Rose Bengale (ce qui permet de reconnaître les individus vivants), et a été préservé dans l'éthanol à 95%.

Des profils d'oxygène dans le sédiment ont été réalisés à bord du navire lorsque les conditions l'ont permis (impossibilité de réaliser des profils en l'absence d'eau surnageante dans la carotte ou si impossibilité de sous-carotter). Les profils d'oxygène ont été effectués à l'aide d'électrodes Clark à pointe de 500 ou 100µm connectées à un microampèremètre Unisense© (Revsbech, 1986). Généralement, 2 profils ont été réalisés par station d'après lesquels nous avons pu déterminer la profondeur maximale de pénétration de l'oxygène (Oxygen Penetration Depth, OPD), profondeur à laquelle la concentration en oxygène est nulle.

Masse d'eau	Station (étudiées pour la macrofaune)	Station abbrégée	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Profon- deur (m)	Intervalle (cm) faune vivante	Piquage faune morte	Profil d'O2
LR - PACA								
FRDC01	Cerbère	Cerb	3.10.352	42.26.723	26	0-1	X	
FRDC01	Collioure	Colli	3.05.366	42.31.903	23	0-5	X	
FRDC02a	Leucate	Leuc	3.04.00	42.51.15	22	0-5	X	
FRDC02a	Gruissan	Gruis	3.12.267	43.09.197	21.5	0-1		
FRDC02c	Agde Ouest	AgdW	3.28.27	43.14.35	18	0-1	X	
FRDC02c	Agde Est	AgdE	3.32.39	43.16.29	21	0-4	X	
FRDC02e	Sète	Sete	3.42.680	43.22.634	20	0-1	X	
FRDC02f	Grau du Roi	Grau	4.03.20	43.31.56	15	0-10	X	X
FRDT21	Beauduc	Bduc	4.30.13	43.24.80	14	0-5	X	
FRDT21	Faraman	Fara	4.43.213	43.20.001	10	0-1		
FRDC04	Carteau	Cart	4.53.73	43.23.13	10	0-10	X	X
FRDC04	Fos	Fos	4.55.76	43.21.64	20.8	0-1	X	X
FRDC05	Carry	Carry	5.09.63	43.18.66	48	0-6	X	
FRDC06b	Marseille Grande Rade	Mrade	5.18.47	43.16.17	35	0-1		
FRDC06b	Marseille Jetée	Mjet	5.19.68	43.20.25	41	0-6	X	X
FRDC07a	Marseille-Ile Plane	Plane	5.23.03	43.11.68	40	0-1		
FRDC07a	Ile Maire	Maire	5.20.84	43.12.26	40	0-5	X	
FRDC07b	Cap Canaille	Ccan	5.33.19	43.11.11	43	0-1	X	
FRDC07e	Ile Embiez	Embi	5.46.79	43.06.13	32	0-1		
FRDC07g	Toulon Gde Rade	Toul	5.57.900	43.05.560	43	0-3		
FRDC07h	Porquerolles	Porq	6.16.460	43.01.140	40	0-1	X	
FRDC07h	Lavandou	Lav	6.23.210	43.06.140	40	0-1		
FRDC07h	Ile Levant	Levan	6.26.00	43.00.220	47	0-1	X	
FRDC08a	Pampelone	Pamp	6.41.730	43.13.740	42	0-8	X	
FRDC08d	Fréjus	Fréj	6.52.110	43.25.340	33	0-1	X	X
FRDC09a	Antibes 2	Antib2	7.08.490	43.33.560	25	0-1	X	X
FRDC09b	Antibes Nord	AntibN	7.08.110	43.36.790	19	0-1	X	
FRDC09b	Nice Ville	Nice	7.14.130	43.40.850	30	0-10	X	X
FRDC09d	Villefranche	Vfran	7.18.660	43.41.580	42	0-5	X	
FRDC09d ??	Monaco 2	Monac	7.25.790	43.43.710	69	0-1	X	X
FRDC10c	Menton	Ment	7.59.690	43.45.350	51	0-6	X	
CORSE								
FREC01ab	Calvi		8.43.820	42.34.820	42	0-1		
FREC01d	Canari		9.19.510	42.48.320	40	0-5		
FREC02c	Bastia Sud		9.27.640	42.41.020	40?	0-5		X
FREC02d	Aléria		9.34.680	42.03.500	46	0-1		
FREC03ad	Santa Giulia		9.18.330	41.30.880	40.5	0-1		
FREC03b	Porto Vecchio		9.19.310	41.36.520	10.2	0-5		X
FREC03ad	Santa Manza		9.16.133	41.26.003	49	0-1		
FREC03eg	Figari-Bruzzi		9.00.430	41.27.840	39.7	0-1		
FREC03f/eg	Bonifacio		9.09.360	41.23.350	19	0-1		X
FREC04ac	Cargèse		8.33.580	42.09.590	60	0-1		
FREC04b	Ajaccio Sud		8.46.67	41.51.810	37	0-5		

Tableau 1 : Liste des stations échantillonnées avec leur profondeur en mètres, leur position géographique, les masses d'eau correspondantes ainsi que la profondeur de sédiment analysée pour les foraminifères vivants, les stations analysées pour la faune morte et les profils d'oxygène réalisés.

Au Laboratoire des Bio-Indicateurs Actuels et Fossiles (BIAF), chaque échantillon a été tamisé pour séparer trois fractions granulométriques ($>500\mu\text{m}$, $150\text{-}500\mu\text{m}$ et $63\text{-}150\mu\text{m}$). La fraction $150\text{-}500\mu\text{m}$ a été utilisée pour l'étude des faunes de foraminifères. Les études classiques sur les foraminifères sont effectuées sur des fractions différentes. Le plus souvent on trouve les fractions $>63\mu\text{m}$, $>125\mu\text{m}$, $>150\mu\text{m}$ et $>250\mu\text{m}$. Dans notre cas, nous avons préféré utiliser la fraction supérieure à $150\mu\text{m}$ parce que cette fraction offre à notre avis le meilleur rapport entre la quantité de foraminifères présents dans l'échantillon (qui augmente quand on inclut des sédiments plus fins) et le temps nécessaire pour leur tri. Nous avons décidé de fixer une limite supérieure car la fraction $>500\mu\text{m}$ ne contient que très peu de foraminifères, par contre une grande quantité de débris végétaux et de débris coquillés y complique et rallonge fortement le temps d'analyse.

2.1 Etude de la faune vivante

Les foraminifères benthiques vivants ont été piqués sous une loupe binoculaire à l'aide d'un pinceau, placés dans des cellules puis identifiés jusqu'au niveau de l'espèce. Au total, les faunes de foraminifères du premier centimètre de sédiment ($0\text{-}1\text{cm}$) de 42 carottes (31 carottes en LR-PACA et 11 carottes en Corse) ont été analysées. Parmi celles-ci, 18 carottes ont été analysées au moins jusqu'à 4cm de profondeur (14 en LR-PACA, où la station Toulon Grande Rade a été analysée jusqu'à 3cm , et 4 carottes en Corse) afin d'étudier la distribution verticale des foraminifères dans le sédiment (voir détail en Tableau 1). Seuls les individus montrant un protoplasme coloré par le Rose Bengale ont été considérés comme vivants.

Pour l'analyse des données, nous avons considéré 2 intervalles différents de sédiment afin de pouvoir comparer les stations entre elles : les intervalles $0\text{-}1\text{cm}$ et $0\text{-}4\text{cm}$. L'objectif était de comparer les résultats obtenus entre ces 2 intervalles afin de savoir si l'étude des niveaux plus profonds (longue et donc couteuse) apportait des renseignements complémentaires importants, ou s'il était envisageable d'étudier uniquement le 1^{er} centimètre de sédiment.

Pour chacune des stations et pour chaque intervalle de sédiment considéré (soit $0\text{-}1\text{cm}$, soit $0\text{-}4\text{cm}$), nous avons calculé la densité de la faune totale (standardisée pour une surface de 50 cm^2), la richesse spécifique (nombre d'espèces), plusieurs indices de biodiversité et le poids respectif des 3 principaux groupes de foraminifères (à test hyalin, porcelané et agglutiné). Les indices de diversité choisis pour décrire la biodiversité des faunes sont l'indice de Shannon-Wiener H (Hayek and Buzas, 1997) et l'indice d'Equitabilité J (Pielou, 1966) qui sont définis par les équations suivantes :

$$H = -\sum \left(\left(\frac{n_i}{N} \right) \times \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right) \quad \text{et} \quad J = \frac{H}{\ln(S)}$$

où n_i est le nombre d'individus dans l'intervalle de sédiment considéré de la carotte pour l'espèce i , N est le nombre total d'individus dans l'intervalle de sédiment considéré de la carotte, et S est le nombre total d'espèce. Ces indices ont été choisis car ils donnent une information sur la biodiversité générale de la station. L'indice de Shannon-Wiener (H) met en rapport le nombre d'espèces en fonction de la densité de l'assemblage, tandis que l'Équitabilité (J) donne une information focalisée plus particulièrement sur la répartition du nombre d'individus entre les différentes espèces (distribution égale ou dominance d'une ou plusieurs espèces).

Afin de comparer de manière statistique les données obtenues pour l'intervalle 0-1 et 0-4cm, nous avons, après vérification de la normalité des données grâce au test de Shapiro-Wilk qui est particulièrement adapté aux échantillons de petite taille ($n < 50$), utilisé un test paramétrique ou non paramétrique pour comparer 2 échantillons appariés. Le test paramétrique choisi est le test de Student et le test non paramétrique est le test de Wilcoxon (une différence significative étant identifiée pour $p < 0.05$).

Nous avons aussi étudié la distribution verticale des foraminifères dans les carottes échantillonnées jusqu'au moins 3cm de profondeur dans le sédiment. Nous avons calculé les densités standardisées pour un volume de 50cm^3 pour chaque intervalle de sédiment et la profondeur de vie moyenne (Average Living Depth, ALD_x) pour la faune totale de la carotte. Cette dernière se calcule selon la formule suivante (Jorissen *et al.*, 1995) :

$$ALD_x = \sum_{i=1,x} \frac{(n_i \times D_i)}{N}$$

où ALD_x est la profondeur de vie moyenne de la faune totale dans la carotte de x centimètres de profondeur, n_i est le nombre d'individus dans l'intervalle de sédiment i , D_i est la profondeur moyenne de l'intervalle i (en cm), et N est le nombre total d'individus de tous les intervalles considérés.

2.2 Etude de la faune morte

Les faunes de foraminifères morts ont été étudiées pour 25 carottes des côtes LR-PACA dans l'intervalle 3-4cm. L'analyse de cet intervalle permet d'avoir une image moyennée de la composition faunistique sub-récente ou passée. Il est difficile de dater cet intervalle

sédimentaire puisque cela dépend du taux de sédimentation qui peut être très différent en fonction des stations considérées. Les foraminifères ont été piqués à sec et les échantillons ont été divisés de manière à compter environ 300 foraminifères, quantité statistiquement suffisante pour en déduire ensuite la densité relative des espèces dominantes (Murray, 2006).

Les données ont ensuite été traitées de la même manière que pour la faune vivante (excepté ce qui concerne la distribution verticale dans le sédiment).

PARTIE A

Zone d'étude Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur : Etude de la faune vivante des foraminifères

1 Caractéristiques environnementales des stations étudiées

Lors de l'étude de la macrofaune, la granulométrie et le pourcentage de matière organique contenue dans le sédiment ont été analysés. Ces paramètres, ainsi que d'autres paramètres, liés à la profondeur d'eau des stations, sont très importants car ils déterminent en grande partie la distribution des faunes de foraminifères.

La stratégie d'échantillonnage le long des côtes LR-PACA (prélèvement dans la zone des 1 mille de la côte, sans tenir compte de la morphologie sous-marine) induit **une différence très nette entre la profondeur d'échantillonnage des stations à l'Ouest (18m en moyenne) et à l'Est (40m en moyenne), la limite se situant entre les stations Fos et Carry** (Figure A1a).

En ce qui concerne la granulométrie (Figure A1c-d-e), les stations à l'Ouest de Carry présentent une faible proportion de sables $>250\mu\text{m}$, à l'exception des stations Cerbère et Collioure à l'extrémité Ouest de la côte, tandis que les stations à l'Est présentent une forte proportion de sables moyens ($250-500\mu\text{m}$) et grossiers ($500-1000\mu\text{m}$) à l'exception de certaines stations (e.g. Marseille Jetée, Ile Embiez, Nice, Menton). Logiquement, il existe donc une corrélation positive entre le pourcentage de particules $>250\mu\text{m}$ et la profondeur d'eau (Tableau A1), qui peut être considérée comme un artefact d'échantillonnage. Enfin, les stations proches de l'embouchure du Rhône présentent une plus forte proportion de particules fines ($< 63\mu\text{m}$), ce qui est compatible avec la dynamique du panache du fleuve.

Dans notre étude, la teneur en matière organique a été évaluée sur la totalité du sédiment. Cette donnée comprend donc autant la matière organique facilement assimilable par les foraminifères que les débris végétaux de grande taille qui ne peuvent pas être digérés par ces organismes benthiques. L'information fournie par le pourcentage de matière organique doit donc être analysée avec précaution.

Les teneurs en matière organique des stations entre Cerbère et Faraman sont caractérisées par des valeurs relativement faibles (entre 1.1 et 3.3%). Néanmoins il n'y a pas de tendance Est-Ouest très nette (Figure A1b). Il y a une corrélation positive significative entre le pourcentage de matière organique et le pourcentage d'argiles (<2µm) et de silts (2-63µm) (Tableau A1) comme cela a été observé dans d'autres zones d'études (e.g. Jorissen, 1987, 1988 ; Fontanier *et al.*, 2008a). Au contraire, la présence d'importantes quantités de macro-algues (e.g. débris de racines de posidonies) dans les échantillons de certaines stations à l'Est de la station Fos explique les pourcentages de matière organique anormalement élevés trouvés dans ces sédiments grossiers.

Afin de pouvoir exploiter pleinement l'information fournie par ce paramètre, nous recommandons pour de futures études de mesurer la teneur en matière organique sur la fraction de sédiment <63µm.

Finalement, les caractéristiques environnementales naturelles sont nettement différentes entre l'Ouest (sites peu profonds, sédiment fin) et l'Est (stations profondes, sédiment plus grossier) de notre zone d'étude. Ces milieux différents sont naturellement l'habitat de faunes différentes. Nous tiendrons donc compte de ce **biais éventuel dans l'interprétation des corrélations entre la faune et les paramètres environnementaux.**

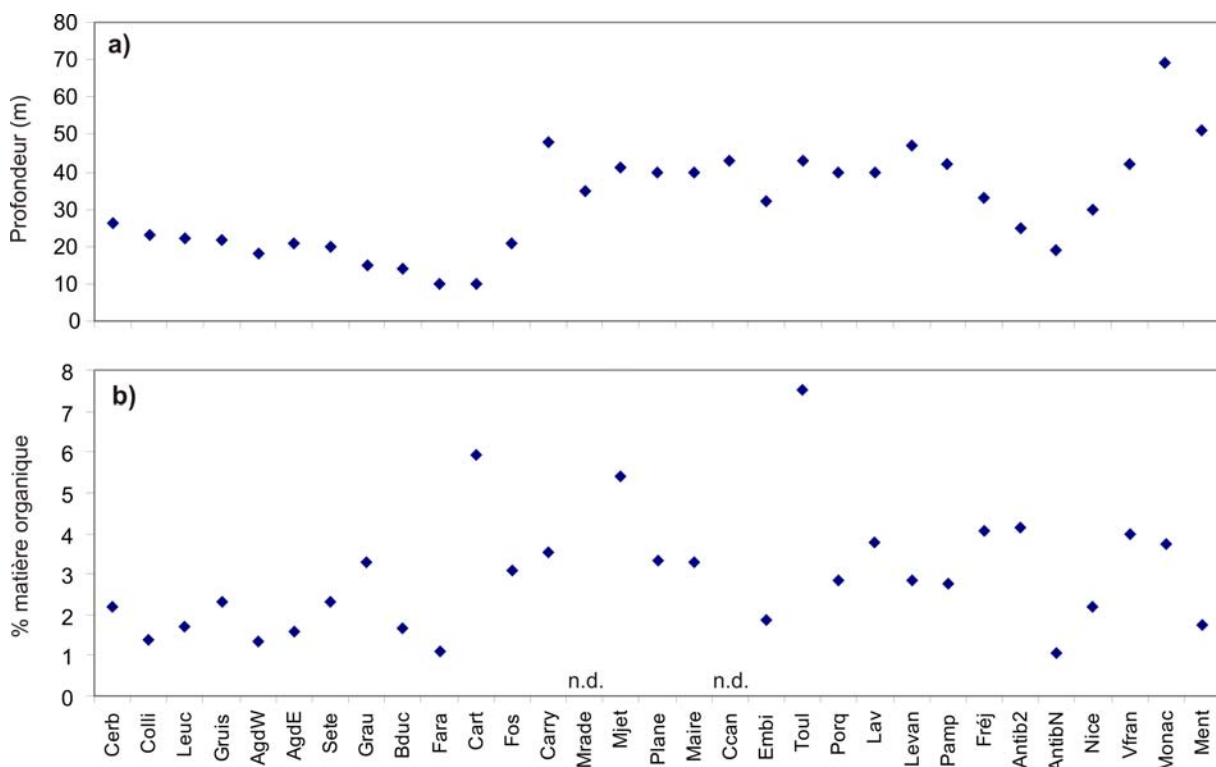


Figure A1 : Paramètres environnementaux aux stations étudiées le long des côtes LR-PACA présentés d'Ouest en Est : a) la profondeur des stations, b) le pourcentage de matière organique, c) le pourcentage d'argiles et silts (<63µm), d) le pourcentage de sables très fins à fins (63-250µm), et e) le pourcentage de sables moyens à grossiers (>250µm).

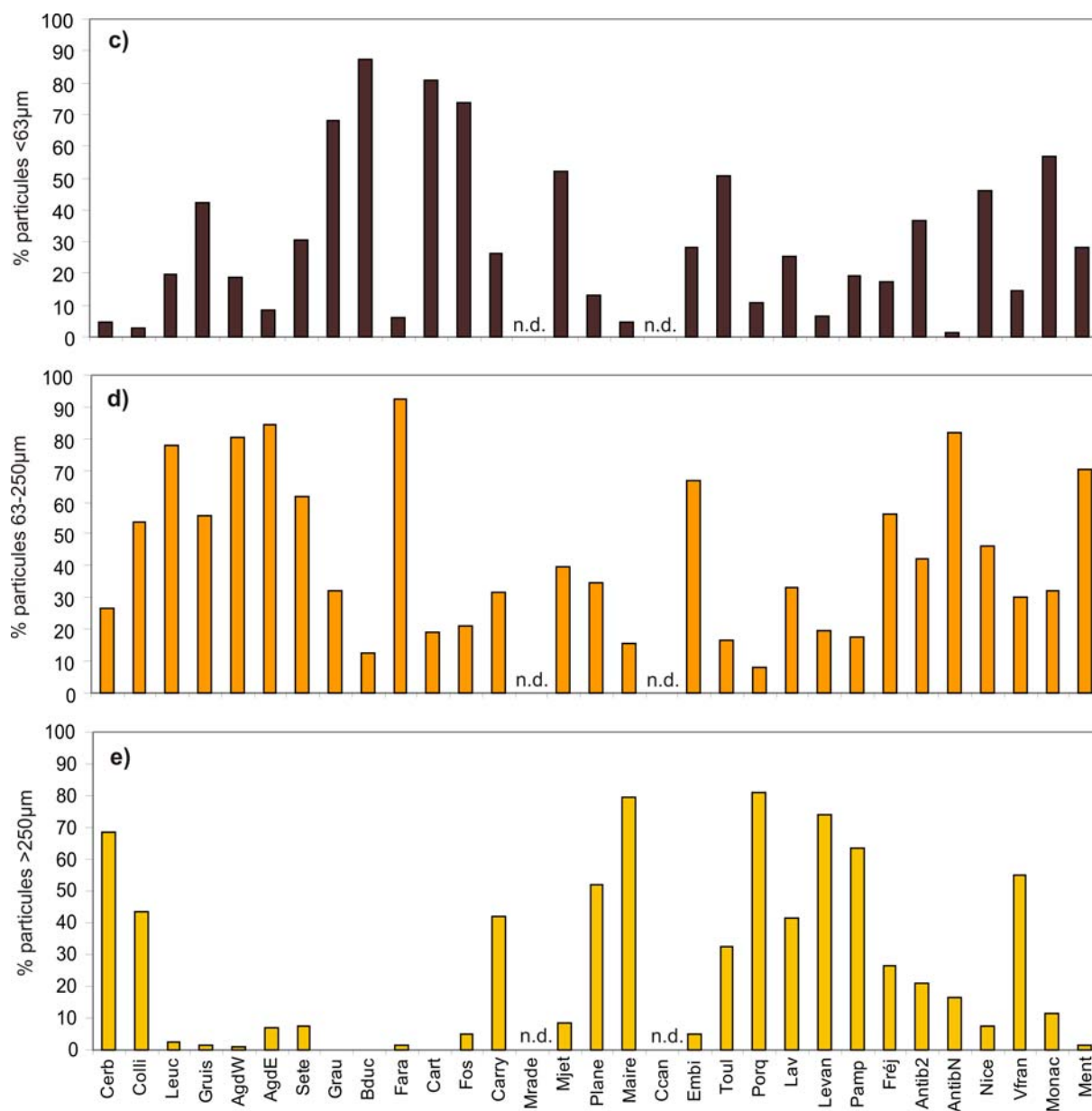


Figure A1 : Suite.

	PROF	%MO	%<63µm	%63-250µm	%>250µm
PROF		0.07	0.42	0.05	0.01
%MO	0.34		0.02	0.00	0.44
%<63µm	-0.16	0.42		0.04	0.00
%63-250µm	-0.36	-0.58	-0.38		0.00
%>250µm	0.46	0.15	-0.56	-0.56	

Tableau A1 : Matrice de corrélation entre les différents paramètres environnementaux. On trouve l'indice r de Pearson en bas à gauche, et la probabilité p en haut à droite. Les corrélations statistiquement significatives sont indiquées en gras.

2 Caractéristiques des assemblages de foraminifères vivants

Les densités de foraminifères vivants standardisées pour 50 cm² sont très variables en fonction des stations (Figure A2a). Pour l'intervalle de sédiment 0-1cm (31 stations considérées), le nombre total de foraminifères varie entre 27 individus/50cm² pour Faraman et 2091 individus/50cm² pour Grau du roi. Pour l'intervalle de sédiment 0-4cm (14 stations considérées), les densités totales varient entre 387 individus/50cm² pour Ile Maire et 2526 individus/50cm² pour Grau du roi. Les très faibles quantités de foraminifères vivants trouvés aux stations Faraman et Lavandou (27 individus/50cm² et 53 individus/50cm², respectivement) pourraient provenir du lessivage d'une partie du sédiment superficiel lors de la remontée du carottier Reineck.

Les stations Leucate, Villefranche et Menton montrent une différence particulièrement importante entre les densités pour l'intervalle 0-1cm et 0-4cm ; dans d'autres stations cette différence est moins importante. Cela est dû à la présence d'importantes quantités de foraminifères dans des couches sédimentaires plus profondes, et donc à une distribution verticale particulière des foraminifères dans le sédiment (voir paragraphe A.3).

Les indices de diversité calculés aux différentes stations indiquent une biodiversité relativement élevée le long de la côte méditerranéenne (LR-PACA). Si l'on considère l'intervalle 0-1cm, la richesse spécifique varie entre 20 et 73 espèces. Ces valeurs extrêmes sont trouvées respectivement à Agde Est et Monaco (Figure A2b). L'indice Shannon-Wiener varie entre 1.9 (Grau du Roi) et 3.7 (Monaco) (Figure A2c). L'indice d'Equitabilité, qui donne une information sur la répartition des densités de foraminifères entre les différentes espèces, varie quant à lui entre 0.53 (Grau du Roi) et 0.96 (Marseille Grande Rade) (Figure A2d). D'après ces trois paramètres, la biodiversité semble être plus importante quand on se dirige vers les stations les plus à l'Est qui sont plus profondes. Il existe donc une corrélation positive entre les différents indices de biodiversité et la profondeur d'eau des stations (Tableau A2). Ainsi, il est impossible de dire si cette différence significative indique une plus grande diversité à l'Est, ou simplement une augmentation de la biodiversité avec la profondeur d'eau.

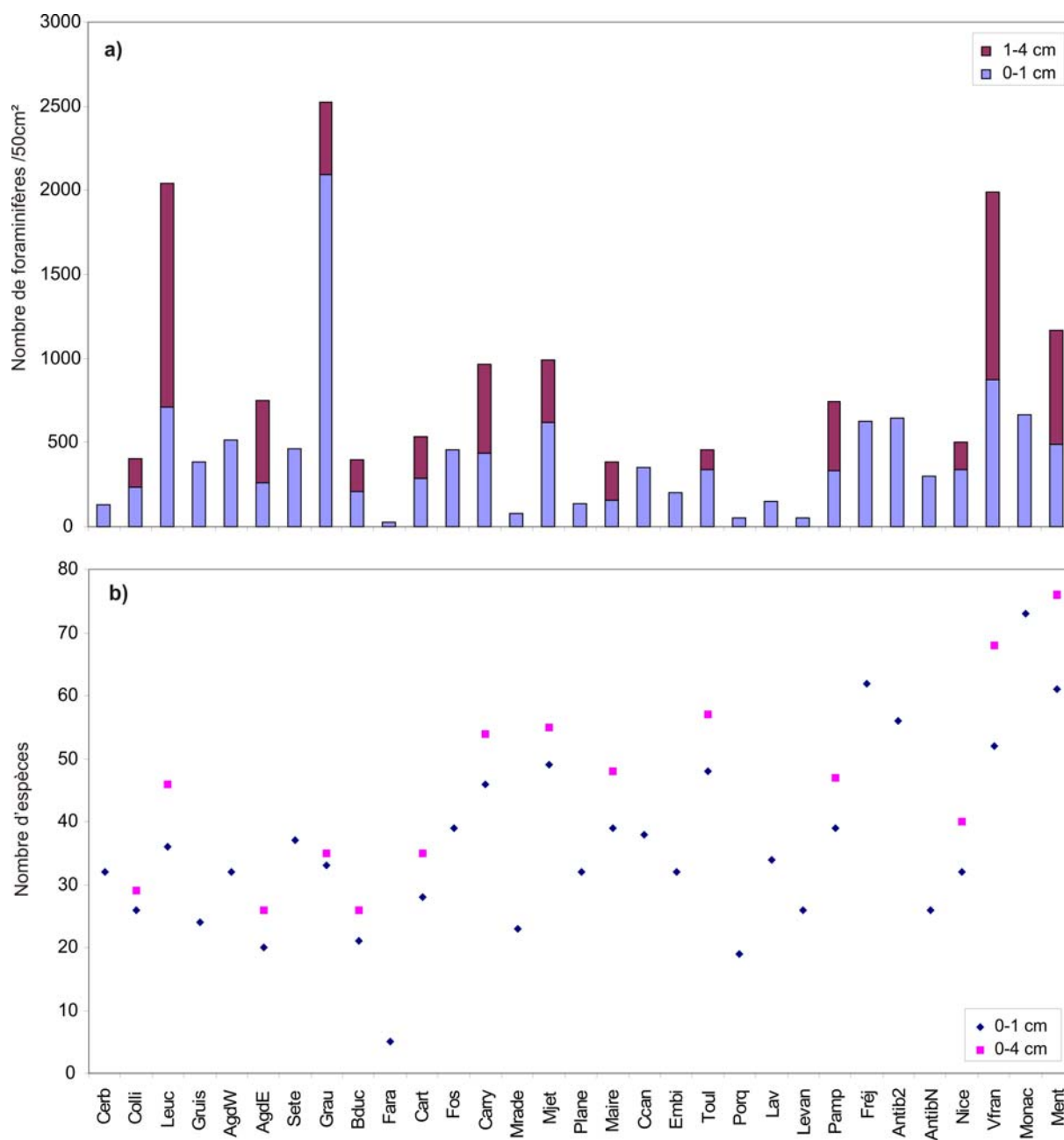


Figure A2 : Caractéristiques des assemblages de foraminifères benthiques vivants le long du transect Ouest-Est pour les intervalles de sédiment 0-1cm (bleu) et 0-4cm (rose) : a) densité de foraminifères vivants (nombre d'individus standardisé pour 50 cm²), b) richesse spécifique (nombre d'espèces), c) indice de Shannon-Wiener, et d) indice d'Equitabilité. NB : Toulon Grande Rade étudiée entre 0-3cm seulement.

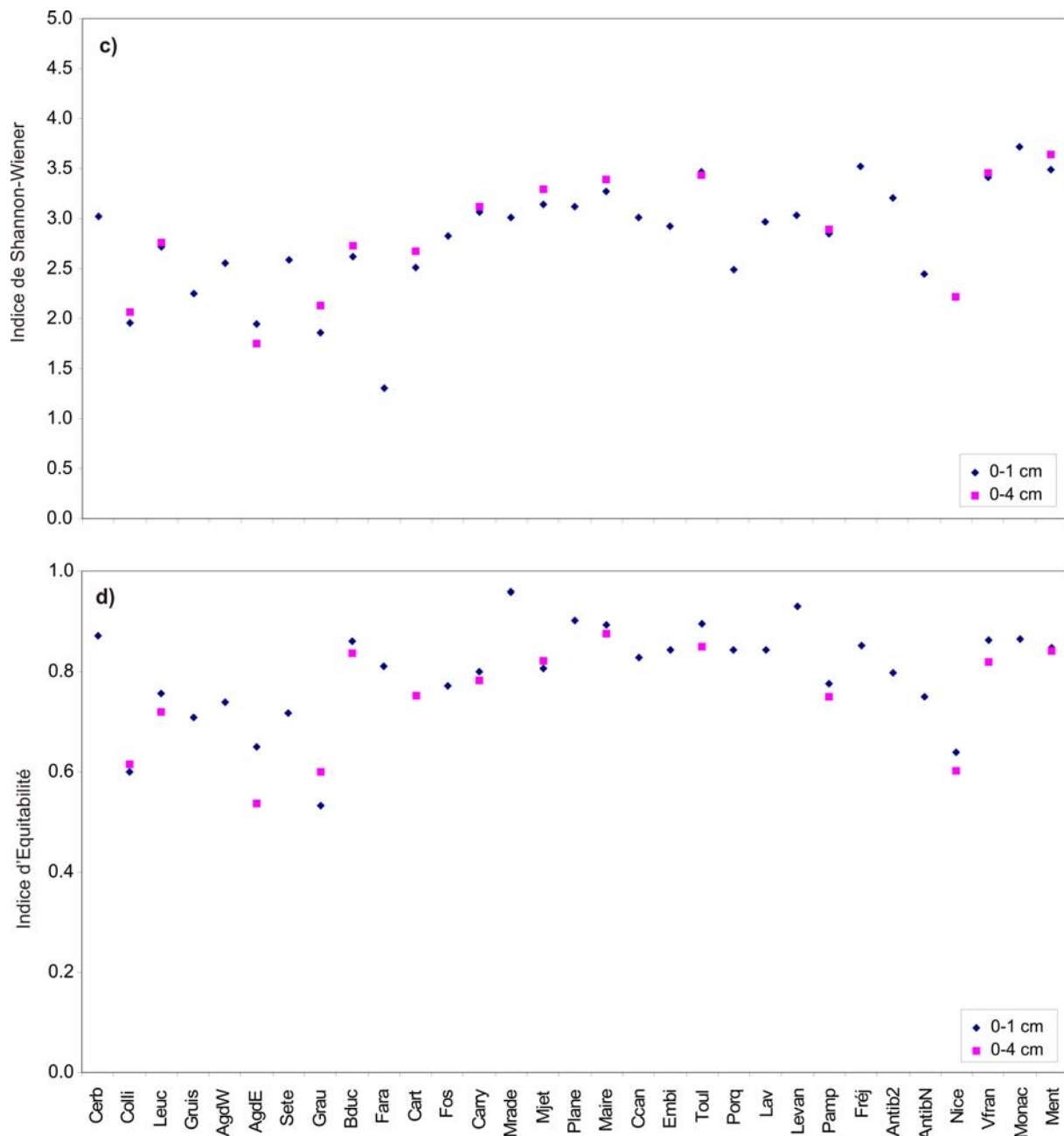


Figure A2 : Suite.

La comparaison des valeurs des indices obtenues pour les intervalles 0-1 et 0-4cm montre que le nombre d'espèces supplémentaires identifiées en étudiant plus en profondeur la carotte est en moyenne de 8 espèces et peut atteindre 16 espèces au maximum (Figure A2b). Cependant, la différence entre les indices de Shannon-Wiener des 2 intervalles considérés est relativement faible. Les espèces uniquement présentes entre 1 et 4cm sont représentées d'un faible nombre d'individus ; les différences de densité entre les intervalles 0-1 et 0-4cm mis en évidence dans la Figure A2a proviennent principalement d'une augmentation du nombre d'individus d'espèces également présentes dans le niveau superficiel. La comparaison statistique des indices de diversité des 2 intervalles montre une différence significative pour la

richesse spécifique ($t=-7.05$; $p=0.000$) et pour l'indice de Shannon ($t=-2.71$; $p=0.02$) mais pas de différence pour l'Equitabilité ($t=1.53$; $p=0.15$). Ce point est discuté dans la partie Discussion A.5.1.1.

	Prof.	%MO	%<63µm	%63-250µm	%>250µm	Densité 0-1cm	Rich.Spé.	Shannon	Equit.
Profondeur		0.07	0.42	0.05	0.01	0.70	0.00	0.00	0.00
%MO	0.34		0.02	0.00	0.44	0.40	0.01	0.00	0.09
%<63µm	-0.16	0.42		0.04	0.00	0.05	0.39	0.79	0.49
%63-250µm	-0.36	-0.58	-0.38		0.00	0.96	0.34	0.03	0.07
%>250µm	0.46	0.15	-0.56	-0.56		0.08	0.94	0.10	0.02
Densité 0-1cm	-0.08	0.16	0.36	0.01	-0.33		0.05	0.95	0.01
RichSpé	0.66	0.46	0.17	-0.18	0.01	0.37		0.00	0.14
Shannon	0.74	0.52	0.05	-0.40	0.31	-0.01	0.82		0.00
Equit.	0.53	0.33	-0.13	-0.34	0.43	-0.48	0.28	0.71	

Tableau A2 : Coefficients de corrélation (r , indice de Pearson, et p sont indiqués) entre la densité, les différents indices de diversité des faunes de foraminifères (pour l'intervalle 0-1cm) et les paramètres environnementaux (sans Marseille Grande Rade et Cap Canaille pour lesquelles nous n'avons pas toutes les données environnementales). Les corrélations statistiquement significatives sont indiquées en gras.

Le diagramme ternaire (Figure A3a) présente la distribution des stations étudiées entre 0-1cm en fonction des pourcentages des 3 principaux groupes de foraminifères (à test hyalin, porcelané et agglutiné). Collioure est la seule station présentant une majorité de foraminifères porcelanés (Figure A3a, triangle bleu). Les stations Toulon Grande Rade, Marseille Grande Rade, Ile Plane, Porquerolles, Marseille Jetée, Carry, Fos et Grau du Roi sont constituées d'une majorité de foraminifères à test hyalins (Figure A3a, triangle rouge) tandis que Nice, Agde Est et Ouest, Gruissan, Sète et Ile Embiez sont caractérisées par une dominance de tests agglutinés (entre 54 et 71% ; Figure A3a, triangle vert). Les stations représentées dans le triangle blanc central présentent une distribution relativement équitable entre les différents types de tests, excepté pour Beauduc où le groupe des porcelanés est très peu représenté.

Le même diagramme ternaire pour l'intervalle de sédiment 0-4cm montre pour ainsi dire la même répartition des stations entre les 3 groupes de foraminifères excepté pour la station Pampelone (Figure A3b). Pour cette dernière, le pourcentage de hyalins augmente au dépend des groupes porcelanés et agglutinés lorsque la carotte est analysée jusqu'à 4cm de profondeur.

Les tests de Student appliqués aux données montrent qu'il n'y a pas de différence significative pour chacun des groupes considérés entre les intervalles 0-1cm et 0-4cm (hyalins : $t=-0.22$, $p=0.83$; porcelanés : $t=0.35$, $p=0.73$; agglutinés : $t=0.01$, $p=0.99$).

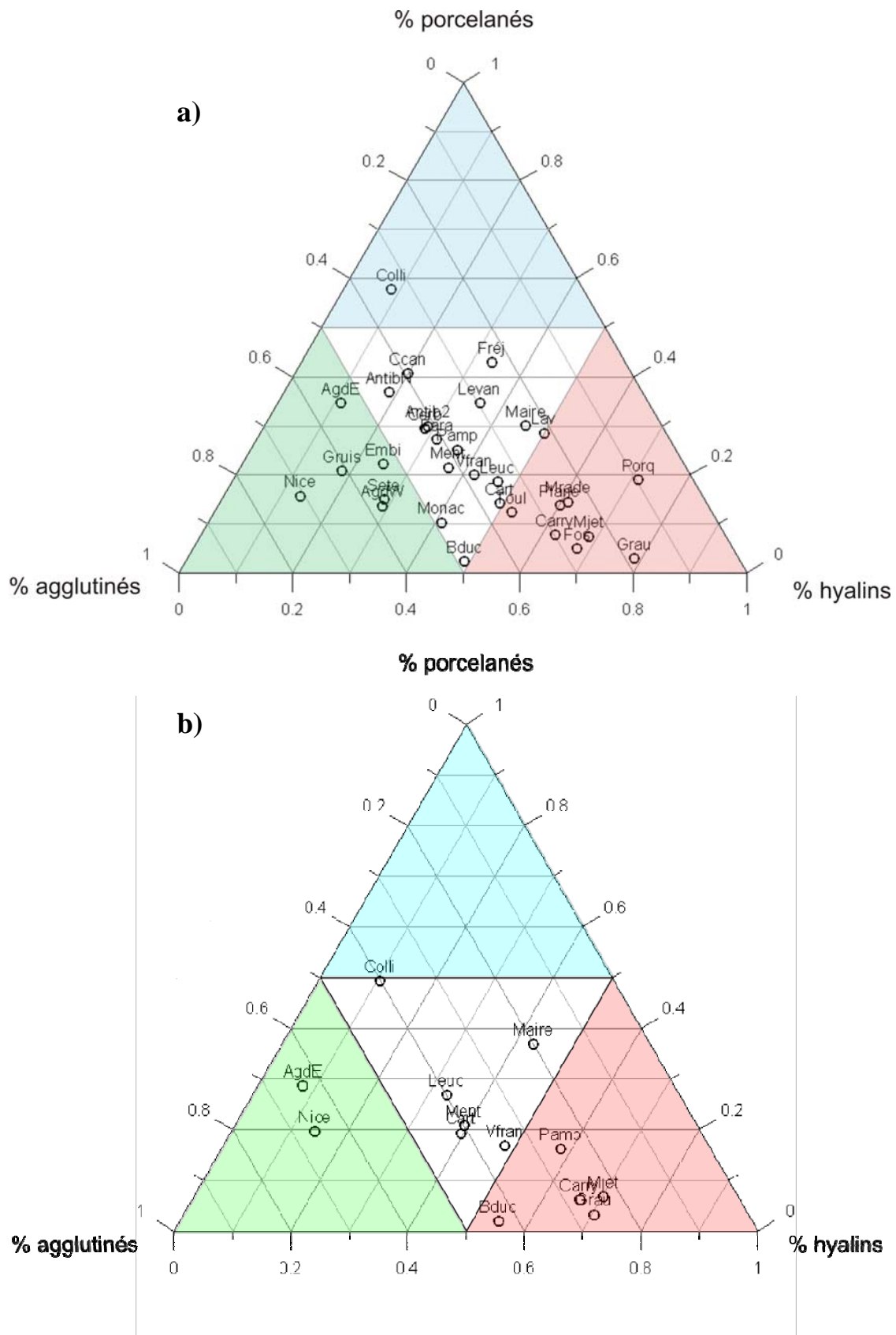


Figure A3 : Diagramme ternaire représentant les stations en fonction des pourcentages des trois principaux groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés, agglutinés) dans les faunes vivantes a) entre 0-1cm et b) entre 0-4cm. En rouge, les stations dominées par les foraminifères hyalins, en bleu par les porcelanés et en vert par les agglutinés.

Dans la littérature, ces 3 groupes de foraminifères montrent des besoins écologiques différents. Par exemple, les foraminifères porcelanés sont généralement trouvés dans les environnements peu profonds présentant une faible teneur en matière organique et une bonne oxygénation du sédiment (Jorissen, 1988 ; Donnicci et Serandrei Barbero, 2002). Bizon et Bizon (1984) ont observé que ce groupe était abondant dans les faciès sableux sur le plateau continental au large du Rhône.

Nous avons réalisé une analyse canonique afin de comparer les paramètres environnementaux mesurés aux stations étudiées (granulométrie, pourcentage de matière organique et profondeur) aux pourcentages des différents groupes de foraminifères (Figure A4). Les différentes fractions différenciées allant des argiles aux sables grossiers ont une distribution en fer à cheval. Le pourcentage de porcelanés augmente dans la même direction que les fractions les plus grossières du sédiment (sables moyens et grossiers) et est très clairement anti-corrélé avec le pourcentage d'argiles et de silts (Tableau A3). Au contraire, les foraminifères hyalins sont corrélés positivement avec le pourcentage de silts et argiles et le pourcentage de matière organique (Tableau A3). Les préférences écologiques du groupe agglutiné sont moins bien définies malgré le fait qu'il présente une corrélation négative avec le contenu en matière organique.

D'après nos données et la littérature, nous pouvons résumer les caractéristiques écologiques des deux groupes ayant les réponses les plus claires aux changements environnementaux de la manière suivante :

- **foraminifères hyalins = fortes teneurs en matière organique (milieux eutrophes), sédiment fin (silts et argiles) ;**
- **foraminifères porcelanés = faibles teneurs en de matière organique (milieux oligotrophes), sédiment grossier bien oxygéné, fort hydrodynamisme.**

La proportion de ces deux groupes nous donne donc une première indication sur les conditions régnant aux stations. Cependant, les corrélations obtenues doivent être considérées avec prudence compte-tenu du problème de la variabilité environnementale des stations échantillonnées et de la qualité de la matière organique (liée aux argiles ou liée aux accumulations de débris d'algues).

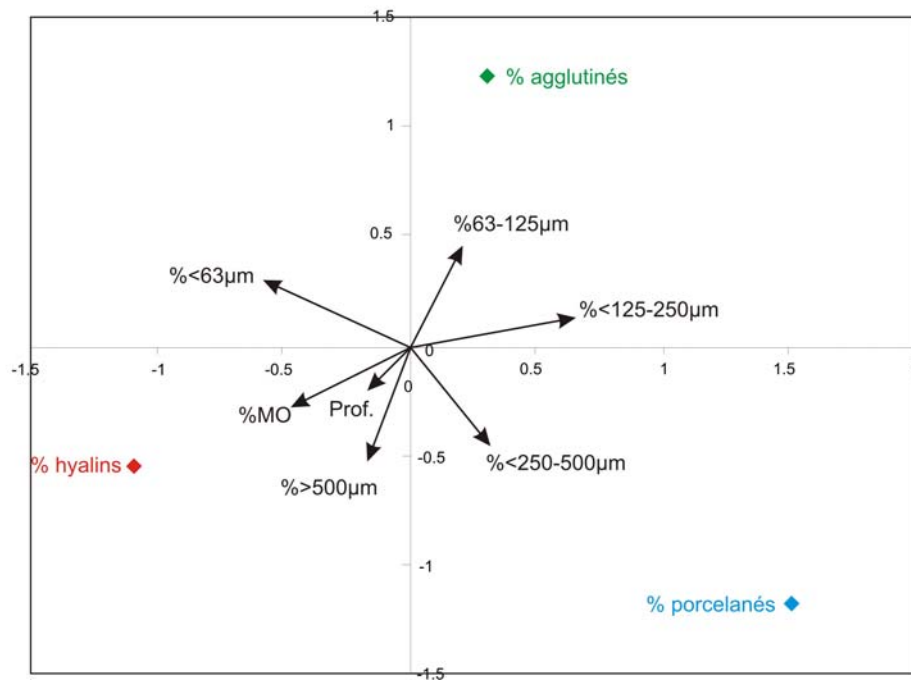


Figure A4 : Analyse canonique des correspondances réalisée à partir des données environnementales et des pourcentages des 3 groupes de foraminifères (sans Marseille Grande Rade et Cap Canaille pour lesquelles nous n'avons pas toutes les données environnementales).

	Prof.	%MO	%<63µm	%63-250µm	%>250µm	%hyal	%porcel	%agglut
Profondeur		0.07	0.42	0.05	0.01	0.27	0.80	0.22
%MO	0.34		0.02	0.00	0.44	0.01	0.11	0.03
%<63µm	-0.16	0.42		0.04	0.00	0.02	0.00	0.65
%63-250µm	-0.36	-0.58	-0.38		0.00	0.00	0.09	0.01
%>250µm	0.46	0.15	-0.56	-0.56		0.47	0.06	0.01
%hyal	0.21	0.50	0.42	-0.57	0.14		0.00	0.00
%porcel	-0.05	-0.30	-0.71	0.32	0.36	-0.65		0.88
%agglut	-0.24	-0.40	0.09	0.47	-0.50	-0.74	-0.03	

Tableau A3 : Coefficients de corrélation (r, indice de Pearson, et p sont indiqués) entre les différents groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés, agglutinés) des stations étudiées pour l'intervalle 0-1cm et les paramètres environnementaux (sans Marseille Grande Rade et Cap Canaille pour lesquelles nous n'avons pas toutes les données environnementales). Les corrélations statistiquement significatives sont indiquées en gras.

D'après nos données, les stations Grau du Roi, Fos, Carry et Marseille Jetée montrent des pourcentages de foraminifères hyalins très importants (plus de 60%) qui s'accompagnent de très faibles pourcentages de porcelanés (moins de 8%) (Figure A5). Nous pouvons donc supposer qu'à ces stations, les sédiments fins contiennent d'importantes quantités de matière organique liée aux minéraux argileux, non au dépôt de macro-algues, qui pourraient être à l'origine de faibles concentrations en oxygène dans le sédiment (Mojtahid *et al.*, 2010a). La position géographique de ces stations situées autour de l'embouchure du Rhône corrobore la présence de sédiments fins et de matière organique.

La station Beauduc comporte une très faible proportion de porcelanés (2.5%) sans que les hyalins atteignent un pourcentage important (53%). Ces données sont compatibles avec les mesures de granulométrie qui indiquent un sédiment très fin à cette station.

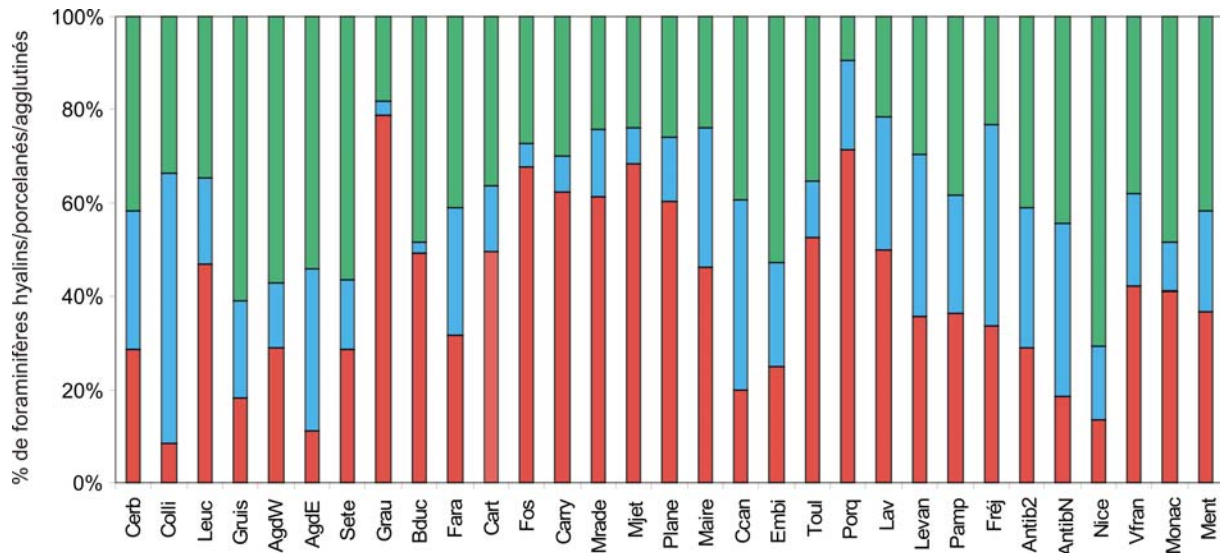


Figure A5 : Pourcentages de foraminifères hyalins (rouge), porcelanés (bleu) et agglutinés (vert) par station (transect Ouest-Est), pour les faunes vivantes des intervalles de sédiment 0-1cm.

3 Répartition verticale des foraminifères vivants

Les profils d'oxygène n'ont pu être réalisés que pour une dizaine de stations. En effet, il était difficile, pour des échantillonnages réalisés avec le carottier boîte Reineck, d'obtenir de l'eau surnageante, ce qui est indispensable pour cette mesure. La Figure A6 présente, à titre d'exemple, les profils d'oxygène réalisés à la station Carteau où la profondeur de pénétration d'oxygène maximale est de 6mm.

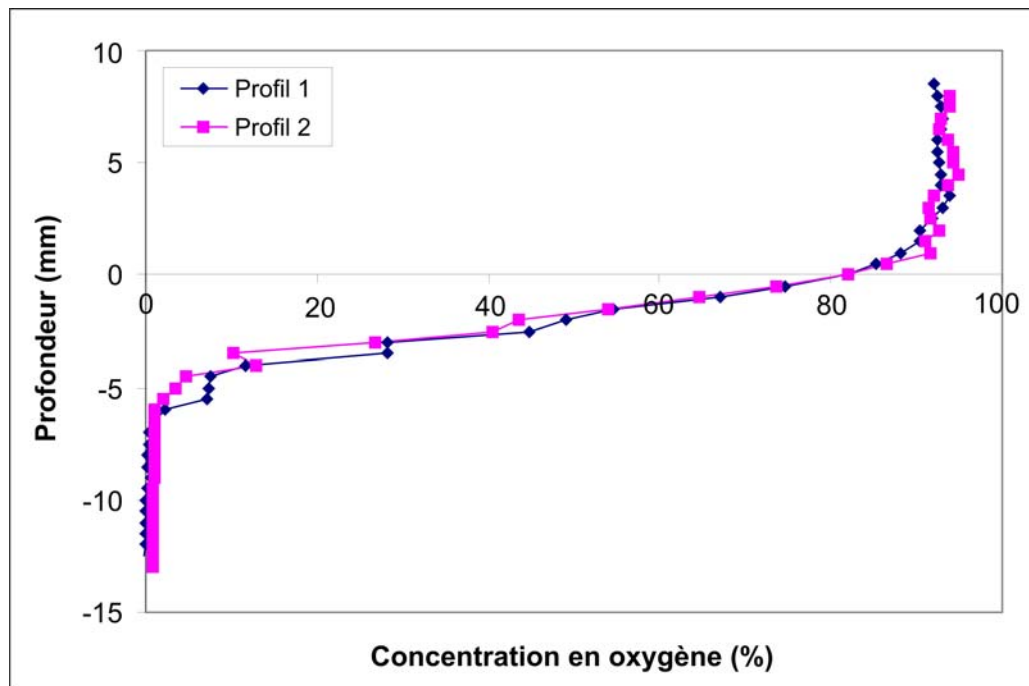


Figure A6 : Exemple de profils d'oxygène réalisés sur une carotte échantillonnée à la station Carteau.

La répartition verticale de la faune de foraminifères vivants est à la fois contrôlée par la pénétration d'oxygène dans le sédiment, la granulométrie, la disponibilité de matière organique labile dans le sédiment, et la bioturbation par la macrofaune, ce dernier paramètre ayant un fort impact sur les trois premiers.

La distribution des faunes de foraminifères des stations LR-PACA étudiées en profondeur dans le sédiment est présentée dans les Figures A7 et A8. Sur la base de la composition granulométrique (analyse de Cluster selon la méthode de Ward), nous avons distingué 2 groupes de stations (sédiment vaseux ou plutôt sableux) qui présentent 2 types de distribution différentes et des profondeurs (ALD_x) de vie moyenne des faunes différentes (Tableau A4). Rappelons que l' ALD_x est la profondeur de vie moyenne de la faune totale dans la carotte de x centimètres de profondeur (ici ALD_{5-6} correspond à une profondeur de carotte de 5 ou 6 cm).

	Station	OPD (mm)	ALD5-6 (cm)	Profondeur	%MO	%<63µm	%63- 125µm	%125- 250µm	%250- 500µm	%>500µm
Groupe A	Grau	7	1	15	3.281	67.9246	25.865	6.2104	0	0
	Toul	-	1.1	43	7.524	50.8964	11.592	4.8421	2.8182	29.85163
	Cart	6	1.3	10	5.912	80.7955	13.069	6.1353	0	0
	Mjet	14	1.4	41	5.414	51.9075	19.804	19.776	7.6146	0.897823
	Nice	12	1.4	30	2.212	46.1217	28.472	17.79	6.8024	0.814149
	Bduc	-	1.6	14	1.676	87.5197	10.753	1.7271	0	0
Groupe B	Colli	-	1.4	23	1.37	2.89344	13.856	39.896	33.739	9.615892
	AgdE	-	1.8	21	1.565	8.45076	27.562	56.994	6.9933	0
	Maire	-	2	40	3.31	4.81625	4.2608	11.218	23.28	56.42487
	Vfran	-	2	42	3.99	14.6639	12.25	18.115	22.747	32.22407
	Leuc	-	2.2	22	1.724	19.7319	53.103	24.613	2.4086	0.143028
	Carry	-	2.3	48	3.538	26.2771	14.254	17.57	17.716	24.18254
	Ment	-	2.3	51	1.73	28.2624	37.5	32.752	1.4859	0
	Pamp	-	2.7	42	2.775	19.1049	6.0586	11.394	23.954	39.48838

Tableau A4 : Profondeur de pénétration d'oxygène (OPD) (pour les stations où des profils d'oxygène ont pu être réalisés) et profondeur de vie moyenne calculée pour une profondeur de carotte de 5 ou 6cm (selon le découpage réalisé) afin de pouvoir comparer les ALD entre les différentes stations (ALD₅₋₆). NB : ALD₃ pour Toulon et ALD₄ pour Agde Est. Les paramètres environnementaux ont été ajoutés pour expliquer la distribution des foraminifères.

Pour le groupe A (Figure A7), les faunes présentent un maximum de densité dans le premier centimètre du sédiment (souvent dans l'intervalle 0-0.5cm) puis une diminution notable, plus ou moins rapide, des densités vers les intervalles inférieurs de la carotte. Ces stations ont donc une profondeur de vie moyenne de leur faune totale (ALD₅₋₆) relativement faible, variant entre 1 et 1.6cm (Tableau 5). Toutes les stations de ce groupe sont caractérisées par un fort pourcentage (>40%) d'argiles et silts (particules <63µm) et un pourcentage de matière organique relativement élevé variant de 1.68 à 7.52% (moyenne de 4.34%). Il existe une corrélation négative entre le pourcentage de particules <63µm et la profondeur de vie moyenne de la faune ($r=-0.57$, $p<0.03$). Les milieux marins silto-vaseux sont caractérisés par un hydrodynamisme faible permettant le dépôt de la matière organique et l'adsorption de celle-ci par les argiles. Ces substrats fins sont donc souvent eutrophes à mésotrophes. **D'après nos données, ce groupe présenterait donc une distribution verticale des faunes caractéristique de milieux plutôt eutrophes avec une pénétration d'oxygène limitée en profondeur (pour les stations mesurées, OPD est de 1.6cm au maximum, 1.3cm en moyenne) ce qui explique le maximum de densité observé en surface du sédiment.**

Pour le groupe B (Figure A8), la répartition verticale des foraminifères est aussi généralement caractérisée par un maximum de densité dans le premier centimètre de surface mais, contrairement au groupe A, par de fortes densités également plus en profondeur dans le sédiment. Il n'y a pas de diminution très nette du nombre d'individus dans les niveaux plus profonds, ce qui explique le fait que ces stations soient caractérisées par des ALD₅₋₆ plus élevés (entre 1.4 et 2.7cm, en moyenne 2.1cm ; Tableau A4). Pour certaines stations, la

distribution des faunes est quasiment homogène dans la carotte (e.g. Agde Est, Leucate). **Les stations de ce groupe sont caractérisées par une granulométrie plus grossière que pour les stations du groupe A (pourcentages importants dans les classes de taille >63µm, voir détail en Tableau A4) et un pourcentage de matière organique de 2.5% en moyenne (1.37-3.99%).** Pour information, leurs faunes sont composées en moyenne de 27% de foraminifères porcelanés contre 9% seulement pour les stations du groupe A ce qui corrobore la présence de sables. Malheureusement, aucune mesure d'oxygène n'a pu être réalisée pour les stations du groupe B (lorsque le sédiment est plus grossier, il est difficile d'éviter un lessivage lent de l'eau surnageante). Il paraît cependant clair que les faunes soient distribuées plus en profondeur à ces stations. Puisque le sédiment y est plus grossier et moins riche en matière organique, la profondeur d'oxygène zéro est plus importante. Ainsi, les foraminifères ne sont pas cantonnés uniquement dans le sédiment superficiel, d'autant plus que **la bioturbation par la macrofaune se fait probablement plus en profondeur dans le sédiment.**

La station Collioure est un peu particulière puisqu'elle présente une granulométrie sableuse (sable fin et moyen) et un faible pourcentage de matière organique (groupe B) mais la profondeur moyenne de la faune à cette station est relativement faible en comparaison aux stations du même groupe. De plus, la faune présente un fort pourcentage d'espèces porcelanées ce qui laisse penser que les conditions sont oligotrophes à cette station, le manque de nourriture dans les couches plus profondes pouvant expliquer la pauvreté des faunes.

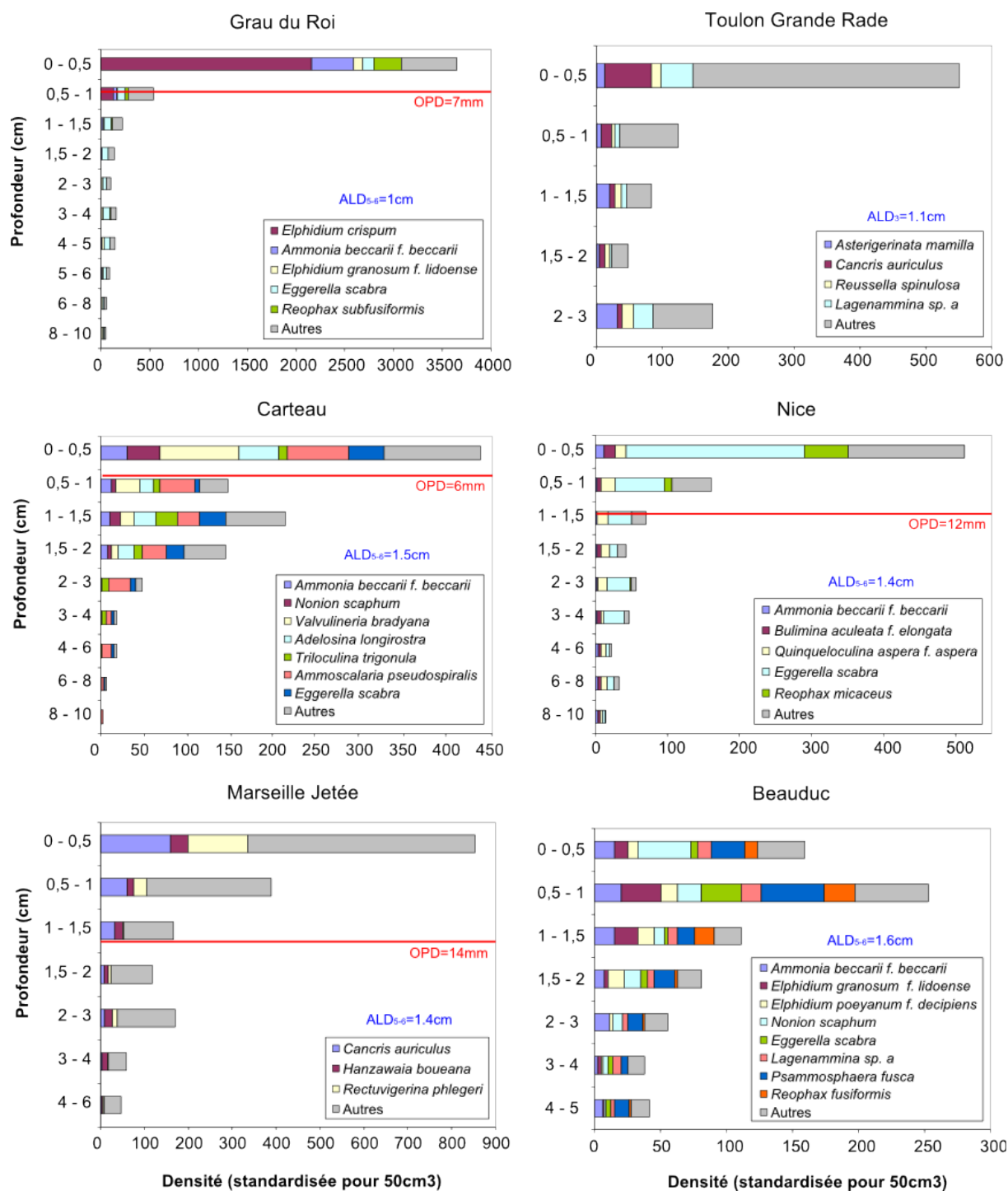


Figure A7 : Répartition verticale des faunes de foraminifères vivants des stations du groupe A (NB : dans les 3 à 10cm supérieurs du sédiment en fonction de la profondeur d'échantillonnage des carottes). Les densités des foraminifères sont standardisées pour 50 cm³. Les espèces majeures (>5% de la densité totale de foraminifères de la carotte considérée) sont représentées séparément du reste des espèces regroupées dans le groupe « Autres ». NB : L'échelle horizontale est différente pour chaque station.

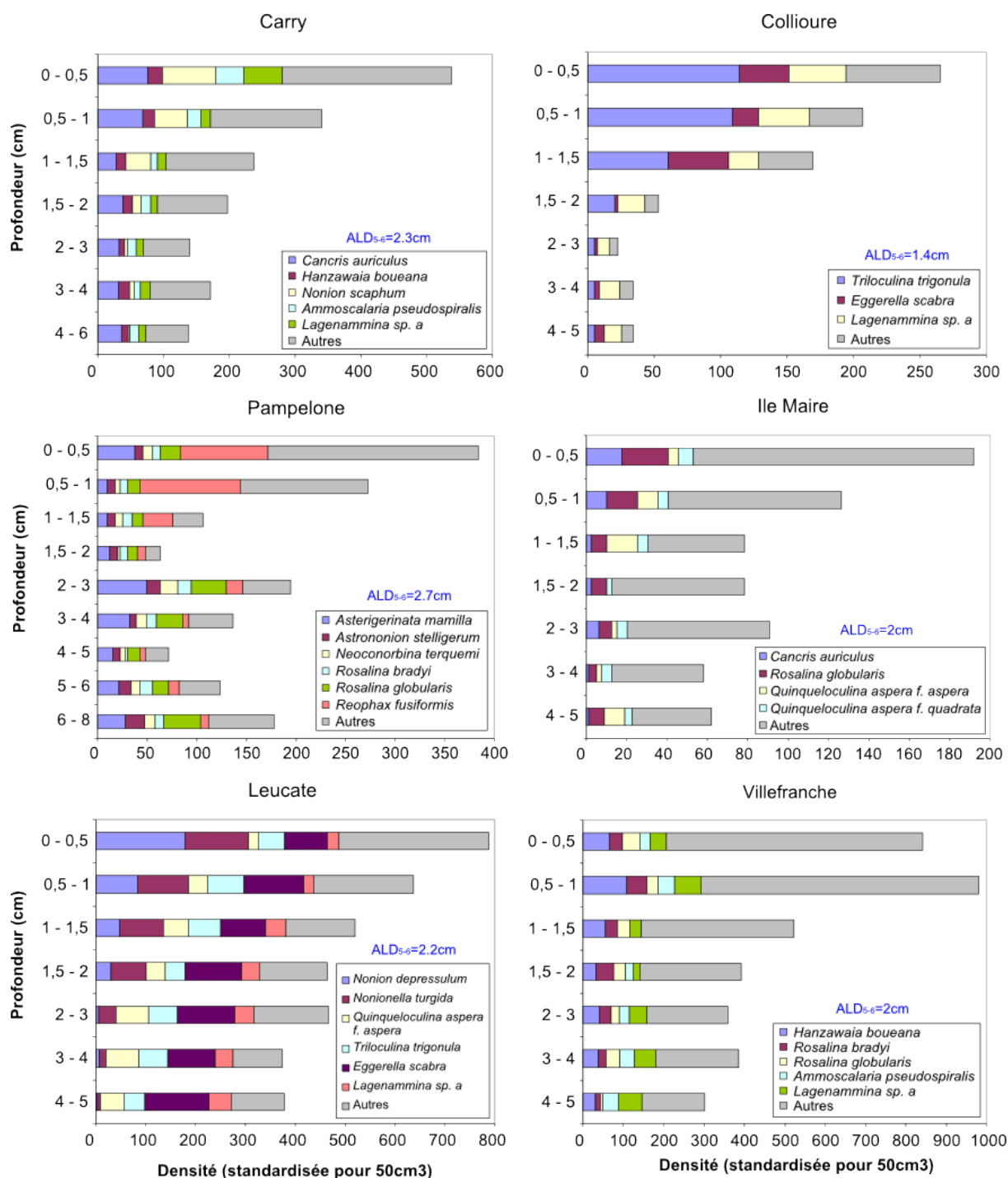


Figure A8 : Répartition verticale des faunes de foraminifères vivants des stations du groupe B (NB : dans les 4 à 8cm supérieurs du sédiment en fonction de la profondeur d'échantillonnage des carottes). Les densités des foraminifères sont standardisées pour 50 cm³. Les espèces majeures (>5% de la densité totale de foraminifères de la carotte considérée) sont représentées séparément du reste des espèces regroupées dans le groupe « Autres ». NB : L'échelle horizontale est différente pour chaque station.

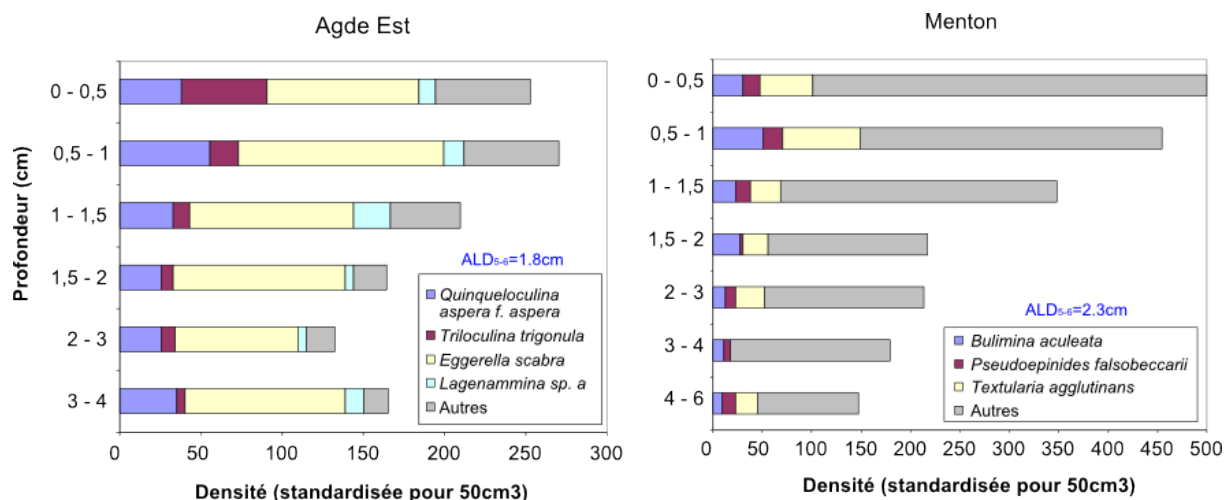


Figure A8 : Suite.

4 Composition des faunes de foraminifères vivants

4.1 Description des espèces majeures

Les espèces majeures (>5% de la faune totale dans au moins une station, 150-500µm) pour l'intervalle 0-1cm sont présentées, ainsi que leur densité relative, en Annexe 2 qui présente les données obtenues par station (voir aussi les planches photographiques en Annexe 1). Au total, 40 espèces majeures ont été identifiées dans la zone d'étude (Tableau A5) : 20 espèces hyalines, 8 espèces porcelanées et 12 agglutinées.

Espèces hyalines		Espèces porcelanées		Espèces agglutinées	
Noms	Abbrev.	Noms	Abbrev.	Noms	Abbrev.
<i>Ammonia beccarii</i> f. <i>beccarii</i>	Abecc	<i>Adelosina longirostra</i>	Along	<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>	Apseudo
<i>Asterigerinata mamilla</i>	Amami	<i>Biloculinella irregularis</i>	Birreg	<i>Eggerella scabra</i>	Escab
<i>Astrononion stelligerum</i>	Astel	<i>Quinqueloculina aspera</i>	Qasp	<i>Lagenammina</i> sp. A	LagenamA
<i>Buccella granulata</i>	Bgran	<i>Quinqueloculina bosciana</i>	Qbosc	<i>Lagenammina</i> sp. B	LagenamB
<i>Bulimina aculeata</i>	Bacul	<i>Quinqueloculina costata</i>	Qcost	<i>Psamosphaera fusca</i>	Pfusc
<i>Cancris auriculus</i>	Cauri	<i>Quinqueloculina seminula</i>	Qsemi	<i>Reophax fusiformis</i>	Rfusif
<i>Cibicides lobatulus</i>	Cloba	<i>Sigmoilina grata</i>	Sgrata	<i>Reophax micaceus</i>	Rmica
<i>Elphidium crispum</i>	Ecris	<i>Triloculina trigonula</i>	Ttrigo	<i>Reophax scoriurus</i>	Rscorp
<i>Elphidium granosum</i>	Egran			<i>Reophax subfusiformis</i>	Rsubfus
<i>Elphidium poeyanum</i> f. <i>decipiens</i>	Epoey			<i>Reophax scottii</i>	Rscot
<i>Hanzawaia boueana</i>	Hboue			<i>Textularia agglutinans</i>	Taggl
<i>Neoconorbina terquemii</i>	Nterq			<i>Textularia sagittula</i>	Tsagit
<i>Nonion depressulum</i>	Ndepres				
<i>Nonion scaphum</i>	Nscap				
<i>Nonionella turgida</i>	Nturg				
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	Pmedit				
<i>Rectuvigerina phlegeri</i>	Rphle				
<i>Rosalina globularis</i>	Rglob				
<i>Spirillina</i> sp.	Spiril				
<i>Valvulineria bradyana</i>	Vbrad				

Tableau A5 : Liste des espèces majeures de la zone d'étude LR-PACA, dont la densité relative est >5% dans au moins une des stations étudiées entre 0-1cm.

La Figure A9 reporte les espèces >10% dans chacune des stations considérées et récapitule le type de sédiment et le contenu en matière organique caractérisant les stations. Afin de pouvoir représenter graphiquement, de manière synthétique, les conditions environnementales aux différentes stations, nous avons établi des classes pour le contenu en matière organique (0-2%, 2-4% et >4%) et nous avons réalisé une étude de cluster (méthode de Ward) pour séparer les stations en 3 groupes de classes granulométriques (cluster fin : stations caractérisées par une forte proportion de particules <63µm ; cluster moyen : entre 63 et 250µm ; et cluster grossier : >250µm).

D'après la Figure A9, certaines espèces ne montrent pas de préférence écologique très nette. Par exemple, *Eggerella scabra* fait partie des espèces majeures à Carreau, station caractérisée par un pourcentage en matière organique supérieur à 4% et un sédiment silto-argileux, à Antibes 2 où le sédiment est sableux, et à Collioure où la teneur en matière organique est faible.

Au contraire, d'autres espèces n'apparaissent que lorsque les conditions adéquates à leur développement sont présentes. Par exemple, *Cancris auriculus* est l'espèce dominante à Carry, Marseille Jetée et Toulon Grande Rade, où le pourcentage de matière organique est systématiquement supérieur à 3.5% et le pourcentage de particules fines est supérieur à 26%.

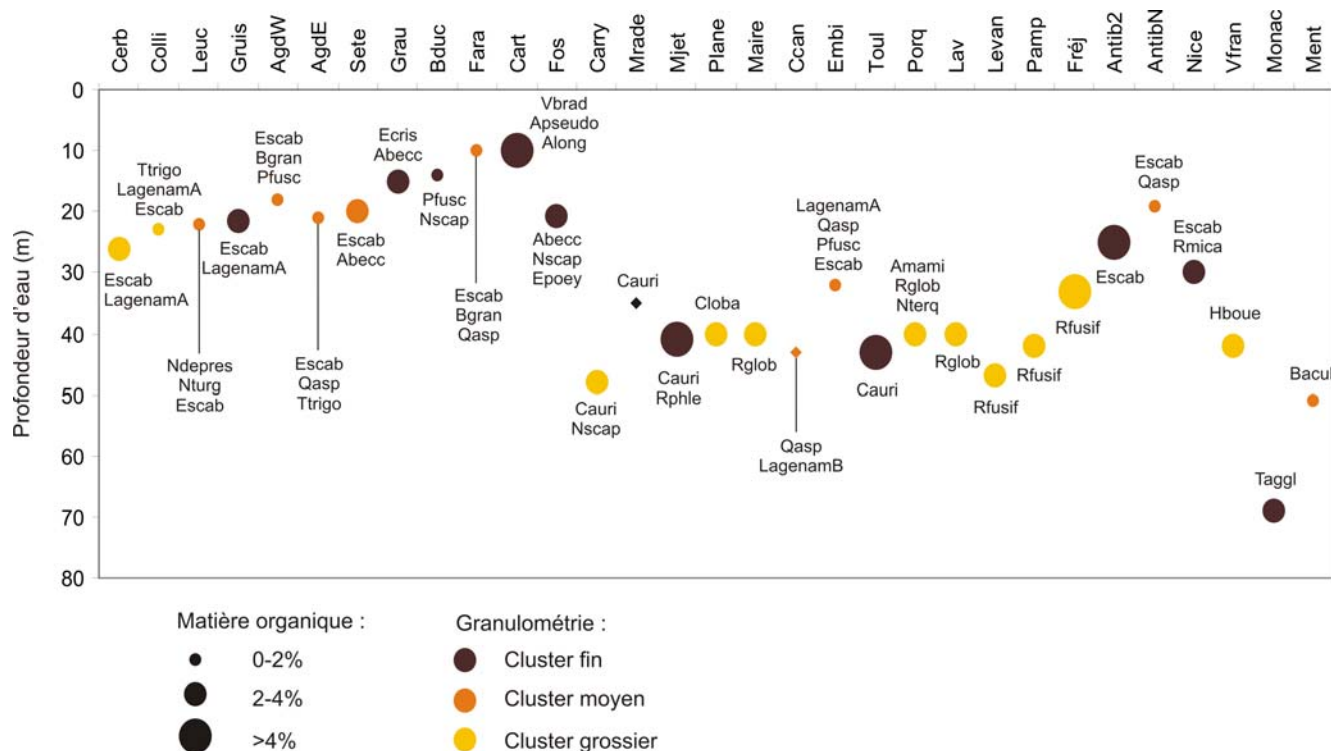


Figure A9 : Espèces majeures représentant au moins 10% de la faune totale de l'intervalle 0-1cm et caractéristiques environnementales de chaque station (transect Ouest-Est).

La comparaison des densités relatives obtenues pour les espèces majeures >5% de la faune comprise entre 0 et 4cm (dans au moins une des stations) pour chaque station n'a pas montré de différence significative entre l'intervalle 0-1cm et l'intervalle 0-4cm (Tableau A6), ce qui indique qu'une métrique basée sur les pourcentages de différentes espèces indicatrices peut être appliquée sans réserve sur le centimètre supérieur uniquement.

Stations	n	Z	p
Grau du Roi	18	0.54	0.59
Carteau	18	0.28	0.78
Agde Est	16	0.78	0.44
Pampelone	24	0.06	0.95
Nice	14	0.60	0.55
Ile Maire	21	0.26	0.79
Villefranche	28	0.18	0.86
Menton	29	0.18	0.85
Collioure	17	1.35	0.18
Beauduc	17	0.69	0.49
Toulon Grande Rade	28	0.87	0.39
Carry	30	0.63	0.53
Leucate	24	0.14	0.89
Marseille Jetée	30	0.63	0.53

Tableau A6 : Résultats des tests de Wilcoxon (Z) et des probabilités correspondantes (p) testant la similarité des espèces majeures (>5%) des différentes stations entre l'intervalle 0-1 et 0-4cm.

4.2 Groupes d'espèces indicatrices

Lorsque l'on travaille sur une zone géographique très vaste, le milieu étudié est très varié et la composition des faunes va donc varier en fonction de la localisation. Par conséquent, il est difficile de travailler avec des espèces « marqueurs », et il est plus judicieux de former des groupes d'espèces qui permettront de comparer les stations entre elles. Les paragraphes suivants traitent les données en fonction de différents groupes d'espèces représentant différentes niches écologiques.

4.2.1 Les espèces épiphytes

Certaines espèces de foraminifères ayant un mode de vie épiphyte (Tableau A7, voir planche photographique 2 en Annexe 1), c'est-à-dire pouvant vivre fixées sur des algues, indiquent une bonne ventilation des eaux de fond et la présence de végétation à proximité de la zone d'échantillonnage. D'après Van der Zwaan *et al.* (1999), les espèces épiphytes seraient sensibles à des conditions limitées en oxygène mais seraient capables de rivaliser avec d'autres espèces pour la nourriture. Elles sont retrouvées en majorité dans des sédiments sableux (Pujos, 1976 ; Spindler, 1980 ; Bizon et Bizon, 1984 ; Jorissen, 1987 ; Murray, 1991 ; Villanueva Guimerans et Cervera Currado, 1999 ; Mendes *et al.*, 2004 ; Mojtahid *et al.*, 2006) et certaines de ces espèces tolèrent des environnements à forte énergie telles que *Cibicides lobatulus* et *Gavelinopsis praegeri* (Coppa et Di Tuoro, 1995 ; Guimerans et Currado, 1999 ; Schönfeld, 2002 ; Panieri *et al.*, 2005 ; Martins *et al.*, 2007 ; Milker *et al.*, 2009). Dans notre zone d'étude, le mode de vie de ces espèces suggère la présence proche d'herbiers.

Espèces épiphytes
<i>Asterigerinata mamilla</i>
<i>Cibicides lobatulus</i>
<i>Gavelinopsis praegeri</i>
<i>Hanzawaia boueana</i>
<i>Neoconorbina terquemi</i>
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>
<i>Reussella spinulosa</i>
<i>Rosalina bradyi</i>
<i>Rosalina globularis</i>
<i>Rosalina</i> spp.
<i>Spirillina</i> sp.

Tableau A7 : Liste des espèces, identifiées dans nos échantillons, ayant un mode de vie épiphyte.

Nous avons donc calculé le pourcentage cumulé des densités des espèces épiphytes par rapport à la densité totale pour l'intervalle 0-1cm dans les différentes stations étudiées et les avons comparés aux paramètres environnementaux (Figure A10). Il apparaît que les espèces épiphytes présentent un faible pourcentage aux stations caractérisées par du sédiment fin et la Figure A10 met en évidence de nouveau une nette différence entre les stations (peu

profondes) à l'Ouest et les stations (profondes) à l'Est (limite entre Fos et Carry), avec l'exception d'Antibes Nord et Nice où les espèces épiphytes sont quasiment absentes. L'étude des corrélations entre le pourcentage d'épiphytes et les paramètres environnementaux (Tableau A8) montre une forte corrélation positive avec la profondeur d'échantillonnage des stations, ainsi qu'avec le pourcentage de matière organique et de sédiments grossiers (>250µm) tandis qu'il existe une corrélation négative avec le sédiment moyen (63-150µm). **Nos données semblent donc confirmer que les espèces épiphytes forment un groupe typique de fonds sableux végétalisés, vulnérable à des apports d'argile et de matière organique associée**

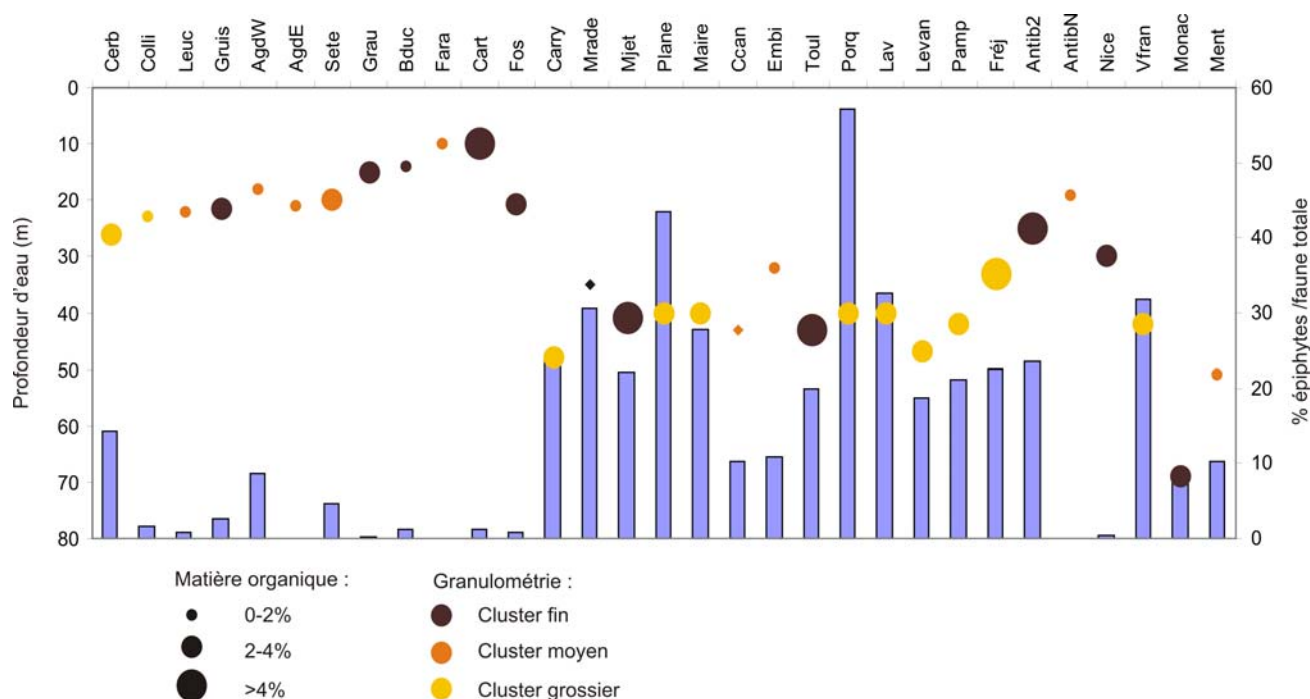


Figure A10 : Pourcentage d'espèces épiphytes (histogramme) par rapport à la faune totale de l'échantillon (intervalle 0-1cm) et caractéristiques environnementales de chaque station (transect Ouest-Est).

	Espèces épiphytes	
	r	p
Profondeur	0.55	0.00
%MO	0.37	0.05
%<63µm	-0.34	0.07
%63-250µm	-0.48	0.01
%>250µm	0.74	0.00

Tableau A8 : Coefficients de corrélation (r, indice de Pearson, et p sont indiqués) des différents paramètres environnementaux avec le pourcentage des espèces épiphytes par rapport à la densité totale de foraminifères entre 0-1cm (sans Marseille Grande Rade et Cap Canaille pour lesquelles nous n'avons pas toutes les données environnementales). Les corrélations statistiquement significatives sont indiquées en gras.

4.2.2 Les espèces tolérantes et sensibles

A partir des informations récoltées dans la littérature et des connaissances d'experts dans le domaine sur les différentes espèces présentes dans les stations étudiées, nous avons défini 2 groupes d'espèces : les espèces dites « tolérantes » qui, par leur présence dans le sédiment, sont indicatrices de conditions stressantes comme par exemple une eutrophisation du milieu ou un envasement, et les espèces dites « sensibles » qui sont indicatrices de bonnes conditions du milieu et qui disparaissent lorsque les conditions environnementales deviennent stressantes.

Les espèces classées dans le groupe des espèces tolérantes sont les suivantes (voir planche photographique 1 en Annexe 1) :

- Plusieurs espèces du genre ***Bulimina*** (e.g. *B. marginata*, *B. aculeata*, *B. denudata*) sont typiques d'environnements présentant de forts apports de nourriture (De Rijk *et al.*, 2000 ; Morigi *et al.*, 2001 ; Donnici and Barbero, 2002 ; Mendes *et al.*, 2004 ; Eberwein and Mackensen, 2006). Par exemple, *B. marginata* a montré une réponse à des flux saisonniers de phytodétritus dans le Golfe de Gascogne par une augmentation de sa densité (Langezaal *et al.*, 2006). *Bulimina* spp. sont aussi considérées comme de bons marqueurs de conditions pauvres en oxygène (Sen Gupta and Machain-Castillo, 1993 ; Ohga and Kitazato, 1997 ; Bernhard and Sen Gupta, 1999 ; van der Zwaan *et al.*, 1999).
- ***Cancris auriculus*** et ***Rectuvigerina phlegeri*** sont souvent retrouvées dans les mêmes assemblages. Ces espèces sont indicatrices de conditions eutrophes et de stress dû à l'hypoxie (Corliss, 1985 ; Sen Gupta et Machain-Castillo, 1993 ; Schmiedl *et al.*, 2000 ; Milker *et al.*, 2009). Plus précisément, Diz *et al.* (2006) ont décrit *R. phlegeri* comme une espèce opportuniste qui se développerait rapidement lors d'apport de matière organique labile.
- ***Nonion scaphum*** et ***Nonion depressulum*** sont des espèces typiques de sédiments fins avec de forts apports en matière organique (Venec-Peyré, 1984 ; Mathieu, 1986 ; Murray, 1991 ; Debenay et Redois, 1997 ; Fontanier *et al.*, 2002 ; Mojtabid *et al.*, 2006).
- ***Nonionella turgida***, ***N. stella*** et ***Pseudoeponides falsobeccarii*** sont toutes trois caractéristiques de sédiments fins et riches en matière organique et seraient tolérantes, ou même légèrement avantagées par des conditions de stress important tel qu'un manque en oxygène, hypoxie ou anoxie épisodique (Venec-Peyré, 1984 ; Jorissen, 1987 ; Bernhard et Reimers, 1991 ; Van der Zwaan et Jorissen, 1991 ; Barmawidjaja *et al.*, 1992 ; Duijnsteet *et al.*, 2003 ; Diz *et al.*, 2006).
- ***Valvulineria bradyana*** est considérée comme un excellent indicateur de sédiment riche en matière organique, où l'on retrouve souvent des conditions de stress

environnementaux tels que de faibles concentrations en oxygène (Jorissen, 1987, 1988 ; Fontanier *et al.*, 2002). Morigi *et al.* (2005) suggèrent qu'un fort pourcentage de cette espèce pourrait refléter un impact anthropogénique sur l'environnement marin tel qu'une augmentation de la charge organique associée au développement industriel. Dans de telles conditions, cette espèce endopélique pourrait migrer vers la surface du sédiment pour profiter des apports de matière organique aux dépens d'autres espèces moins résistantes.

- ***Reophax scottii*** est une espèce dite opportuniste car elle répond rapidement aux apports de matière organique labile dans le premier centimètre de sédiment (Scott *et al.*, 2005 ; Diz *et al.*, 2008). Elle peut supporter des environnements très turbides (Scott *et al.*, 2005 ; Mojtahid *et al.*, 2009) mais serait faiblement tolérante aux hypoxies sévères (Moodley *et al.*, 1997 ; Ernst *et al.*, 2002 ; Duijnsteet *et al.*, 2003).

Les espèces classées dans le groupe des espèces sensibles sont les suivantes (voir planche photographique 2 et 3 en Annexe 1):

- Les **espèces porcelanées** : comme nous l'avons vu précédemment avec nos données et d'après la littérature, les foraminifères porcelanés préfèrent vivre dans du sédiment sableux bien oxygéné ne présentant que de faibles teneurs en matière organique (Bizon et Bizon, 1984 ; Jorissen, 1988 ; Donnicci et Serandrei Barbero, 2002 ; Schmiedl *et al.*, 2003). Ils seront donc absents de la faune dans le cas d'un envasement ou d'une eutrophisation du milieu.
- Les **espèces épiphytes** : voir paragraphe précédent (A.4.2.1) pour la description écologique de ces espèces.
- Différentes espèces d'***Elphidium*** : *E. crispum*, *E. granosum* et *E. poeyanum*. *Elphidium crispum* n'a pas de préférence pour un type de sédiment en particulier. Dans l'étude de Jorissen (1987) en Mer Adriatique, elle est présente dans les sites avec un pourcentage de matière organique légèrement élevé mais elle est très rare dans la zone fortement influencée par les rejets du Po. Cette espèce ne supporterait donc pas des conditions de stress sévère. Les morphotypes *lidoense* et *decipiens* respectivement des espèces *E. granosum* et *E. poeyanum*, considérées comme les morphotypes « sensibles » de ces espèces, sont présents dans nos échantillons. Ils sont trouvés principalement dans les zones sableuses à silteuses avec relativement peu de matière organique et n'auraient qu'une faible tolérance à des conditions de faible oxygénation (Jorissen, 1987).

La Figure A11 présente les pourcentages des espèces tolérantes et des espèces sensibles pour les stations étudiées selon le transect Ouest-Est. Il est remarquable que le pourcentage d'espèces tolérantes augmente dans les stations proches de l'embouchure du Rhône. En effet, le Rhône est la source principale de matériel sédimentaire dans le Golfe du Lions (80% ; Durrieu de Madron *et al.*, 2000). Avec un débit annuel de 1 700m³/s (Pont *et al.*, 2002), il

déverse 6.2 Mt/an de particules (Thill *et al.*, 2001). Les stations situées à proximité sont donc influencées par des dépôts de sédiment fin et de matière organique terrestre. Dans notre jeu de données, le pourcentage des espèces tolérantes corrèle positivement avec le pourcentage de particules fines et le pourcentage de matière organique (Tableau A9). Les espèces tolérantes ne sont que peu représentées dans les stations à l'Est malgré un fort taux de matière organique comme par exemple à Fréjus ou Antibes 2. Comme indiqué auparavant, nous pensons que les pourcentages élevés de matière organique dans l'Est pourraient référer à des débris de macro-algues (e.g. débris de racines de posidonies), matière organique totalement différente de la matière organique à la sortie du Rhône qui est constituée de matière organique sédimentaire continentale, contenant des composantes labile et réfractaire. Ces deux types de matière organique ne seront pas assimilables de la même manière par les foraminifères, comme le montre la distribution des espèces tolérantes dans les stations.

Les espèces sensibles corrélaient négativement avec le pourcentage de particules fines et positivement avec les particules plus grossières (>250µm) (Tableau A9). Ces espèces semblent moins bien adaptées pour habiter des sédiments fins, qui sont souvent assujettis à un enrichissement organique (naturel ou anthropique). Ainsi, leur disparition au cours du temps permettrait de mettre en évidence des envasements.

On peut remarquer, que pour ces espèces indicatrices, aussi bien les espèces tolérantes que les espèces sensibles, il n'y a pas de différence Ouest-Est notable comme cela était le cas pour les espèces épiphytes).

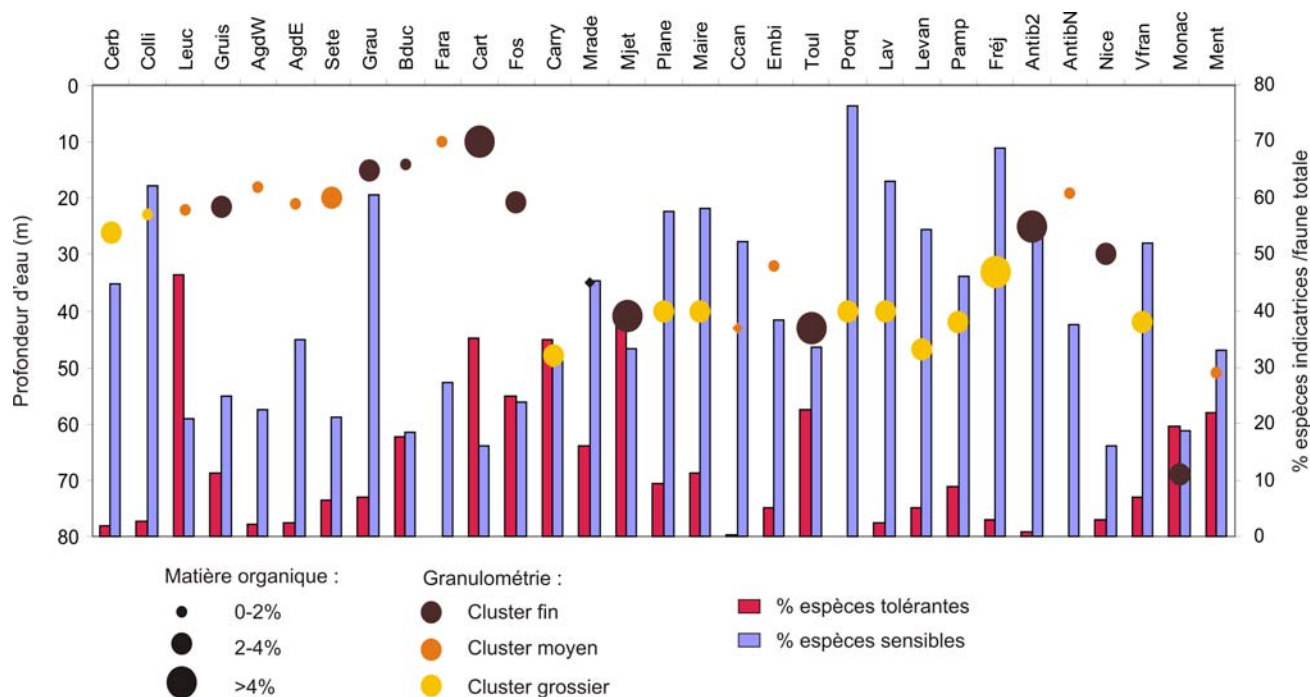


Figure A11 : Pourcentage des espèces tolérantes (histogramme rouge) et sensibles (histogramme bleu) par rapport à la faune totale de l'échantillon (intervalle 0-1cm) et caractéristiques environnementales de chaque station (transect Ouest-Est).

	Espèces sensibles		Espèces tolérantes	
	r	p	r	p
Profondeur	0.24	0.22	0.15	0.45
%MO	0.10	0.59	0.40	0.03
%<63µm	-0.49	0.01	0.48	0.01
%63-250µm	-0.28	0.14	-0.17	0.39
%>250µm	0.69	0.00	-0.29	0.13

Tableau A9 : Coefficients de corrélation (r, indice de Pearson, et p sont indiqués) entre le pourcentage des espèces tolérantes et sensibles et les différents paramètres environnementaux entre 0-1cm (sans Marseille Grande Rade et Cap Canaille pour lesquelles nous n'avons pas toutes les données environnementales). Les corrélations statistiquement significatives sont indiquées en gras.

En résumé, il est donc possible de distinguer deux types de milieux d'après la proportion des espèces tolérantes et sensibles:

- 1) **Les stations présentant un fort pourcentage d'espèces tolérantes et un faible pourcentage d'espèce sensibles indiquent un sédiment fin, souvent avec un taux de matière organique important.** C'est le cas des stations Leucate, Gruissan, Beauduc, Carteau, Fos, Carry, Marseille Grande Rade, Marseille Jetée, Toulon Grande Rade, Monaco, Menton. De telles conditions peuvent être naturelles, ou la conséquence d'un impact anthropique.
- 2) **Les stations présentant un fort pourcentage d'espèces sensibles et un faible pourcentage d'espèces tolérantes indiquent au contraire un milieu sableux avec un taux de matière organique relativement faible et une bonne oxygénation du sédiment.** C'est le cas des stations Cerbère, Collioure, Agde Ouest et Est, Sète, Grau du Roi, Faraman, Cap Canaille, Ile Plane, Ile Maire, Embiez, Porquerolles, Lavandou, Ile du Levant, Pampelone, Fréjus, Antibes 2, Antibes Nord, Nice et Villefranche.

5 Discussion

5.1 Une étude de bio-indication à partir des faunes de foraminifères peut-elle être basée uniquement sur l'analyse du 1^{er} centimètre de sédiment ?

Dans les études sur l'écologie des foraminifères actuels, il est coutumier d'analyser la totalité de la faune dans la colonne de sédiment. En effet, l'étude de la distribution verticale des foraminifères peut donner des informations sur les stratégies écologiques des différentes espèces (épipéliques ou endopéliques), ou bien, en parallèle, sur les paramètres environnementaux (réactivité de la matière organique, diagénèse précoce...). Cependant, dans

notre cas, où nous visons à mettre au point un indicateur biologique rapide, efficace et peu coûteux, l'étude du sédiment en profondeur allonge significativement la durée du travail de piquage (récolte des données). Nous avons donc cherché à déterminer si, en analysant uniquement le premier centimètre du sédiment, qui contient généralement la plus grande partie de la faune vivante, nous n'allions pas perdre une partie non négligeable de l'information apportée par l'étude des faunes plus en profondeur. Nous avons donc comparé les résultats obtenus à partir de l'étude des intervalles de sédiment 0-1 et 0-4cm.

5.1.1 Comparaison des paramètres faunistiques

La comparaison statistique de l'indice d'Equitabilité et des pourcentages des 3 groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés et agglutinés) et de la composition faunistique des espèces majeures a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les faunes des intervalles 0-1cm et 0-4cm. Cependant, les densités sont significativement différentes et l'analyse statistique a montré une différence pour l'indice de Shannon. Pour cet indice, où l'on peut observer que les différences sont faibles (Figure A2c), la différence significative identifiée par le test statistique s'explique par le fait que les valeurs de H pour l'intervalle 0-4cm sont toujours sensiblement supérieures à celles obtenues pour l'intervalle 0-1cm (excepté pour la seule station de Agde Est). Le test statistique, basé entre autres sur le signe de la différence entre les valeurs de chaque station, considère qu'il y a donc une différence significative. Cependant, dans notre étude, nous obtenons une différence maximale de 0.27 pour Grau du Roi et un écart moyen de 0.11 entre les 2 intervalles étudiés. Cette différence ne changera pas d'une façon considérable le placement des stations en fonction des différentes classes déterminées.

Ce qui est plus rassurant encore est le fait que les densités relatives des espèces majeures entre l'intervalle 0-1 et 0-4cm ne changent que très légèrement. **L'étude des faunes de l'intervalle 0-1cm permet donc d'obtenir des données suffisantes pour décrire convenablement, sans faire de mauvaise interprétation, les faunes d'une station en termes de diversité et de composition. Cependant, l'étude de la faune vivant dans le sédiment (distribution verticale) fournit des informations complémentaires sur le type de milieu et le comportement des faunes. Ces renseignements ont été précieux pour la mise en place de l'indicateur foraminifère comme nous le discutons dans la partie suivante.**

5.1.2 Intérêt de l'étude de distribution verticale des faunes

La distribution des foraminifères classiquement décrite dans la littérature (e.g. Corliss, 1985 ; Jorissen, 1995) fait appel à la notion de microhabitat des espèces. En effet, certaines espèces sont caractérisées par un milieu de vie en surface du sédiment (espèces épipéliques) et d'autres par un milieu de vie plus ou moins profond dans le sédiment (espèces endopéliques superficielles, intermédiaires, profondes). Dans les carottes analysées dans zone d'étude LR-PACA, nous n'avons pas identifié d'espèce présentant un microhabitat endopélique intermédiaire ou profond (Figure 8-9). En effet, parmi les espèces majeures, celles présentes en profondeur dans le sédiment sont toujours trouvées en densité relative non négligeable également en surface. Buzas *et al.* (1993) ont effectivement mis en évidence que cette différence de microhabitat entre les espèces est beaucoup moins présente dans les milieux de plateforme continentale que dans des milieux plus profonds. Ceci est probablement dû au caractère beaucoup plus dynamique des milieux côtiers. Cet aspect dynamique ne permet pas une ségrégation des espèces comme c'est le cas dans des environnements plus stables que l'on trouve dans des milieux plus profonds. Il y a tout de même des espèces qui occupent un microhabitat principalement superficiel comme c'est le cas de *Valvulineria bradyana* ou *Nonion scaphum* (Figure A7-A8) comme l'a fait remarquer Mojtabid *et al.* (2010b) au niveau de l'embouchure du Rhône. D'autres espèces pénètrent beaucoup plus profondément dans le sédiment. Comme nous l'avons mentionné lors de la comparaison entre le nombre d'espèces reportées entre l'intervalle 0-1 et 0-4cm (Figure A2b), les espèces présentes uniquement en profondeur dans le sédiment ne représentent que de très faibles abondances.

D'après les comparaisons statistiques des paramètres faunistiques des intervalles 0-1 et 0-4cm, ainsi que l'absence d'espèces exclusivement endopéliques profondes, nous pouvons déduire que l'étude du centimètre superficiel de sédiment donne une bonne image de la faune vivante, de sa diversité et de sa composition. Cependant, l'étude de la distribution de la faune en profondeur fournit une information complémentaire très intéressante sur le milieu. La profondeur de vie des foraminifères renseigne sur l'épaisseur de la couche bio-active dans le sédiment (BBL, Benthic Boundary Layer). En effet, si la profondeur de vie est limitée à la surface du sédiment, cela signifie souvent que la pénétration de l'oxygène est très limitée en profondeur (Jorissen *et al.*, 1995) et qu'il y a une forte demande d'oxygène dans le sédiment de surface (oxygène consommé par la dégradation de la matière organique). Cette situation correspond à un environnement eutrophe où la biodiversité est généralement faible. Il y a moins de pénétration de la faune en profondeur et moins de bioturbation issue de la macrofaune, la BBL est donc moins épaisse. Cela signifie aussi que les faunes de foraminifères morts donneront effectivement une bonne idée des conditions sub-récentes (peu de mélange du sédiment). Au contraire, si les foraminifères vivants sont présents en densité importante en profondeur dans la carotte, la BBL est plus épaisse et les conditions

écologiques en profondeur ne cantonnent pas les faunes à la surface du sédiment. Le sédiment sera donc homogénéisé sur plusieurs centimètres. L'étude des faunes mortes sera alors plus complexe puisque celles-ci représentent un mélange du fait de la bioturbation par la macrofaune. **L'étude de la distribution verticale des foraminifères donne donc une information supplémentaire sur les conditions environnementales du milieu (matière organique, concentration en oxygène dans le sédiment) et aide à l'interprétation des résultats de la faune morte.**

5.2 Problèmes liés aux variations environnementales naturelles

L'étude des paramètres environnementaux (profondeur, matière organique et granulométrie) permet de mettre en évidence les différences environnementales naturelles très nettes entre les stations situées 1) à l'Ouest du Rhône, 2) devant le delta du Rhône et dans le Golfe de Fos et 3) à l'Est. Les stations à l'Ouest sont moins profondes (18m en moyenne) et caractérisées par un sédiment argileux voire de sables fins. Les stations devant le delta du Rhône et dans le Golfe de Fos sont constituées d'un sédiment argileux et d'apports importants de matière organique. Finalement, les stations à l'Est sont plus profondes (40m en moyenne) et caractérisées par un sédiment plus grossier.

Les faunes de foraminifères vivants des 31 stations analysées répondent clairement à cette variation géographique naturelle des paramètres environnementaux par un changement du pourcentage d'espèces épiphytes et, dans une moindre mesure, par un changement de la richesse spécifique et des indices de diversité.

Les foraminifères (et la faune benthique en général) sont largement influencés par la granulométrie du sédiment. Une simple analyse faunistique peut ainsi permettre de différencier les zones argileuses des zones sableuses. En effet, les faunes vivant sur substrat argileux sont adaptées à un environnement qui peut être naturellement très riche en matière organique (eutrophe) et par conséquent pauvre en oxygène. Au contraire, les faunes vivant sur un sédiment sableux sont caractéristiques de conditions souvent bien oxygénées avec de faibles teneurs en matière organique sédimentaire assimilable. Une première interprétation de données faunistiques pourrait considérer inopportunistement une station argileuse de mauvaise qualité car présentant des faunes stressées par une eutrophisation du sédiment et un manque d'oxygène, alors que toute station sableuse serait de bonne qualité.

Du fait de la variabilité granulométrique naturelle de notre zone d'étude, nous avons décidé de pondérer les données faunistiques par rapport à la granulométrie du sédiment.

5.3 Construction de l'indice foraminifère

Dans l'idéal, pour développer correctement un indicateur faunistique de qualité du milieu, il est indispensable de connaître les sources de pollution et leur intensité au niveau du site d'étude. L'analyse d'un transect allant du point de rejet de la pollution vers des stations en dehors de l'influence de la pollution permet d'identifier de manière précise les espèces tolérantes et les espèces sensibles à cette pollution donnée. Ainsi, les espèces présentes au niveau de la source de pollution sont tolérantes et donc indicatrices de pollution. Au contraire, les espèces absentes de la zone de forte pollution dont la densité relative augmente vers les stations plus éloignées de la source et dans le site de référence sont considérées comme des espèces sensibles. Dans notre cas, l'inventaire des pressions appliquées sur les différentes masses d'eau n'est pas connu. De plus, la zone d'étude est très vaste et nous ne sommes pas dans le cas d'un transect au niveau d'une source localisée de pollution. Notre démarche est donc nécessairement différente.

Jusqu'à présent, nous avons décrit les faunes de foraminifères à l'aide de différents paramètres qui constituent plusieurs métriques potentielles permettant de caractériser la qualité du milieu et de construire notre indice. Chacune de ces métriques renseigne sur différents paramètres de l'environnement.

1) Métrique « indices de diversité »

Les indices de Shannon-Wiener et d'Equitabilité donnent des informations complémentaires permettant de définir la biodiversité et l'équilibre de la faune. Cependant, leur utilisation n'est pas évidente puisque les valeurs des indices aux différentes stations sont relativement similaires et élevées et ne permettraient donc pas aisément de classer la qualité des différentes masses d'eau. Cette métrique montrerait probablement plus son intérêt dans le cas d'une pollution localisée (e.g. rejet de station d'épuration, de boues de forage). De plus, l'indice de Shannon montre une corrélation avec le pourcentage de matière organique ce qui irait à l'inverse de la tendance souhaitée (si eutrophisation, indice de Shannon élevé). Malgré le fait que les données de matière organique pourraient être remises en question, les informations que nous avons actuellement nous poussent à ne pas retenir les indices de diversité en tant que métriques de qualité environnementale.

2) Métrique « % porcelanés »

Nous avons vu que la répartition des foraminifères entre les 3 types de tests donne des informations sur les conditions du milieu dans lequel ils vivent. La présence de foraminifères porcelanés est représentative de sédiments sableux bien oxygénés avec des apports de matière

organique relativement faibles. Leur absence de la faune totale serait donc indicatrice de sédiments fins, hypoxiques voir épisodiquement anoxiques avec de forts apports de matière organique d'origine naturelle ou anthropique.

3) Métrique « ALD₅ »

La distribution de la faune dans le sédiment nous informe sur la profondeur de la couche bio-active ainsi que sur les conditions environnementales à la station. Si l'ALD₅ (profondeur de vie moyenne entre 0 et 5cm de sédiment) est faible, la faune est limitée à la surface du sédiment du fait d'une faible profondeur d'oxygène et/ou d'une forte concentration en matière organique. Au contraire, si l'ALD₅ est forte (densité homogène dans les différents intervalles de sédiment), cela signifie une bonne pénétration de la faune en profondeur et des conditions de stress faible. Comme nous l'avons expliqué auparavant, le calcul de l'ALD₅ nécessite l'étude de la faune jusqu'à 5 cm de profondeur, ce qui n'est pas souhaitable pour des raisons d'économie de temps. Cette métrique ne semble donc pas conseillée pour une utilisation en routine.

4) Métrique « % épiphytes »

Le pourcentage des espèces épiphytes corrèle avec le pourcentage de matière organique et un sédiment grossier. Cependant, nous pensons que ces espèces pourraient mettre en évidence dans les stations situées à l'Est la présence de matière organique de type débris algaires car en effet, elles ont la caractéristique de vivre à proximité de, voire fixées aux algues. Leur fort pourcentage ne serait donc pas un indice d'eutrophisation du milieu mais plutôt le signe d'un environnement sableux, bien oxygéné et proche d'un herbier. En revanche, leur absence de la faune ne peut pas être considérée comme un signe de mauvaise qualité de l'écosystème car certaines stations sont naturellement caractérisées par des sédiments fins, non colonisés par des algues.

5) Métrique « % espèces tolérantes »

Le pourcentage d'espèces tolérantes par rapport à la faune totale nous donne une information plus complète que les espèces épiphytes. En effet, les espèces du groupe « tolérant » sont présentes lorsqu'il y a beaucoup de matière organique mais elles ne répondent pas à une matière organique qui serait du type débris de macro-algues. Ce groupe est donc très intéressant car il réagirait plus particulièrement à une eutrophisation du milieu, soit naturelle, soit d'origine anthropique.

6) Métrique « % espèces sensibles »

Le pourcentage d'espèces sensibles, qui est anti-corrélé avec le pourcentage de particules fines et corrélé avec le pourcentage de sables moyens et grossiers, pourrait être utilisé comme un indice d'envasement du milieu, en particulier en comparant cette métrique pour la faune vivante et pour la faune morte. Il est aussi fort envisageable que le pourcentage des espèces sensibles diminue dans le cas d'un stress d'origine anthropique.

D'après nos données, il semblerait que la métrique la plus pertinente à utiliser pour définir un indice biotique basé sur les faunes de foraminifères est celle des espèces tolérantes. A lui seul, ce groupe d'espèces indicatrices de stress environnemental permet de mettre en évidence une mauvaise qualité de l'environnement (e.g. eutrophisation accompagnée ou non d'un envasement).

Néanmoins, il faut noter que ces espèces peuvent être naturellement présentes en grand nombre à une station caractérisée par un sédiment fin sans impact anthropogénique. En effet, dans un sédiment naturellement fin, la proportion des espèces indicatrices de stress sera plus importante que dans un sédiment plus grossier sans pour autant pouvoir conclure à un milieu dégradé.

Il est donc nécessaire de définir des conditions de référence en fonction de la granulométrie du sédiment. Pour cela, nous avons utilisé notre base de données, dans laquelle nous avons sélectionné des stations supposées représenter les conditions de références. Ces stations sont caractérisées par un pourcentage minimal d'espèces tolérantes en fonction du pourcentage de particules fines dans le sédiment ($< 63\mu\text{m}$).

La Figure A12 montre le pourcentage d'espèces tolérantes en fonction du pourcentage de sédiment $< 63\mu\text{m}$ pour l'ensemble des stations. Nous avons défini les conditions de références par une courbe exponentielle passant par les stations présentant le pourcentage d'espèces tolérantes le plus faible (courbe marron). Cette courbe présente donc la proportion d'espèces tolérantes en fonction de la granulométrie du sédiment dans des conditions de référence, c'est-à-dire en l'absence d'une eutrophisation ou pollution d'origine anthropique. Les stations ayant servi à la détermination de cette courbe de référence sont : Agde Ouest, Grau du Roi, Beauduc, Cap Canaille, Embiez, Antibes 2, Antibes Nord et Nice. Les stations Faraman, Lavandou et Porquerolles, qui présentent pourtant de faibles pourcentages d'espèces tolérantes n'ont pas été considérées pour définir la courbe de référence puisque le nombre total d'individus inventoriés dans ces stations était relativement faible (< 42 individus) et donc statistiquement moins robuste.

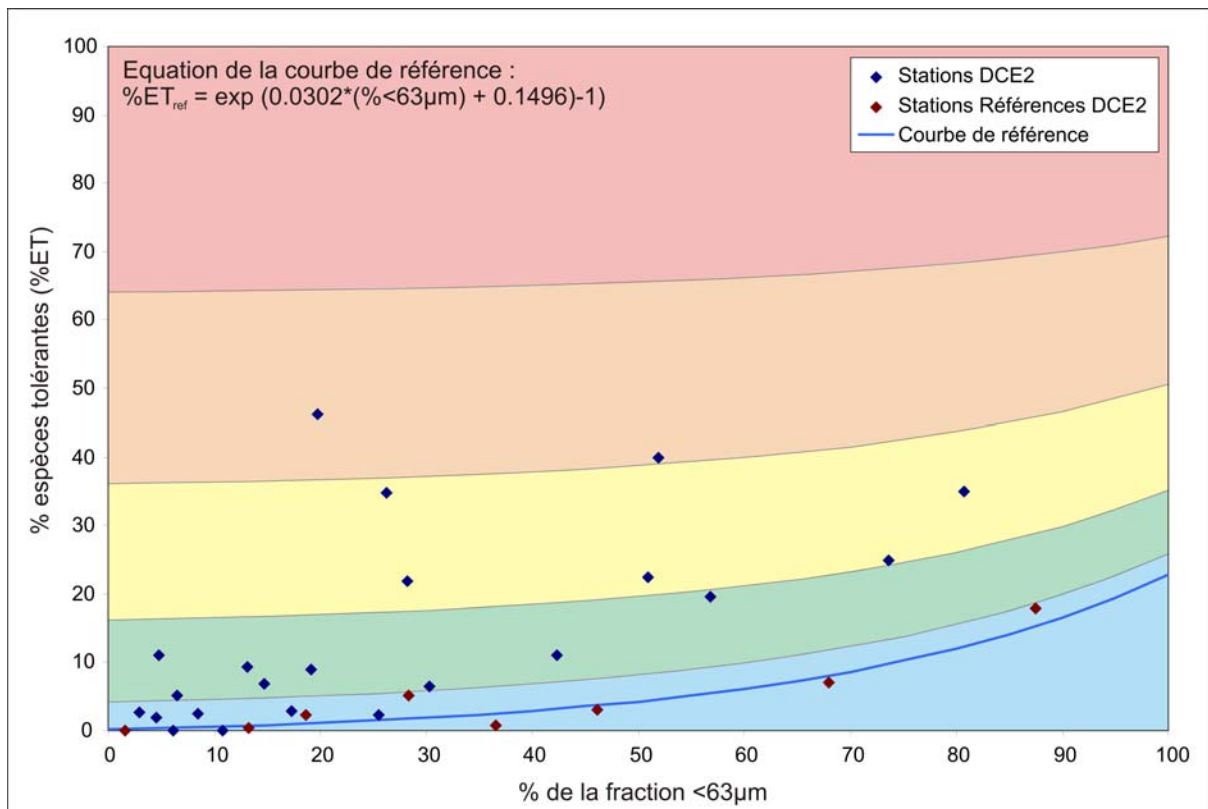


Figure A12 : Proportion des espèces tolérantes par rapport à la faune totale en fonction du pourcentage de particules inférieures à 63µm à chacune des stations étudiées le long des côtes LR-PACA. La courbe exponentielle représente le pourcentage d'espèces tolérantes dans des conditions naturelles, de référence.

Il est ensuite possible de calculer un indice basé sur les foraminifères, noté par la suite FI (pour Foraminiferal Index), selon la formule suivante :

$$FI_x = \frac{(\%ET_x - \%ET_{ref})}{(100 - \%ET_{ref})} \times 100$$

où $\%ET_x$ est le pourcentage d'espèces tolérantes trouvé à la station x , et $\%ET_{ref}$ est le pourcentage d'espèces tolérantes attendu en fonction de la granulométrie trouvée à la station x . $\%ET_{ref}$ est donc défini d'après l'équation de la courbe de référence présentée précédemment et le pourcentage de particules fines ($< 63\mu\text{m}$) à la station x . Notons que FI peut avoir une valeur négative si la station présente un pourcentage d'espèces tolérantes inférieur à celui défini par la courbe de régression représentant les conditions de référence théoriques.

Les limites des différentes classes de qualité (EQ pour Ecological Quality) ont été définies en utilisant la fonction carrée pour ne pas avoir des classes de taille égale :

EQ	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
FI	≤ 4	$4 < \leq 16$	$16 < \leq 36$	$36 < \leq 64$	$64 < \leq 100$

Le Tableau A10 présente les classes attribuées aux différentes stations étudiées dans la zone d'étude LR-PACA. Sur l'ensemble de la zone d'étude, selon les classes attribuées aux différentes stations à l'aide du Foraminiferal Index, 23 stations sur 30 (pas de classe définie pour Marseille Grande Rade, cf. légende Tableau A10) ont été classées de très bonne ou bonne qualité écologique. Les stations Carteau, Fos, Carry et Toulon Grande Rade présentent une qualité moyenne tandis que Leucate et Marseille Jetée sont caractérisées par un milieu de qualité médiocre.

Dans le Tableau A10, la qualité de la masse d'eau, lorsque celle-ci est représentée par plusieurs stations, correspond à la moins bonne classe des stations analysées pour cette masse d'eau. Sur les 20 masses d'eau représentées, 14 sont de bonne ou très bonne qualité écologique, 4 sont de qualité moyenne et 2 de médiocre qualité. Lorsqu'une masse d'eau est représentée par plusieurs stations, on peut remarquer que ces stations présentent souvent des classes identiques (i.e. FRDC01, FRDC02c, FRDT21, FRDC04, FRDC07a, FRDC9b, FRDC9d) ou très proches (i.e. FRDC07h), excepté pour la masse d'eau FRDC02a qui est représentée par Leucate ayant une classe écologique médiocre et Gruissan ayant une classe écologique bonne. L'Annexe 4 récapitule les classes écologiques par masse d'eau.

		% espèces tolérantes, station x	% particules inf. à 63µm	% espèces tolérantes, station de référence	Foraminiferal Index	Ecological quality par station	Ecological quality par masse d'eau
Masse d'eau	Stations	%ETx	% <63 µm	%ETref	FI	EQstation	EQmasse eau
FRDC01	Cerbère	1.90	4.56	0.3	1.6	1	1
FRDC01	Collioure	2.67	2.89	0.3	2.4	1	1
FRDC02a	Leucate	46.28	19.73	1.1	45.7	4	4
FRDC02a	Gruissan	11.11	42.36	3.2	8.2	2	4
FRDC02c	Agde Ouest	2.21	18.70	1.0	1.2	1	1
FRDC02c	Agde Est	2.42	8.45	0.5	1.9	1	1
FRDC02e	Sète	6.54	30.35	1.9	4.7	2	2
FRDC02f	Grau du Roi	7.07	67.92	8.0	-1.1	1	1
FRDT21	Beauduc	17.79	87.52	15.3	2.9	1	1
FRDT21	Faraman	0.00	6.16	0.4	-0.4	1	1
FRDC04	Carteau	35.06	80.80	12.3	25.9	3	3
FRDC04	Fos	24.93	73.57	9.7	16.9	3	3
FRDC05	Carry	34.77	26.28	1.6	33.7	3	3
FRDC06b	Marseille Grande Rade	16.13					4
FRDC06b	Marseille Jetée	39.84	51.91	4.6	37.0	4	4
FRDC07a	Marseille-Ile Plane	9.26	13.18	0.7	8.6	2	2
FRDC07a	Ile Maire	11.11	4.82	0.3	10.8	2	2
FRDC07b	Cap Canaille	0.36	13.25	0.7	-0.4	1	1
FRDC07e	Ile Embiez	5.10	28.30	1.7	3.4	1	1
FRDC07g	Toulon Gde Rade	22.47	50.90	4.4	18.9	3	3
FRDC07h	Porquerolles	0.00	10.83	0.6	-0.6	1	2
FRDC07h	Lavandou	2.33	25.56	1.5	0.8	1	2
FRDC07h	Ile Levant	5.08	6.47	0.4	4.7	2	2
FRDC08a	Pampelone	8.85	19.10	1.1	7.9	2	2
FRDC08d	Fréjus	2.82	17.35	1.0	1.9	1	1
FRDC09a	Antibes 2	0.78	36.56	2.5	-1.8	1	1
FRDC09b	Antibes Nord	0.00	1.62	0.2	-0.2	1	1
FRDC09b	Nice Ville	3.00	46.12	3.7	-0.7	1	1
FRDC09d	Villefranche	6.93	14.66	0.8	6.2	2	2
FRDC09d ??	Monaco 2	19.51	56.83	5.5	14.9	2	2
FRDC10c	Menton	21.96	28.26	1.7	20.6	3	3

Tableau A10 : Valeurs de l'indice foraminifère (Foraminiferal Index) et classes d'état écologique des différentes stations (EQ). Les valeurs des paramètres utilisés et calculés pour le calcul de FI sont indiquées dans le tableau. La granulométrie n'ayant pas été mesurée pour la station Marseille Grande Rade, la classe d'état n'a pas pu être définie.

L'indice foraminifère développé dans cette partie permet de caractériser l'environnement écologique des masses d'eau en tenant compte de conditions théoriques de référence basées sur 8 stations qui sont considérées comme de très bonne qualité. L'étude de la faune morte fournit la possibilité unique d'avoir une image des conditions écologiques dans le passé pour une station donnée et de la comparer aux conditions actuelles. Cette faune morte pourrait alors contribuer à la reconstitution des conditions de référence. La partie B de ce rapport discute l'utilisation des faunes mortes dans ce contexte, qui permet d'étudier l'évolution de la qualité du milieu dans un passé récent. Les limites de l'interprétation de ces données sont aussi discutées.

PARTIE B

Zone d'étude Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur : Etude de la faune morte des foraminifères

L'indice foraminifère développé dans la partie A de ce rapport permet de pondérer la réponse des faunes par rapport à des conditions de référence théoriques, estimées par la granulométrie du sédiment. Ceci permet de tenir compte de la variabilité des faunes en fonction des conditions naturelles et de noter un signal supplémentaire qui serait dû à des changements d'origine anthropique (e.g. eutrophisation, hypoxie, pollution chimique...).

Il est possible, grâce à l'analyse des faunes mortes, d'être encore plus précis dans la définition des conditions de référence. En effet, la faune morte étudiée en profondeur dans les carottes, et donc déposée antérieurement à l'époque actuelle, donne une image des faunes naturelles d'un site avant un éventuel impact anthropique. La comparaison des données de la faune morte et de la faune actuelle permet ainsi de reconnaître une évolution des conditions écologiques pour une localisation donnée, en offrant la possibilité de s'affranchir du biais induit par l'utilisation d'une station de référence pouvant présenter des conditions environnementales naturelles différentes du site d'étude (profondeur d'eau, granulométrie, apports naturels de matière organique, oxygénation du fond et du sédiment superficiel...). Ainsi un changement de composition faunistique (en particulier d'espèces indicatrices) entre les faunes mortes et actuelles permettra de mettre en évidence un éventuel changement environnemental dû à un impact anthropique.

Pour 24 stations de la zone d'étude LR-PACA, les faunes mortes de l'intervalle 3-4 cm des carottes ont été analysées. Les tests morts, se comportant comme des grains de sédiment, peuvent subir des processus taphonomiques, comme la destruction des tests des espèces les plus fragiles. En effet, une majorité des espèces à test agglutiné n'est pas préservée après la mort de l'organisme du fait de leur fragilité. Ces espèces non fossilisables diminuent donc rapidement vers les couches sédimentaires plus profondes. Pour palier à ce problème, les espèces à test fragile (*Ammoscalaria pseudospiralis*, *Eggerella scabra*, *Lagenammina spp.*, *Nouria polymorphynoides*, *Psammosphaera fusca*, *Reophax dentaliniformis*, *R. fusiformis*, *R. micaceus*, *R. scorpiurus*, *R. scottii*, *R. subfusiformis*) ne sont pas incluses dans l'analyse des données (composition des faunes mortes et vivantes, calculs d'indices de diversité, pourcentages des espèces indicatrices).

1 Caractéristiques des assemblages de foraminifères morts

La richesse spécifique des faunes mortes des 24 stations étudiées varie entre 25 (Antibes Nord) et 64 (Antibes 2, Villefranche) espèces par station sans compter les espèces non fossilisables (Figure B1a). Comme cela avait été observé pour les faunes vivantes, le nombre d'espèces est légèrement inférieur aux stations de la côte ouest qu'aux stations de la côte est. L'indice de Shannon-Wiener pour la faune morte varie entre 2.4 et 3.7 (Figure B1b) et l'indice d'Equitabilité montre une bonne répartition des densités entre les différentes espèces avec des valeurs variant de 0.72 à 0.89 (Figure B1c).

Il est difficilement possible de comparer directement la richesse spécifique et les indices de diversité entre les faunes vivantes et mortes. En effet, les faunes vivantes représentent une image à un temps t , c'est-à-dire à une saison donnée, tandis que les faunes mortes montrent une image moyennée qui intègre plusieurs saisons voire plusieurs années. Les faunes mortes peuvent aussi contenir des espèces allochtones, transportées d'ailleurs. Les indices de la faune morte seront donc généralement plus élevés puisque les nombres d'espèces et d'individus retrouvés seront plus importants (les espèces majoritaires variant en fonction des saisons).

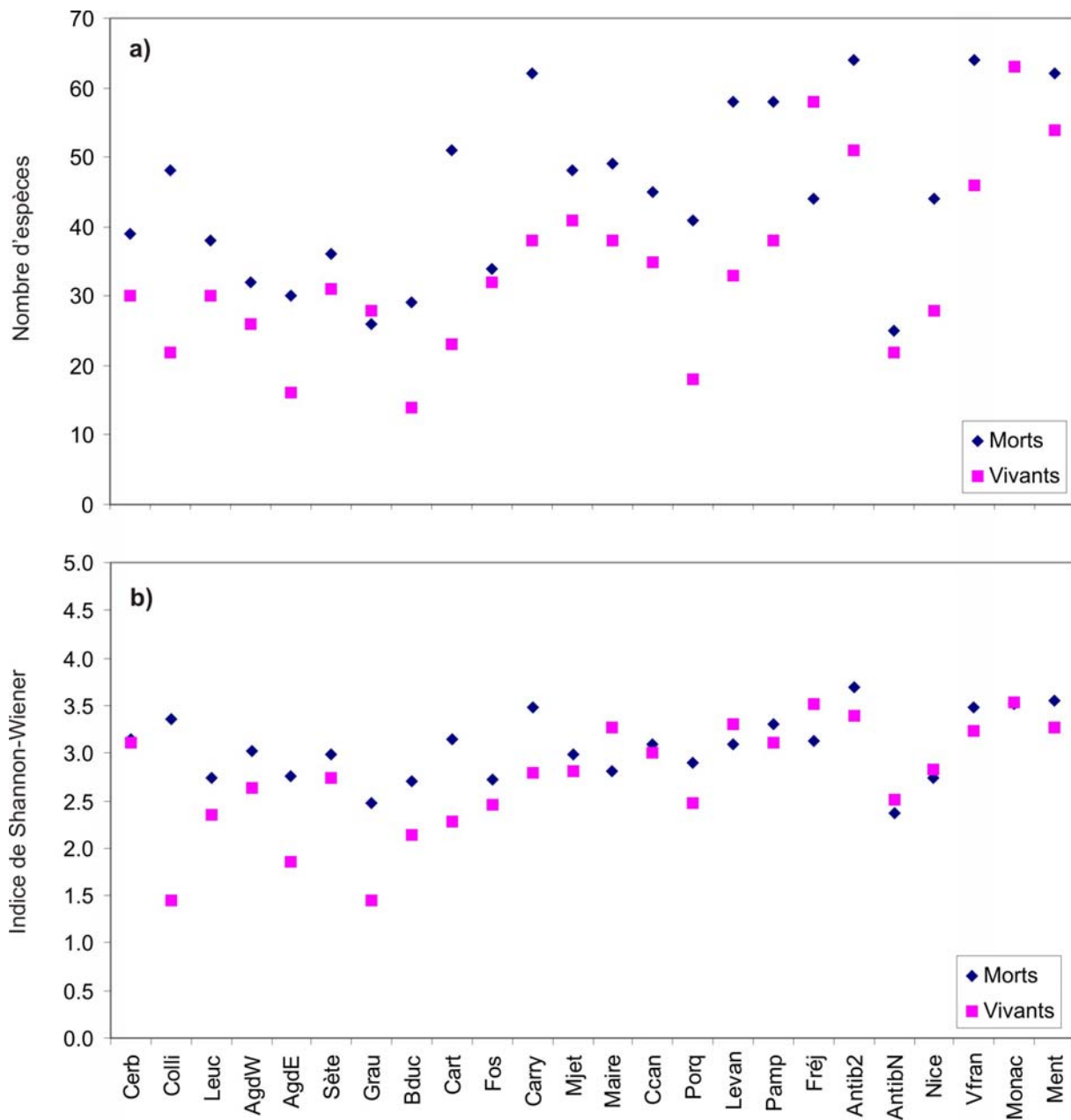


Figure B1 : Caractéristiques des assemblages des foraminifères morts de l'intervalle de sédiment 3-4cm (sans les foraminifères agglutinés non fossilisables) par station présentées d'Ouest en Est (les valeurs pour les faunes vivantes entre 0-1cm sont aussi indiquées) : a) Richesse spécifique (nombre d'espèces), b) Indice de Shannon-Wiener, et c) Indice d'Equitabilité.

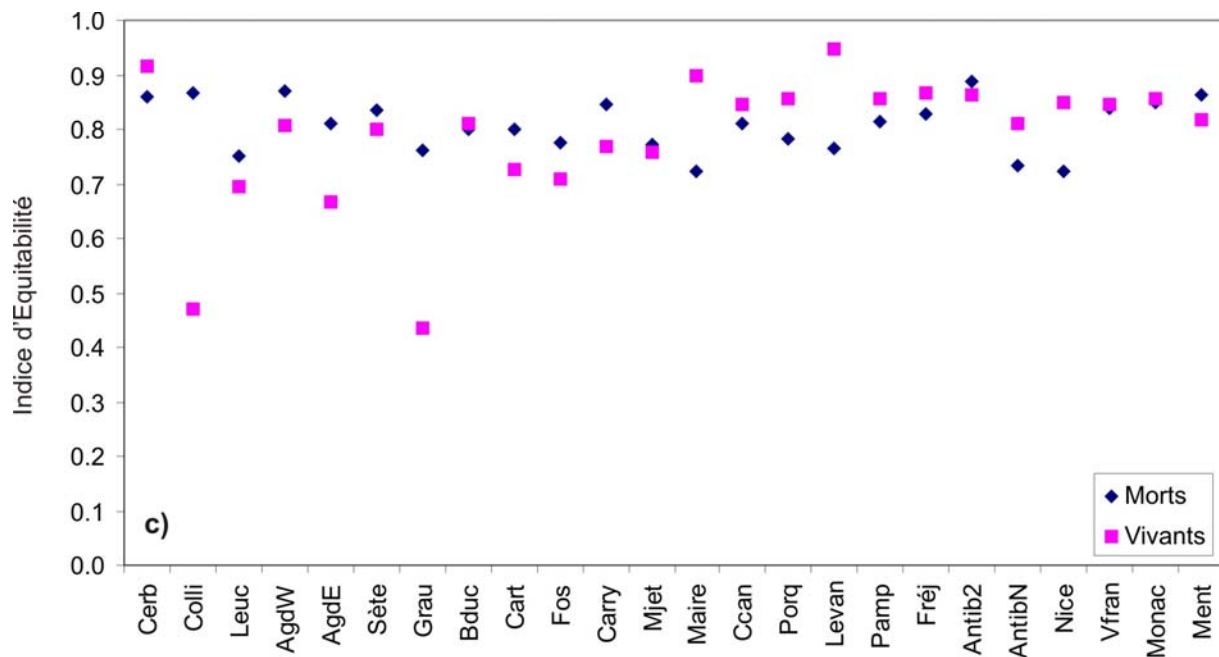


Figure B1 : Suite.

Afin de comparer la répartition entre les deux types de tests des foraminifères porcelanés et hyalins (le groupe des foraminifères agglutinés n'est pas pris en compte ici), nous avons calculé le rapport entre le nombre de foraminifères porcelanés et le nombre total de foraminifères calcaires (porcelanés + hyalins) (Figure B2). Il est intéressant d'étudier si la proportion de foraminifères porcelanés, espèces sensibles, a augmenté avec le temps (évolution positive) ou plutôt diminué (évolution négative).

Pour 10 des 24 stations pour lesquelles la faune morte a été étudiée, il y a une évolution positive avec une proportion de porcelanés moins élevée dans la faune morte, qui représentent les conditions sub-récentes, que dans la faune vivante, qui représentent les conditions actuelles. Il se pourrait que la préservation des tests porcelanés dans le sédiment soit moins bonne que celle des tests hyalins (Jorissen, 1988), ce qui pourrait résulter en un biais d'interprétation. Cependant, pour 5 stations, particulièrement la station Beauduc, il y a une évolution négative entre les faunes mortes et les faunes vivantes : la proportion de foraminifères porcelanés a diminué au cours du temps. Pour les 9 stations restantes, la proportion d'espèces porcelanées par rapport aux foraminifères calcaires totaux ne change que très légèrement. Il semblerait donc que les tests de foraminifères porcelanés soient suffisamment bien conservés dans notre zone d'étude pour être utilisés pour l'interprétation des données.

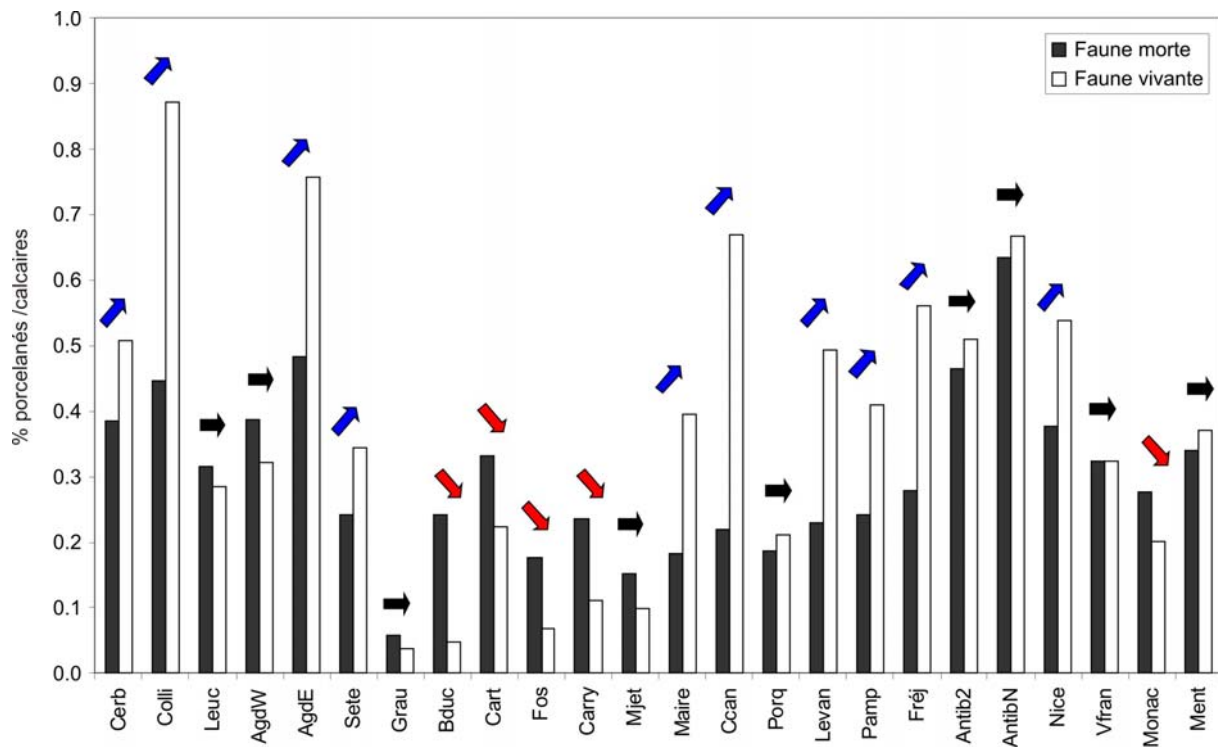


Figure B2 : Proportion des foraminifères porcelanés par rapport au nombre total de foraminifères calcaires (hyalins + porcelanés) pour la faune morte (3-4cm) et la faune vivante (0-1cm) par station présentées d'Ouest en Est.

2 Composition spécifique des foraminifères morts

Les densités relatives des espèces majeures de la faune morte et de la faune vivante (>5%, soit dans la faune morte, soit dans la faune vivante) sont indiquées pour chacune des stations en Annexe 2. Pour donner un exemple, la Figure B3 présente de manière graphique les densités relatives des espèces majeures dans la faune morte et vivante de 6 stations. Pour une station donnée, il est possible d'identifier certaines espèces qui sont uniquement présentes dans la faune morte (e.g. *Elphidium advenum*, *E. crispum*, *Quinqueloculina seminula* et *Triloculina trigonula* dans la station Beauduc) ou uniquement dans la faune vivante (e.g. *Nonion scaphum* dans la station Marseille Jetée). Certaines espèces peuvent être majoritaires dans la faune vivante actuelle alors qu'elles sont peu représentées dans la faune sub-récente (e.g. *Hanzawaia boueana* à Villefranche) et inversement (e.g. *Ammonia tepida* à Leucate). Ce sont ces changements de composition et de densité relative entre la faune morte et la faune vivante qui permettent d'obtenir des informations sur l'évolution des conditions environnementales pour chaque station. Une discussion plus précise de l'évolution des faunes est proposée pour chacune des stations étudiées en Annexe 2.

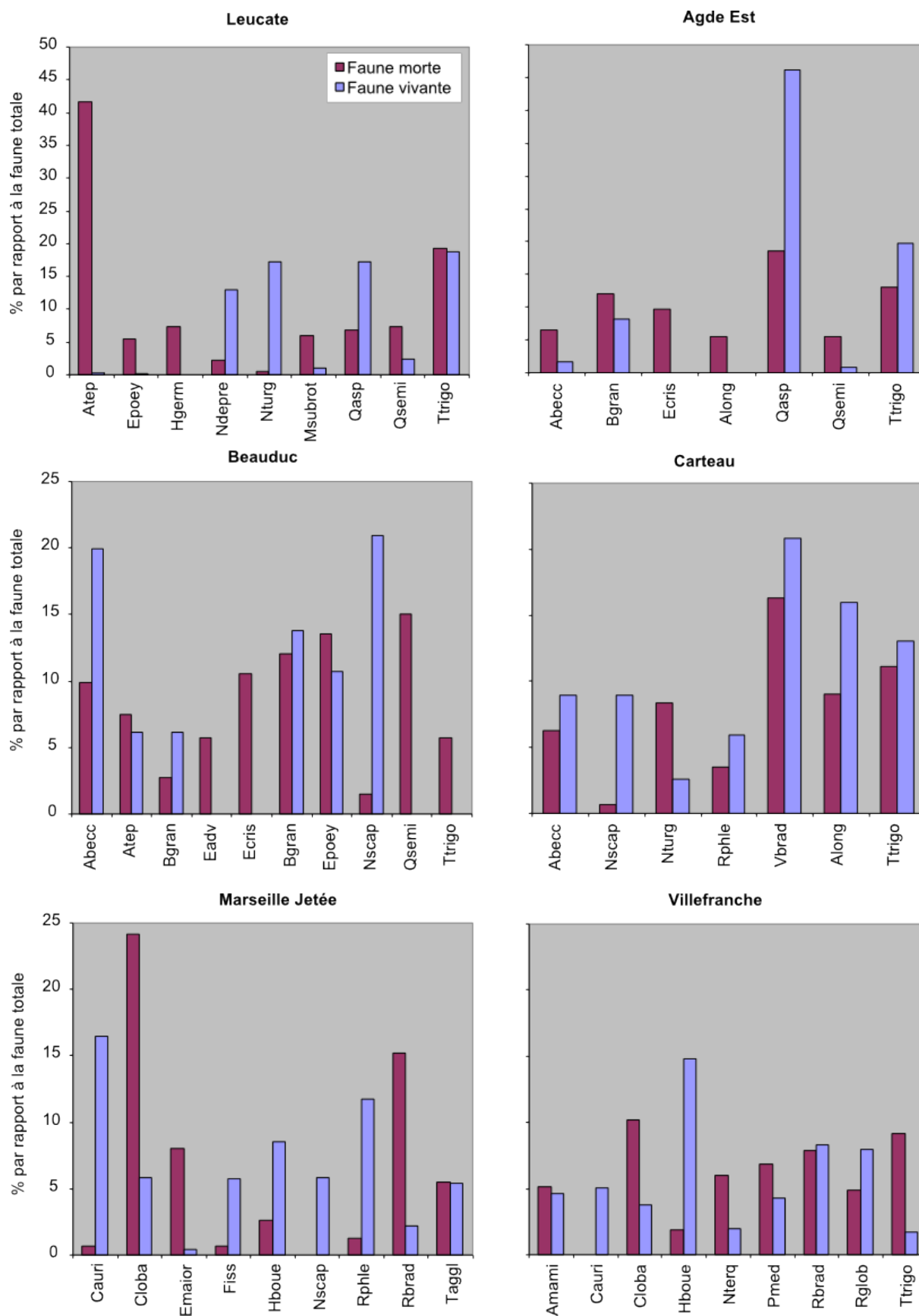


Figure B3 : Exemple des densités relatives, dans les faunes vivantes (0-1cm) et mortes (0-4cm), des espèces majeures (densité relative > 5%) de 6 stations. Voir la signification des abréviations des noms d'espèces dans le lexique.

Pour étudier l'évolution des faunes dans le temps, nous avons comparé, entre faune morte et vivante d'une même station, les différents groupes d'espèces indicatrices identifiées pour l'étude des faunes vivantes, c'est-à-dire le pourcentage d'espèces épiphytes (Figure B4a), d'espèces sensibles (Figure B4b) et d'espèces tolérantes (Figure B4c).

Plus de la moitié des stations étudiées (14 sur 24) ne montrent qu'une faible variation du pourcentage d'espèces épiphytes entre les faunes mortes et vivantes. Ceci indiquerait des conditions relativement inchangées par rapport à la proximité d'algues ou l'hydrodynamisme du milieu (Figure B4a). Les 10 stations restantes présentent une diminution du pourcentage d'espèces épiphytes avec le temps, ce qui pourrait être l'indication d'une régression éventuelle des herbiers environnants. La faible densité d'espèces épiphytes dans la faune morte et vivante des stations à l'Ouest de Carry, à Antibes Nord et à Nice met en évidence l'absence d'herbiers dans cette zone d'étude autant dans le passé qu'en 2009.

En ce qui concerne les espèces sensibles, le pourcentage est relativement élevé quelque soit la station considérée. Il varie de 23 à 92% pour la faune morte et de 34 à 92% pour la faune vivante (Figure B4b). Une majorité de stations (14 sur 24) montre une diminution du pourcentage d'espèces sensibles et uniquement 4 stations montrent une augmentation entre faune morte et faune vivante. Cependant, comme nous l'avons mentionné précédemment, les espèces porcelanées, faisant partie du groupe des espèces sensibles, pourraient être plus sujettes aux processus taphonomiques (dégradation du test avec le temps). Ainsi ces données doivent être interprétées avec prudence.

Le pourcentage d'espèces tolérantes reste stable et faible pour 10 stations (Cerbère, Collioure, Agde Ouest, Agde Est, Grau du Roi, Cap Canaille, Porquerolle, Fréjus, Antibes 2, Antibes Nord). Pour les stations Leucate, Beauduc, Carteau, Fos, Carry et Marseille Jetée, ce pourcentage augmente fortement entre la faune morte et la faune vivante pour atteindre des valeurs supérieures à 30% d'espèces tolérantes dans la faune vivante (Figure B4c). La station Nice est la seule montrant une évolution positive avec une légère diminution de la proportion d'espèces tolérantes.

Le pourcentage d'espèces tolérantes s'est déjà révélé être le paramètre le plus intéressant pour décrire la qualité écologique du milieu à partir des faunes vivantes de foraminifères. Pour la faune morte, ce paramètre montre de nouveau un signal très clair d'évolution du milieu et permet de mettre en évidence une dégradation du milieu à certaines stations.

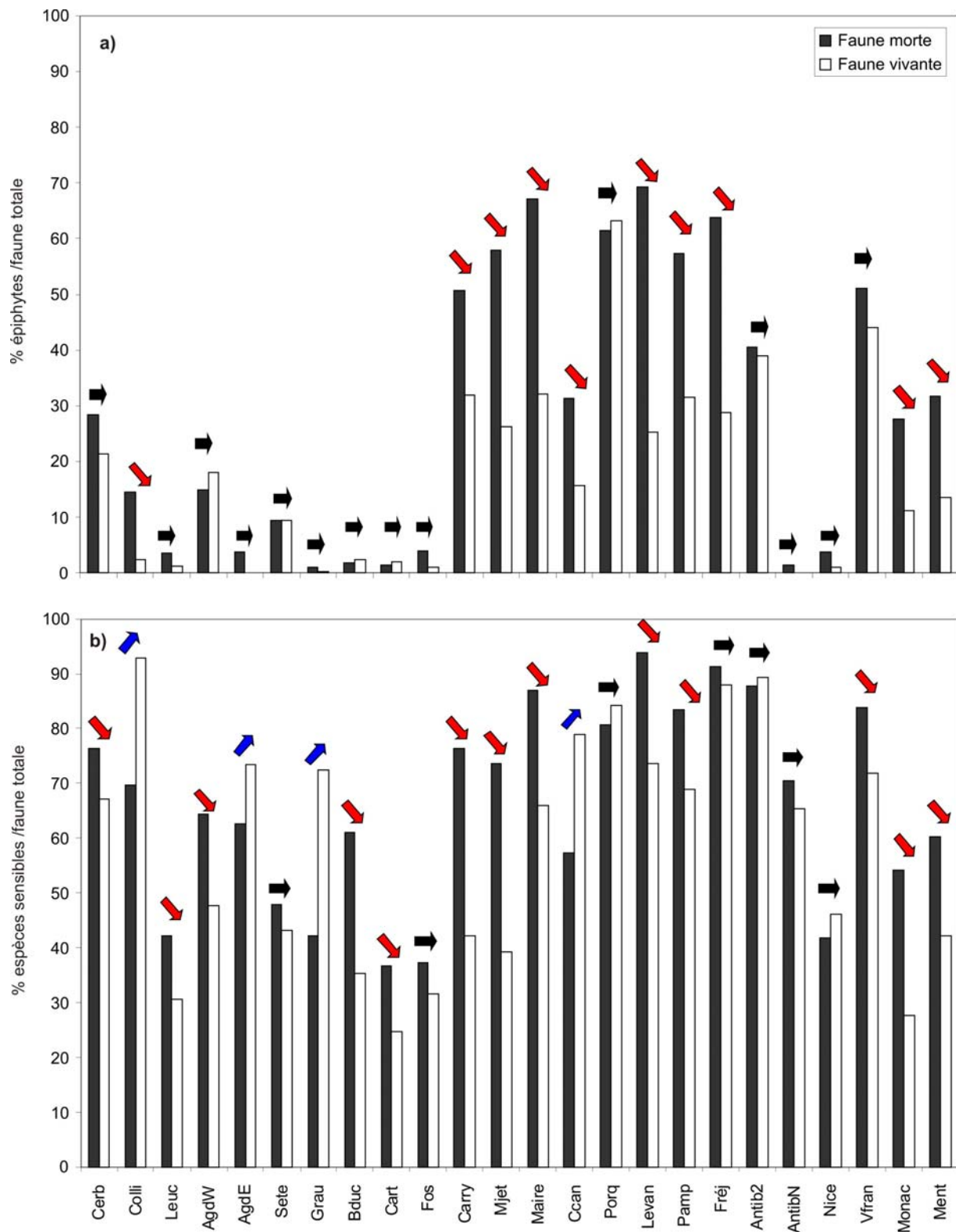


Figure B4 : Proportion des espèces a) épiphytes, b) sensibles et c) tolérantes dans la faune morte (histogrammes noirs) et dans la faune vivante (histogrammes blancs) à chacune des stations présentées d'Ouest en Est (sans les espèces non fossilisables). Les flèches rouges symbolisent une détérioration des conditions du milieu dans le temps, les flèches bleues une amélioration des conditions et les flèches noires pas de changement notable.

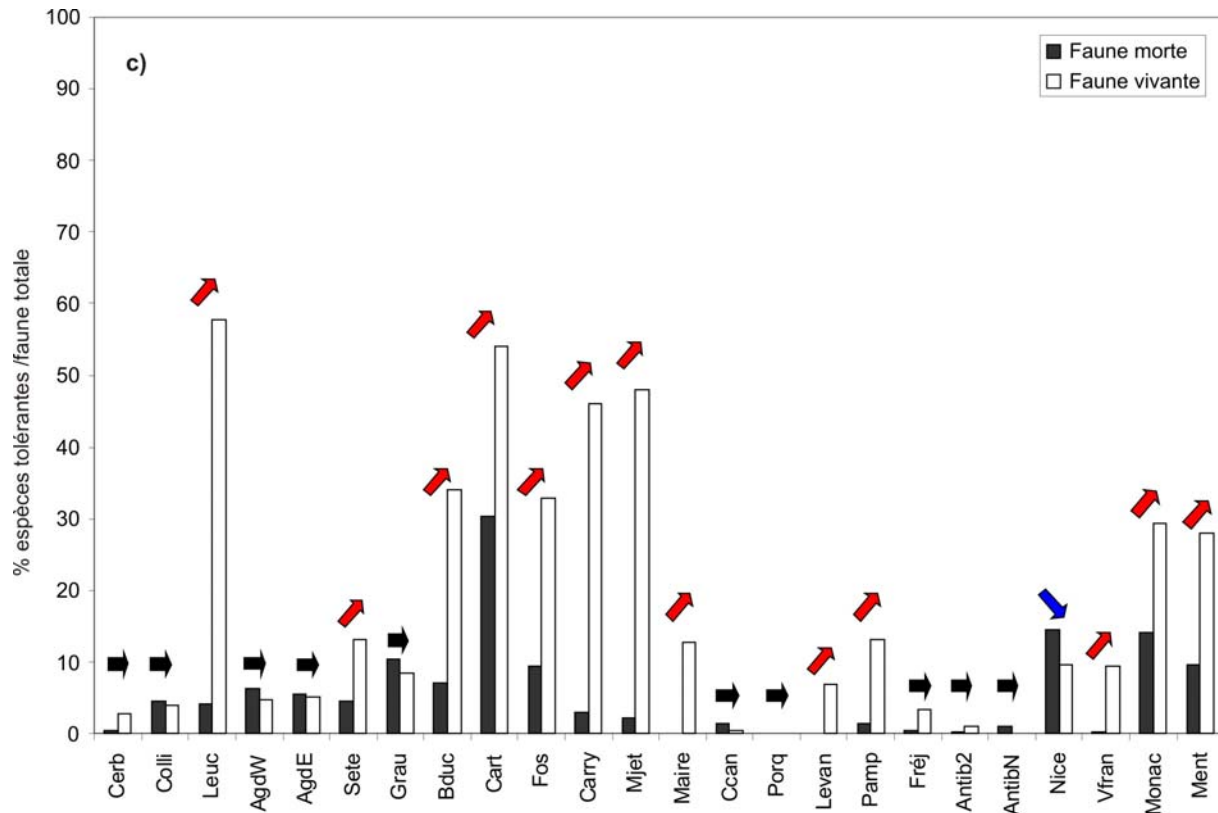


Figure B4 : Suite.

La comparaison des faunes mortes et faunes vivantes a été faite en étudiant précisément, pour chaque station, les espèces présentes (Annexe 2). Il faut en effet tenir compte de la qualité de l'information fournie par la faune morte de manière à ce que l'interprétation des données ne soit pas biaisée. Cette qualité dépend d'une part des processus taphonomiques (i.e. perte plus importante de certaines espèces) et d'autre part de l'épaisseur de la couche bio-active pour la conservation des faunes mortes (cf Discussion B.3). Compte-tenu de l'absence de datation du sédiment pour cette étude, ces paramètres doivent être pris en compte pour chaque station.

3 Interprétation de l'évolution des faunes dans le temps (entre faune morte et faune vivante)

Comme cela a été expliqué dans la partie discussion des faunes vivantes (chapitre B.5), la distribution verticale des foraminifères dans le sédiment nous donne une information importante sur l'épaisseur de la couche bio-active (BBL). On peut supposer qu'à l'intérieur de cette couche, le sédiment est bioturbé ainsi que les tests de foraminifères, en particulier morts puisqu'ils s'apparentent alors à des grains de sédiments. Lorsque les foraminifères vivants

présentent une distribution homogène en profondeur dans la carotte, il est plus difficile de pouvoir interpréter les données de la faune morte puisque celle-ci a été mixée sur plusieurs centimètres. Pour les stations dont les faunes vivantes ont été analysées en profondeur dans le sédiment, cette situation s'applique aux stations du groupe B (chapitre B.3): Collioure, Agde Est, Ile Maire, Villefranche, Leucate, Carry, Menton et Pampelone. En effet, les profondeurs de vie moyenne à ces stations sont supérieures à 1.6cm et les profils de distribution des faunes dans le sédiment montrent des densités importantes en profondeur (Figure A8). Certaines de ces stations présentent toutefois un maximum de densité en surface du sédiment ce qui laisse penser que la bioturbation est un peu moins importante (e.g. Villefranche, Carry, Collioure). L'information fournie par les faunes mortes aux stations de ce groupe est donc moins précise. Au contraire, pour les stations Grau du Roi, Toulon Grande Rade, Carteau, Marseille Jetée, Nice et Beauduc, la faune a été bien conservée (BBL restreinte). L'interprétation des données de faunes mortes est donc très fiable.

Les faunes mortes étudiées entre 3 et 4cm de profondeur dans le sédiment présentent une image moyennée des faunes qui ont vécu aux stations dans un passé plus ou moins proche. Pour avoir une idée de l'âge de ce niveau de sédiment, il est nécessaire de connaître le taux de sédimentation aux stations considérées. Dans notre étude, le vaste domaine géographique concerné ne permet pas de remonter à la même période dans le temps. Calmet et Fernandez (1990) ont estimé un taux de sédimentation de 30-35 cm/an dans une carotte de sédiment prélevée en amont de l'embouchure du Rhône à 25m de profondeur. Cependant, l'analyse d'une carotte prélevée dans le prodelta du Rhône à 32m de profondeur a permis d'estimer le taux de sédimentation à 5-9 cm/an (Zuo *et al.*, 1997), ces études ayant utilisées différentes méthodologies. Quoiqu'il en soit, cela signifie que, pour les stations Fos et Carteau, le sédiment analysé pour les faunes mortes date très probablement de moins d'un an du fait des forts apports du Rhône. Par contre, l'étude de Zuo *et al.* (1997) montre des taux de sédimentation de 0.1-0.2 cm/an dans la zone géographique à l'ouest du Rhône, en face de Collioure et de Sète. Ainsi dans les zones géographiques loin de l'influence de rivière ou en dehors de zone de sédimentation importante, le sédiment analysé entre 3 et 4cm pourrait dater d'environ 15 à 40 ans. Ne disposant pas de plus d'information sur les taux de sédimentation, il est impossible de conclure sur la période représentée par la faune morte des 3-4cm dans les différentes stations. Il serait nécessaire, dans le futur, de remédier à ce manque d'information concernant la datation de l'intervalle de sédiment étudié pour la faune morte à l'aide de mesures telles que des profils de ^{210}Pb . Cette datation permettrait d'être beaucoup plus précis dans nos interprétations des données de la faune morte.

Comme nous l'avons dit précédemment, le pourcentage d'espèces tolérantes, comme c'était le cas dans l'étude de la faune vivante, montre les tendances les plus claires en termes d'évaluation des conditions écologiques du milieu. Le Tableau B1 compare les classes d'état

définies à partir de l'indice foraminifères (basé sur le pourcentage d'espèces tolérantes des faunes vivantes) et l'évolution de cette métrique entre les faunes sub-récentes et actuelles.

Les stations classées en très bon état écologique ne montrent pas de changement notable de l'environnement d'après le pourcentage d'espèces tolérantes, ce qui signifie que les conditions écologiques étaient très bonnes dans le passé et le sont restées. La station Beauduc est particulière puisque, malgré une évolution négative de la métrique, celle-ci reste classée en très bon état ce qui indiquerait une légère dégradation des conditions n'entraînant pas un changement de classe de qualité. On pourrait voir dans cette évolution à la station Beauduc un déplacement vers l'Ouest du lobe de dépôt sédimentaire du Rhône.

Le plus remarquable est que les stations présentant actuellement un état écologique bon, moyen ou médiocre sont les stations présentant une dégradation des conditions écologiques au cours du temps. Le pourcentage d'espèces tolérantes à ces stations a augmenté de manière plus ou moins importante entre les faunes mortes et les faunes vivantes. Les stations Leucate et Marseille Jetée, qui présentent les états écologiques les plus mauvais, sont les stations montrant la plus sévère augmentation du pourcentage d'espèces tolérantes avec plus de 45%. Les conditions à ces stations se sont donc largement détériorées au cours du temps. Ceci est aussi valable pour les stations Carry et Fos et dans une moindre mesure pour Menton et Carreau. Les stations classées en bon état écologique (e.g. Sète, Ile Maire, Pampelone...) montrent une augmentation moindre du pourcentage d'espèces tolérantes.

L'information transmise par la faune morte permet donc bien de mettre en évidence l'évolution de la qualité écologique du milieu à une station donnée.

Masse d'eau Stations		Ecological quality par station EQ_{station}	Evolution de la faune % tolérantes
FRDC01	Cerbère	1	=
FRDC01	Collioure	1	=
FRDC02a	Leucate	4	–
FRDC02c	Agde Ouest	1	=
FRDC02c	Agde Est	1	=
FRDC02e	Sète	2	–
FRDC02f	Grau du Roi	1	=
FRDT21	Beauduc	1	–
FRDC04	Carteau	3	–
FRDC04	Fos	3	–
FRDC05	Carry	3	–
FRDC06b	Marseille Jetée	4	–
FRDC07a	Ile Maire	2	–
FRDC07b	Cap Canaille	1	=
FRDC07h	Porquerolles	1	=
FRDC07h	Ile Levant	2	–
FRDC08a	Pampelone	2	–
FRDC08d	Fréjus	1	=
FRDC09a	Antibes 2	1	=
FRDC09b	Antibes Nord	1	=
FRDC09b	Nice Ville	1	+
FRDC09d	Villefranche	2	–
FRDC09d ??	Monaco 2	2	–
FRDC10c	Menton	3	–

Tableau B1: Comparaison entre l'état écologique attribué aux stations à l'aide de l'indice foraminifères (FI) et l'évolution du pourcentage d'espèces tolérantes entre faune morte et faune vivante. Les signes correspondent soit à une amélioration des conditions écologique au niveau de la station (+), une dégradation des conditions (–) ou à l'absence de changement notable (=).

4 Conclusions

L'étude des foraminifères morts entre 3 et 4cm de profondeur dans le sédiment permet donc de mettre en évidence des changements des conditions environnementales à une même station dans un passé plus ou moins récent. La comparaison entre l'état écologique défini grâce à l'indice foraminifères à partir des données de la faune vivante et l'évolution de la composition de la faune entre des conditions sub-récentes et actuelles montre clairement que les stations présentant un mauvais état écologique ont subi une dégradation récente de leur milieu.

Nos résultats montrent que l'indice foraminifères permet d'évaluer correctement les conditions écologiques actuelles aux différentes stations étudiées et que l'étude de la faune morte permet d'avoir une idée des conditions dans un passé plus ou moins récent. Il est ainsi

possible de savoir si les conditions à une station donnée ont évolué au cours du temps et de quelle manière (amélioration ou dégradation).

Pour de prochaines études, il serait très intéressant de pouvoir déterminer quelle période est représentée par la faune morte analysée. En effet, compte-tenu du vaste domaine géographique concerné par notre étude, l'analyse de l'intervalle 3-4 cm ne permet pas de remonter à la même période de temps dans toutes les stations. L'analyse des faunes mortes serait donc plus précise si, dans le futur, nous possédions une datation des sédiments (e.g. profils de ^{210}Pb).

PARTIE C

Zone d'étude de la Corse :

Etude de la faune vivante des foraminifères

Dans cette partie est présentée l'analyse des faunes de foraminifères vivants de la zone d'étude Corse. Après une description des caractéristiques environnementales aux différentes stations, nous décrivons en détails les faunes identifiées (densité, richesse spécifique, distribution verticale, composition spécifique, espèces indicatrices...) pour finalement appliquer à la base de données obtenue en Corse l'indice foraminifères (FI, Foraminiferal Index) ayant été développé à partir de la base de données LR-PACA, afin de classer l'état écologique des masses d'eau Corse.

1 Caractéristiques environnementales des stations étudiées

Au total, 11 stations ont été analysées pour l'étude des foraminifères autour de la Corse (voir carte Figure 2, p. 7). Toutes les stations se situent entre 37 et 60m de profondeur excepté les stations Porto Vecchio et Bonifacio qui se situent respectivement à 10.2 et 19m de profondeur (Figure C1a).

Le pourcentage de matière organique et la granulométrie du sédiment ont été analysés par la Station de Recherche Sous-marines et Océanographiques (STARESO). Les prélèvements pour l'analyse de ces paramètres ont été réalisés lors d'une mission différente de celle durant laquelle les échantillons pour l'analyse des foraminifères ont été prélevés. Les paramètres analysés pour l'étude de la granulométrie en Corse se limitent au pourcentage <63µm et au diamètre médian (Figure C1c-d). Pour l'étude des foraminifères, le paramètre le plus approprié est le pourcentage d'argiles et silts, c'est pourquoi nous nous concentrerons sur ce dernier.

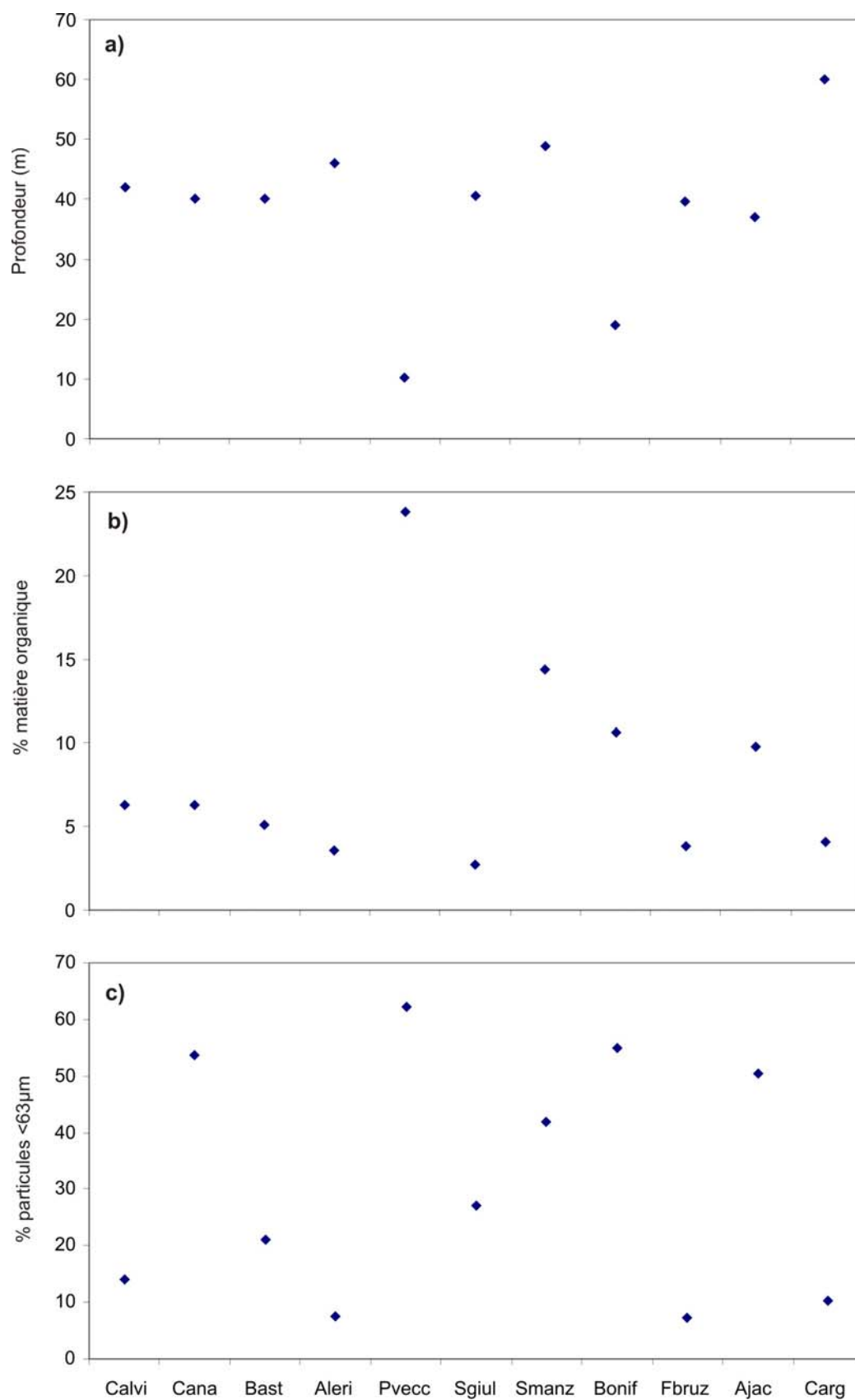


Figure C1 : Paramètres environnementaux aux stations étudiées le long des côtes corse présentés : a) la profondeur des stations, b) le pourcentage de matière organique, c) le pourcentage d'argiles et silts (<63µm), et d) le diamètre médian (en µm).

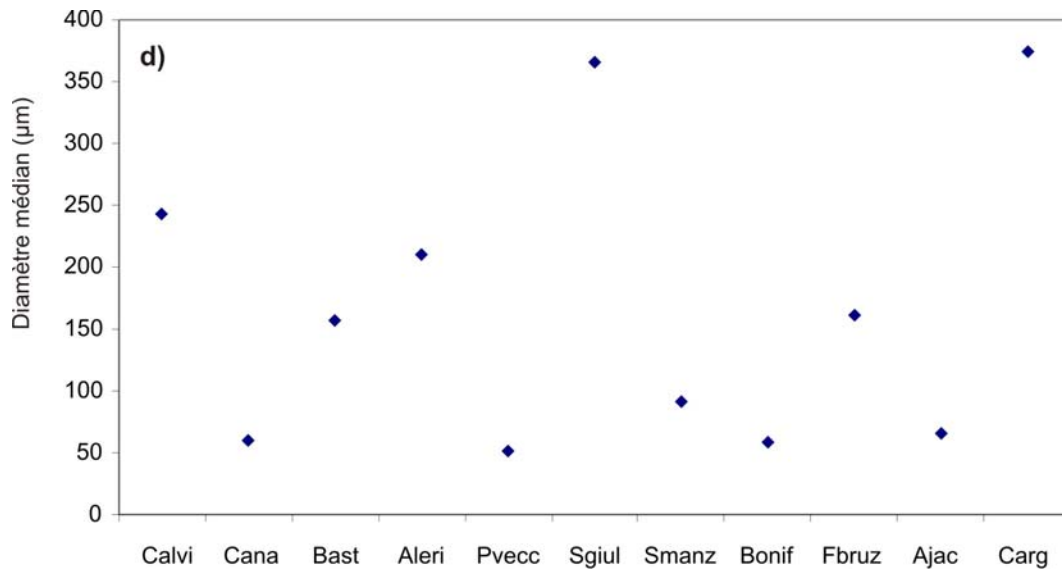


Figure C1 : Suite.

Les particules argilo-silteuses constituent la majorité du sédiment (>50%) aux stations Canari, Porto Vecchio, Bonifacio et Ajaccio (Figure C1c). Les stations Calvi, Aléria, Figari-Bruzzi et Cargèse sont caractérisées au contraire par un pourcentage de particules fines peu élevé autour de 10%. Finalement, Bastia Sud, Santa Giulia et Santa Manza présentent des pourcentages intermédiaires avec 21, 27 et 42%, respectivement. Il existe une corrélation négative significative entre la profondeur d'échantillonnage et le pourcentage de particules fines ($r=-0.68$, $t=0.02$). Les photos des échantillons prélevés pendant la mission océanographique montrent que les stations Santa Giulia et Santa Manza sont constituées d'un mélange de sédiment fin et de maërl (Figure C2a) tandis que le sédiment de surface des stations Figari-Bruzzi et Ajaccio est majoritairement du sable grossier (Figure C2b).

En ce qui concerne Ajaccio, les sables grossiers observés lors de la mission de prélèvement des foraminifères ne correspondent pas aux sédiments argileux identifiés par l'étude granulométrique (50% de particules <63µm). Les échantillonnages ayant été réalisés au cours de 2 missions différentes, nous sommes probablement confrontés à une légère différence de localisation de la station Ajaccio. Ceci expliquerait des résultats de granulométrie différents pour cette station.

Les stations Cargèse et Calvi sont caractérisées par des sables fins principalement (Figure C2c). La station Canari se situant à proximité d'une ancienne mine d'exploitation d'amiante présente la particularité d'avoir une fraction >150µm, constituée majoritairement de fibres d'amiante.

Ainsi, comme c'était le cas pour la zone d'étude LR-PACA, ces données nous montrent que les conditions environnementales sont très hétérogènes pour les stations étudiées.

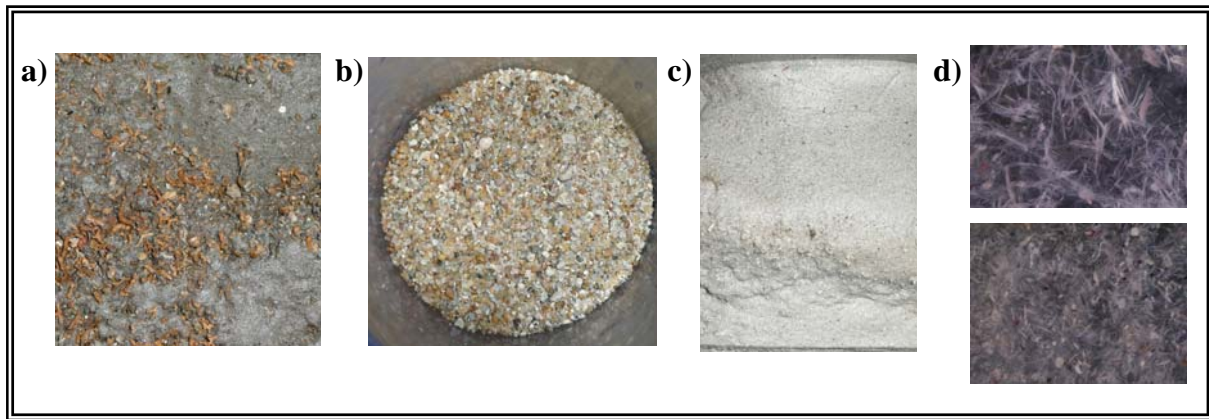


Figure C2 : Photos du sédiment des stations a) Santa Giulia, b) Figari-Bruzzi, c) Calvi et d) Canari.

De manière générale, le pourcentage de matière organique dans le sédiment est très élevé à toutes les stations (Figure C1b). Ces données ont été obtenues en travaillant sur l'intégralité du sédiment, comme c'était le cas pour la zone d'étude LR-PACA. Elles prennent donc en compte les débris végétaux de toutes tailles rencontrés aux différentes stations. La station Porto Vecchio présente une valeur particulièrement importante due à une forte quantité de racines de posidonies (observations photographiques). Ce paramètre ne correspond donc pas uniquement à la matière organique sédimentaire utilisable par les foraminifères, et par conséquent, il est difficile d'interpréter les corrélations entre les paramètres faunistiques et le pourcentage de matière organique. Par la suite, ce paramètre ne sera donc pas pris en compte.

2 Caractéristiques des assemblages de foraminifères vivants

En ce qui concerne les densités de foraminifères trouvés dans le centimètre superficiel de sédiment (standardisées pour 50cm²) et le nombre d'espèces identifiées dans cet intervalle, Ajaccio et Bastia Sud représentent les stations extrêmes de notre zone d'étude. Ajaccio présente une densité très faible (38 foraminifères/50cm²) ainsi qu'une faible richesse spécifique (14 espèces). Au contraire, 1002 foraminifères/50cm² ont été comptés et 54 espèces ont été identifiées à Bastia Sud (Figure C3a-b).

Toutes les stations étudiées entre 0 et 1cm de profondeur ont un indice de Shannon proche ou supérieur à 2.5 et un indice d'Equitalibilité égal ou supérieur à 0.7, excepté la station Bonifacio (Figure C3c-d). Les stations montrent donc une bonne biodiversité et une distribution relativement équilibrée des densités des différentes espèces identifiées, comparable à celle trouvée en LR-PACA. Cette remarque n'est cependant pas valable pour la station Bonifacio dont les indices de Shannon et d'Equitalibilité sont faibles (0.8 et 0.25, respectivement). En effet, la faune de cette station est composée pour 86% de l'espèce *Eggerella scabra*.

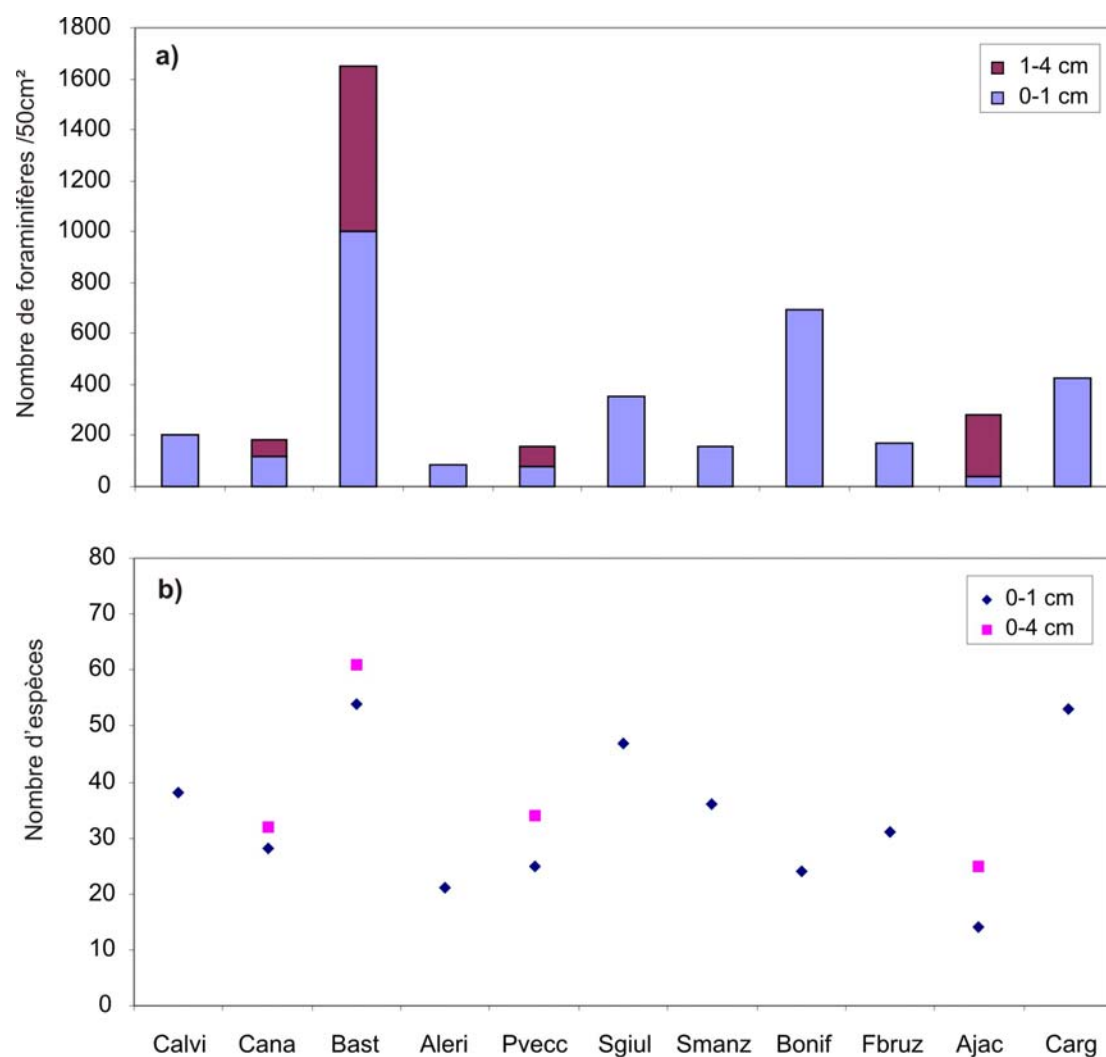


Figure C3 : Caractéristiques des assemblages de foraminifères benthiques vivants pour les intervalles de sédiment 0-1 et 0-4cm : a) densité de foraminifères vivants (nombre d'individus standardisé pour 50 cm²), b) richesse spécifique (nombre d'espèces), c) indice de Shannon-Wiener, et d) indice d'Equitabilité.

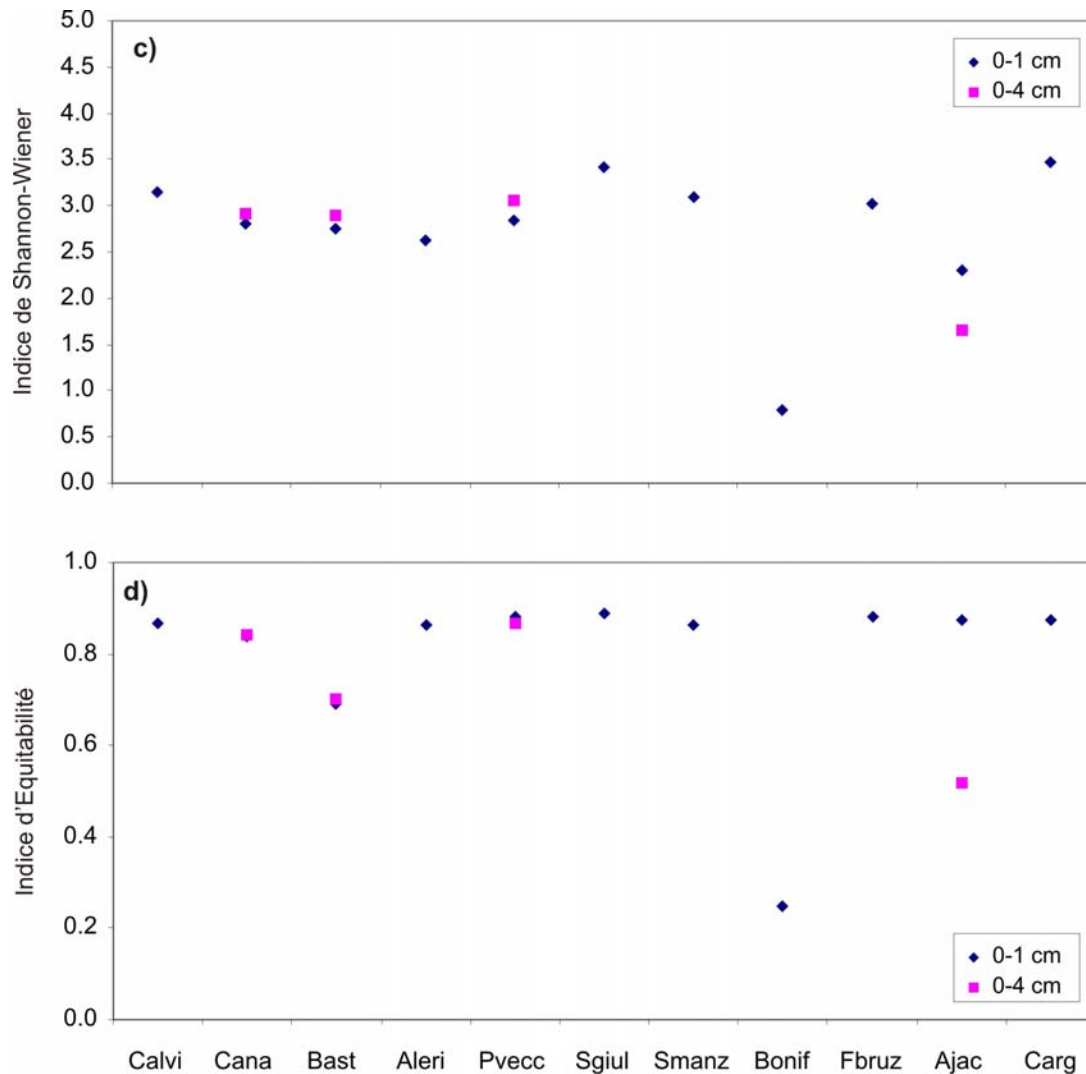


Figure C3 : Suite.

Les deux stations ayant été échantillonnées avec le carottier interface Gemax (Bastia Sud et Bonifacio) révèlent des densités standardisées pour 50cm² plus fortes que toutes les autres stations, qui ont été échantillonnées au Reineck. Ce n'était pas le cas de la station Cerbère en LR-PACA qui présentait une faible quantité de foraminifères malgré le fait qu'elle ait été échantillonnée avec le carottier Gemax. Nous ne pouvons donc pas savoir si la différence observée en Corse pour ces deux stations est biaisée ou non par la méthode d'échantillonnage. Il est certain que lorsqu'un carottier d'interface est utilisé, le sédiment est mieux préservé, en particulier au niveau de l'interface eau-sédiment, car il y a moins de problèmes de lessivage lors de la remontée de l'engin. Cependant, le carottier Gemax a été testé sur plusieurs stations et n'a fonctionné que lorsque le sédiment était vaseux. Malheureusement, dans cette zone d'étude côtière, nous sommes souvent en présence de sédiment sableux. Dans ce cas, l'utilisation d'un carottier boîte Reineck paraît être une

alternative acceptable, permettant d'obtenir une assez bonne image des faunes de foraminifères.

La Figure C4 décrit la répartition des 3 groupes principaux de foraminifères, hyalins, porcelanés et agglutinés, pour toutes les stations de Corse étudiées entre 0 et 1cm. La répartition est homogène pour toutes les stations excepté Canari, Bonifacio et Aléria. La station Canari est caractérisée par une proportion particulièrement faible de foraminifères agglutinés, tandis que les deux autres groupes sont représentés équitablement. La station Bonifacio est constituée à plus de 90% de foraminifères agglutinés (dont 86% d'*E. scabra*). La faune de la station Aléria est composée pour 77% de foraminifères hyalins. Cela pourrait être le signe d'un milieu relativement riche en matière organique sédimentaire en comparaison aux autres stations de Corse, cependant une forte proportion de ces espèces hyalines est composée d'espèces épiphytes ce qui tendrait à dire que cette station se situe à proximité d'un milieu fortement végétalisé.

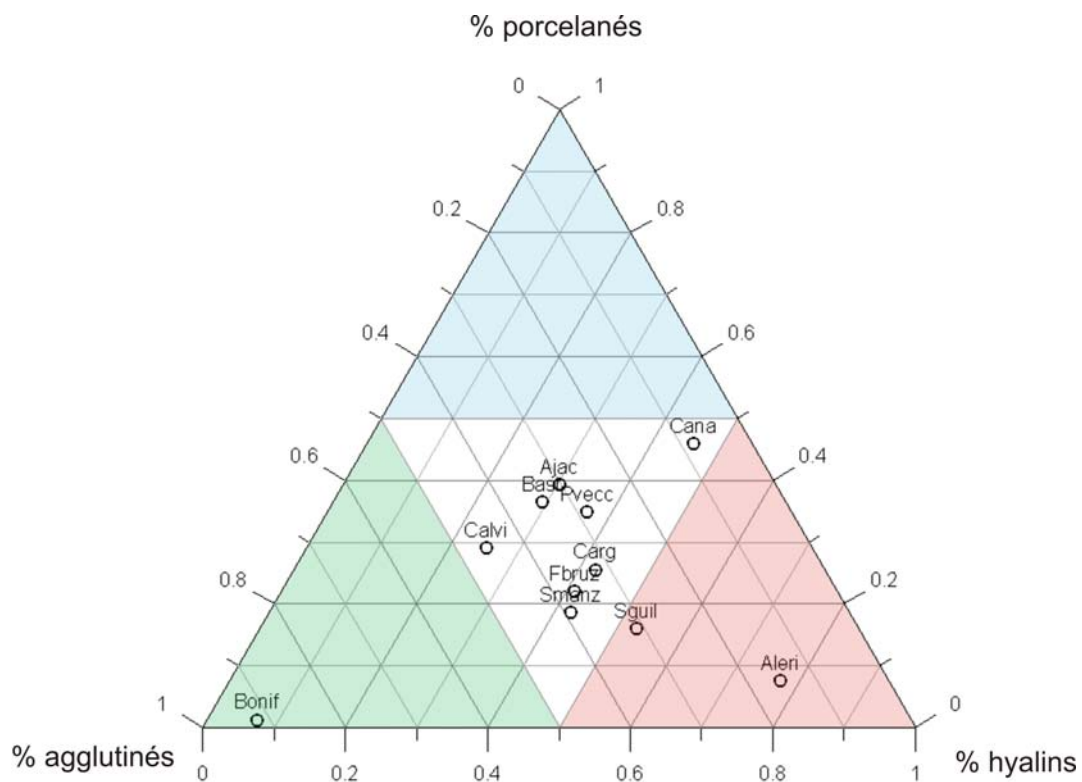


Figure C4 : Diagramme ternaire représentant les stations de Corse en fonction des pourcentages des trois principaux groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés, agglutinés) dans les faunes vivantes entre 0-1cm. En rouge, les stations dominées par les foraminifères hyalins, en bleu par les porcelanés et en vert par les agglutinés.

Les différences entre les paramètres faunistiques déterminés à partir des intervalles 0-1cm et 0-4cm pour les stations Canari, Bastia Sud, Porto Vecchio et Ajaccio sont discutées dans le prochain paragraphe (Chapitre C3).

3 Répartition verticale des foraminifères vivants

Des profils d'oxygène ont été réalisés pour les stations Bastia Sud et Porto Vecchio (et Bonifacio mais, pour cette dernière, les faunes n'ont pas été étudiées en profondeur). La profondeur de pénétration d'oxygène maximale est de 4mm pour les stations Bastia Sud et Porto Vecchio, et de 3mm pour Bonifacio. La zone oxique est donc très limitée.

La distribution des faunes de foraminifères à la station Bastia Sud est caractérisée par une relativement faible profondeur de vie moyenne ($ALD_5 = 1.3\text{cm}$) et un maximum de densité dans le premier demi-centimètre de sédiment, ce qui coïncide avec la faible pénétration d'oxygène de 4mm (Figure C5). L'oxygène pourrait être l'un des paramètres limitant le développement de la faune en profondeur. Les espèces rencontrées entre 1 et 4cm sont pour 90% les mêmes que celles du centimètre supérieur. Les indices de diversité ne montrent pas de différence importante entre 0-1cm et 0-4cm. D'après les deux groupes des stations définis dans la Partie A de ce rapport (étude de la distribution verticale des faunes des stations LR-PACA), Bastia Sud fait partie du groupe A.

La station Canari peut aussi être classée dans le groupe A. En effet, elle présente un maximum de densité dans le premier centimètre de sédiment et très peu de foraminifères vivants ont été identifiés en-dessous de 3cm de profondeur (Figure C5). La profondeur de vie moyenne est faible avec une valeur de 1.0cm. Comme pour Bastia Sud, il n'y a pas de changement important de la faune en fonction de la profondeur dans le sédiment, les quelques espèces présentes uniquement en profondeur ne présentant que de faibles densités. Comme il avait été noté en Partie A de ce rapport, nous n'avons pas identifié d'espèce qui aurait un microhabitat exclusivement endopélique intermédiaire ou profond.

Pour la station Porto-Vecchio, la densité de faune a tendance à diminuer depuis l'interface eau-sédiment jusqu'à 5cm, les densités étant très faibles entre 3 et 5cm. Cependant, le niveau 1.5-2cm est caractérisé par la deuxième plus forte densité, particulièrement du fait d'un grand nombre d'individus de l'espèce *Ammonia parkinsoniana* f. *parkinsoniana*. De plus, le nombre d'espèces à cet intervalle est proche de celui trouvé au niveau 0.5-1cm. A cette station, malgré une faible pénétration d'oxygène (4mm), les faunes sont donc bien développées en profondeur. Il est possible que cela s'explique par la présence d'un terrier de macrofaune, qui

aurait pu bio-irriguer les couches plus profondes. Avec une profondeur de vie moyenne de la faune de 1.1cm, cette station pourrait être classée dans le groupe A.

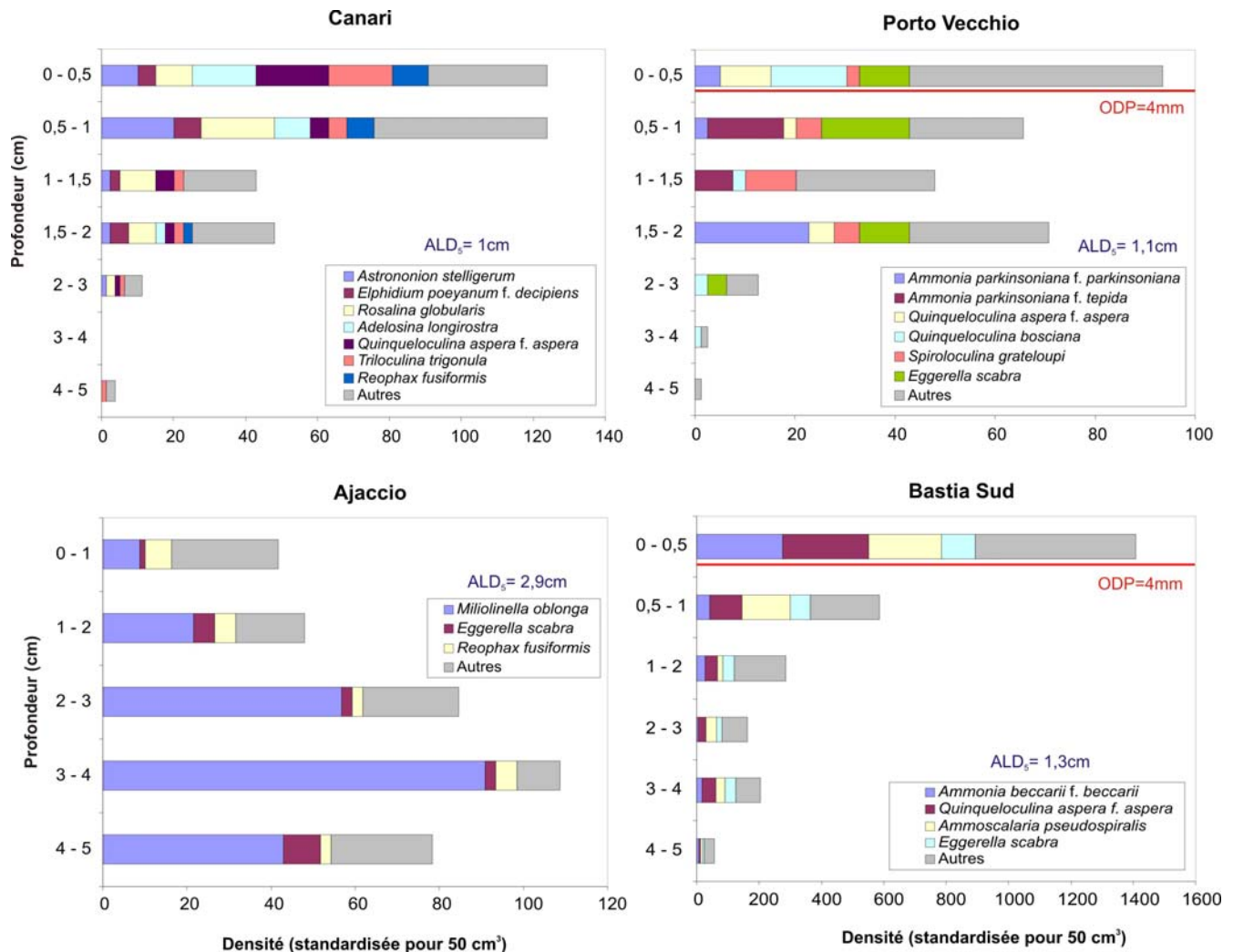


Figure C5 : Répartition verticale entre 0 et 5cm des faunes de foraminifères vivants des stations de Corse. Les densités des foraminifères sont standardisées pour 50 cm³. Les espèces majeures (>5% de la densité totale de foraminifères de la carotte considérée) sont représentées séparément du reste des espèces regroupées dans le groupe « Autres ». NB : L'échelle horizontale est différente pour chaque station.

La distribution verticale des foraminifères de la station Ajaccio est différente de toutes les autres stations étudiées en profondeur au cours de cette étude (LR-PACA et Corse). En effet, la densité de foraminifères n'est pas seulement peu variable dans le sédiment comme c'est le cas des stations du groupe B, mais elle augmente en profondeur dans le sédiment (maximum au niveau 3-4cm). La profondeur de vie moyenne des faunes est donc très importante (ALD₅ = 2.9cm). La multiplication par trois de la densité entre 0-1 et 0-4cm (Figure C3a) est

très largement due à une espèce en particulier, *Miliolinella oblonga*. La prépondérance de cette espèce est à l'origine de la diminution des indices de Shannon et d'Equitabilité dans l'intervalle 0-4cm par rapport à 0-1cm. Cependant, on peut voir sur la Figure C3b que la richesse spécifique augmente aussi notablement lorsque la carotte est étudiée plus en profondeur (11 nouvelles espèces entre 1 et 4cm). En effet, la carotte échantillonnée à la station Ajaccio révèle un profil sédimentaire très particulier dans les 10-15 premiers centimètres superficiels. La surface de la carotte est composée de grains de sables grossiers de couleur marron (Figure C6a). Autour de 4-5cm de profondeur dans le sédiment, des lentilles de sédiment plus fin type vaseux mélangées à du sédiment grossier mais de couleur grise commencent à apparaître (Figure C6b). A 10cm de profondeur, le sédiment est exclusivement grisâtre et composé de ce mélange de sédiment fin et sables grossier (Figure C6c). Ce dépôt de sable grossier clair pourrait être le résultat d'une tempête qui aurait eu lieu récemment. Ce profil sédimentaire très particulier pourrait expliquer la distribution des foraminifères dans la carotte avec une densité qui augmente en profondeur avec la présence de sédiment fin. En effet, les densités sont généralement moins élevées dans des sédiments grossiers que dans des sédiments vaseux (sauf lors de conditions d'extrême pollution où le sédiment peut alors être azoïque).

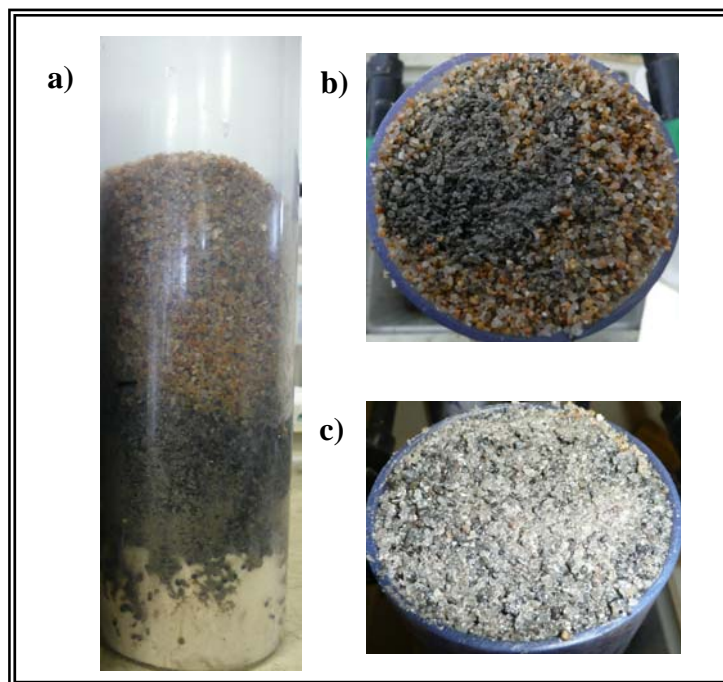


Figure C6 : Photos de la carotte échantillonnée au niveau de la station Ajaccio, a) carotte entière, b) sédiment à 5cm de profondeur et c) à 10cm de profondeur.

4 Composition spécifique des foraminifères vivants

4.1 Description des espèces majeures

Pour les stations de Corse, un total de 28 espèces majeures (>5% de la faune totale dans au moins une des stations, 150-500µm) ont été identifiées pour l'intervalle 0-1cm (voir données en Annexe 3 et les planches photographiques en Annexe 1) : 14 espèces hyalines, 7 espèces porcelanées et 7 agglutinées (Tableau C1).

Espèces hyalines		Espèces porcelanées		Espèces agglutinées	
Noms	Abbrév.	Noms	Abbrév.	Noms	Abbrév.
<i>Ammonia beccarii</i> f. <i>beccarii</i>	Abecc	<i>Adelosina longirostra</i>	Along	<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>	Apseudo
<i>Ammonia parkinsoniana</i> f. <i>parkinsoniana</i>	Apark	<i>Miliolinella oblonga</i>	Moblon	<i>Eggerella scabra</i>	Escab
<i>Ammonia parkinsoniana</i> f. <i>tepida</i>	Atep	<i>Quinqueloculina aspera</i>	Qasp	<i>Psammosphaera fusca</i>	Pfusc
<i>Asterigerinata mamilla</i>	Amam	<i>Quinqueloculina boschiana</i>	Qbosc	<i>Reophax fusiformis</i>	Rfusif
<i>Astrononion stelligerum</i>	Astel	<i>Quinqueloculina costata</i>	Qcost	<i>Reophax micaceus</i>	Rmica
<i>Cancris auriculus</i>	Cauri	<i>Quinqueloculina limbata</i>	Qlimb	<i>Reophax scoriurus</i>	Rscorp
<i>Cibicides lobatulus</i>	Cloba	<i>Triloculina trigonula</i>	Ttrigo	<i>Textularia sagittula</i>	Tsagit
<i>Elphidium poeyanum</i> f. <i>decipiens</i>	Epoey				
<i>Hanzawaia boueana</i>	Hboue				
<i>Neoconorbina terquemi</i>	Nterq				
<i>Rectuvigerina phlegeri</i>	Rphle				
<i>Reusella spinulosa</i>	Rspin				
<i>Rosalina globularis</i>	Rglob				
<i>Spirillina</i> sp.	Spiril				

Tableau C1 : Liste des espèces majeures des stations de Corse dont la densité relative est >5% dans au moins une des stations étudiées entre 0-1cm.

La Figure C7 présente les espèces représentant plus de 5% de la densité totale de foraminifères vivants pour chacune des stations de Corse. Certaines stations présentent un nombre important d'espèces avec une densité relative >5% comme c'est le cas pour Canari ou Figari-Bruzzi. D'autres stations révèlent un fort pourcentage d'espèces mineures dont la densité relative est inférieure à 5% (e.g. Cargèse, Santa Manza, Calvi).

La station Bonifacio est caractérisée par 86% d'*Eggerella scabra* (Figure C7). Cette espèce est présente en densité relative importante (>10%) dans de nombreuses stations de Méditerranée (Cerbère, Collioure, Leucate, Gruissan, Agde Ouest et Est, Sète, Faraman, Ile Embiez, Nice, Antibes 2 et Nord). Elle semble donc être capable de se développer dans des milieux très variés. Elle a été rapportée dans des sédiments sableux associés à des fonds végétalisés (Redois et Debenay, 1996) mais aussi dans la Ria de Vigo où le sédiment est argileux et très riche en matière organique (Diz et al., 2008). *Eggerella scabra* supporterait des variations en salinité, température et de faibles concentrations d'oxygène (Alve, 1995 ; Gustafsson et Nordberg, 2000 ; Diz et al., 2008). Cette espèce serait donc capable de très bien s'adapter aux fluctuations de l'environnement et de se développer dans différentes conditions parfois au détriment d'autres espèces dont elle pourrait limiter le développement par sa forte compétitivité (Diz et al., 2006). *Eggerella scabra* ne présente donc pas de caractéristiques

écologiques bien déterminée. Par conséquent, on ne peut donc pas expliquer, d'après la littérature et compte-tenu des données environnementales disponibles pour cette étude, quelle est la signification de sa forte domination à la station Bonifacio. Cependant, la très forte dominance de cette espèce laisse penser que la faune à Bonifacio est déséquilibrée probablement en réponse à des conditions environnementales perturbées.

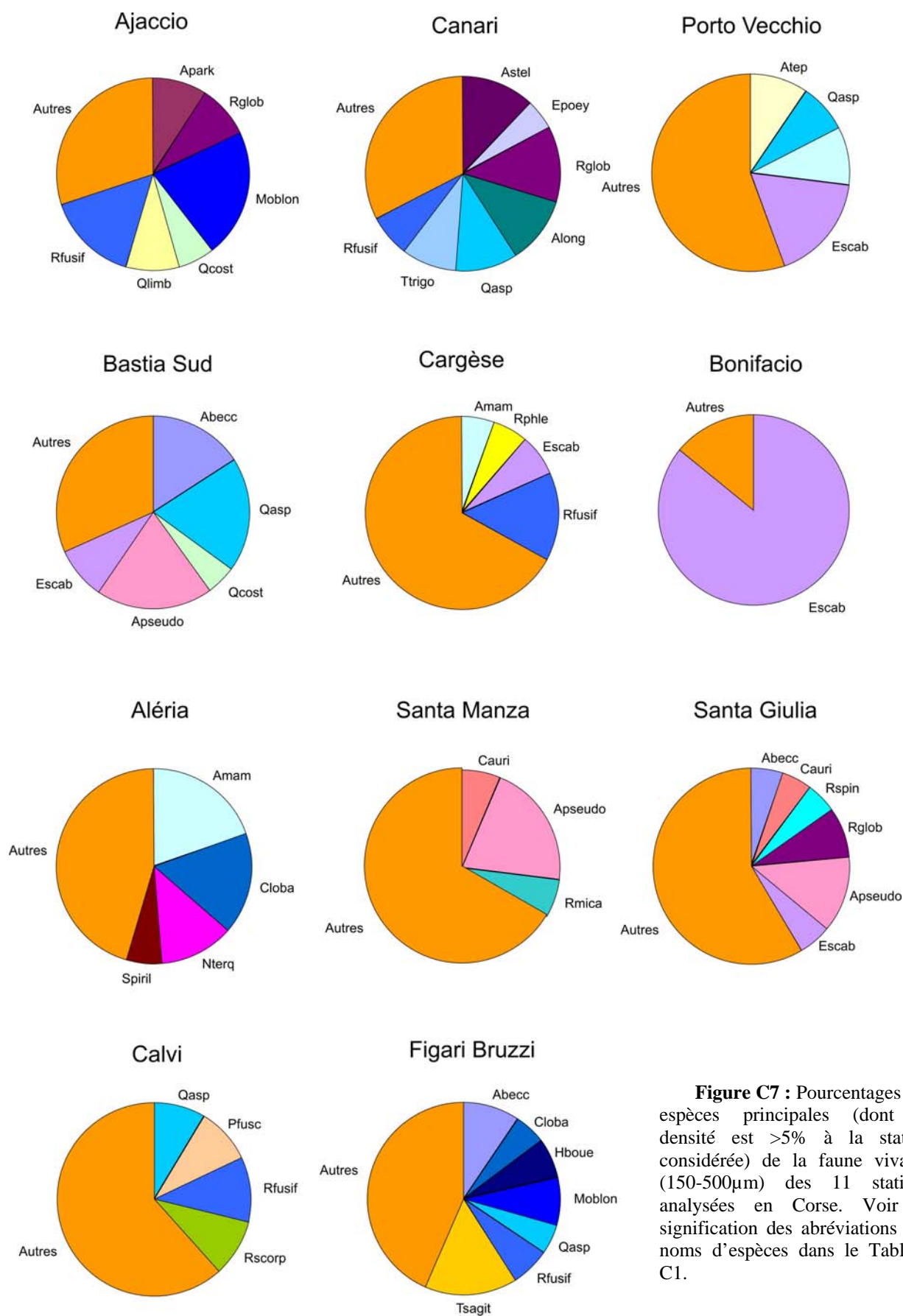


Figure C7 : Pourcentages des espèces principales (dont la densité est >5% à la station considérée) de la faune vivante (150-500µm) des 11 stations analysées en Corse. Voir la signification des abréviations des noms d'espèces dans le Tableau C1.

4.2 Groupes d'espèces indicatrices

4.2.1 Les espèces épiphytes

De manière générale, le pourcentage d'espèces épiphytes dans la faune totale des stations de Corse est plus élevé que celui des stations de LR-PACA. A la station Aléria, la majorité de la faune est composée d'espèces épiphytes (plus de 60%, Figure C8). Cette station comporte relativement peu de sédiment silto-argileux (fraction <63µm inférieur à 10%). Selon les caractéristiques des espèces épiphytes définies dans la Partie A de ce rapport, les conditions à Aléria semblent correspondre à un milieu sableux végétalisé. Cette station se trouvant sur la côte est, au niveau du centre de la Corse, la présence d'herbiers de posidonies à proximité est très probable.

Au contraire, Bastia Sud, Porto Vecchio et Bonifacio présentent des valeurs inférieures à 10% (Figure C8). Le faible pourcentage de foraminifères épiphytes observé à la station Porto Vecchio ne concorde pas avec le fort pourcentage de matière organique mesuré à cette station et aux nombreux débris de racines de posidonies observées durant l'échantillonnage. Cependant, la granulométrie à Porto Vecchio est caractérisée par un sédiment très fin dominé par les silts et les argiles. Il est donc possible que le faible pourcentage d'épiphytes soit dû à un envasement récent de la station ou une régression de l'herbier. Le faible pourcentage obtenu pour la station Bonifacio est à mettre en relation avec les 86% d'*E. scabra*. Cette station contient cependant des espèces épiphytes telles que *Rosalina* spp. et *Cibicides lobatulus*.

Les autres stations (Calvi, Canari, Santa Giulia, Santa Manza, Figari-Bruzzi, Ajaccio et Cargèse) présentent un pourcentage d'épiphytes autour de 20%. Il semblerait donc que ces stations soient proches d'un environnement végétalisé.

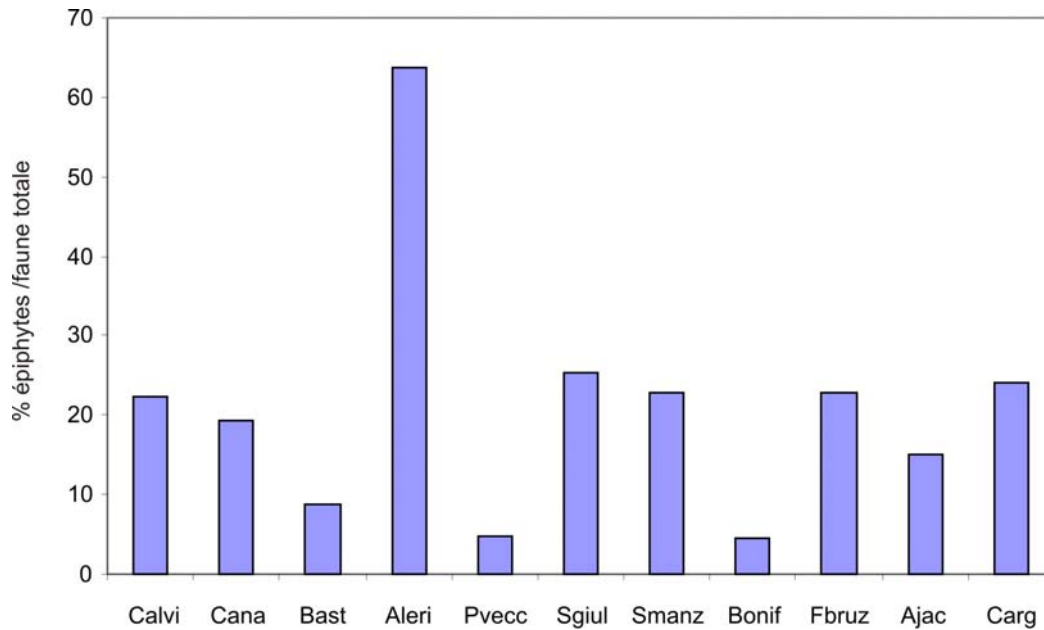


Figure C8 : Pourcentage d'espèces épiphytes par rapport à la faune totale de l'échantillon (intervalle 0-1cm).

4.2.2 Les espèces tolérantes et sensibles

Le pourcentage d'espèces tolérantes dans les stations de Corse est faible en comparaison à la majorité des stations de la zone d'étude LR-PACA. La station Cargèse contient des individus de *Rectuvigerina phlegeri* et *Cancris auriculus* qui sont responsables du pourcentage le plus élevé observé en Corse (9.5%) (Figure C9). C'est en particulier cette deuxième espèce qui est rencontrée aux stations Santa Manza et Santa Giulia, qui présentent 8.1 et 5.7% d'espèces tolérantes respectivement (Figure C9). Les stations Aléria et Ajaccio sont caractérisées par l'absence totale de faune tolérante, sachant qu'Ajaccio est composée dans le premier centimètre de la carotte par un sédiment grossier où relativement peu de foraminifères vivent (38 individus/50cm²). Pour la station Bonifacio, le pourcentage d'espèces tolérantes est aussi très faible (uniquement 2 individus de *N. scaphum*).

Le pourcentage d'espèces sensibles est supérieur à 40% pour toutes les stations excepté pour la station Bonifacio (Figure C9). La faible valeur obtenue pour Bonifacio est peut-être due à la prolifération d'*E. scabra*, car cette station contient des espèces épiphytes, comme nous l'avons noté précédemment, et des espèces porcelanés. La comparaison des pourcentages d'espèces épiphytes (Figure C8) et d'espèces sensibles (Figure C9) montre que, pour la plupart des stations, les foraminifères épiphytes constituent environ la moitié des individus identifiés dans le groupe des espèces sensibles. Ceci n'est pas le cas pour PortoVecchio, Bastia Sud, Canari et Ajaccio où les espèces porcelanés et *Elphidium* spp. prennent un poids

beaucoup plus important dans les espèces sensibles (plus de 70%). Enfin, pour Aléria, le schéma inverse est observé puisque 90% des espèces sensibles sont des espèces épiphytes.

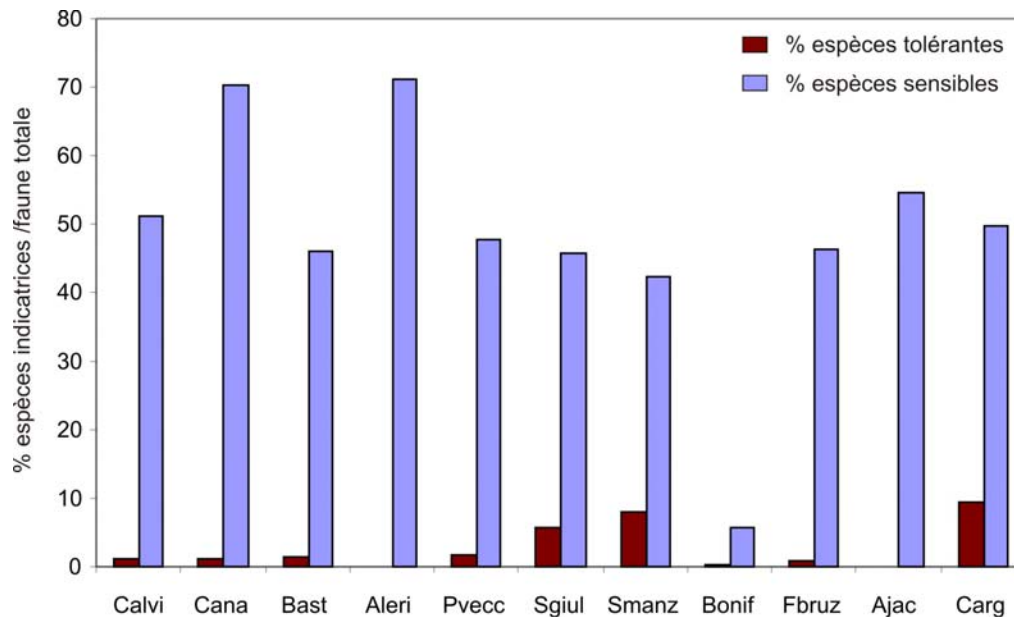


Figure C9 : Pourcentage des espèces tolérantes (histogramme rouge) et sensibles (histogramme bleu) par rapport à la faune totale de l'échantillon (intervalle 0-1cm).

5 Classes des masses d'eau de Corse

Le Foraminiferal Index (FI) développé à partir de la base de données des stations analysées en LR-PACA (Partie A) a été appliqué aux données des stations de Corse. Le Tableau C2 rapporte les classes d'état écologique définies à partir du FI, l'indice foraminifères, ainsi que les paramètres utilisés pour le calculer. Une seule station a été analysée par masse d'eau dans la zone d'étude de la Corse donc les classes d'état des masses d'eau sont les mêmes que pour les stations. Toutes les masses d'eau de Corse ont un très bon ou bon état écologique (voir Annexes 4 et 6).

		% espèces tolérantes, station x	% particules inf. à 63µm	% espèces tolérantes, station de référence	Foraminiferal Index	Ecological quality par station	Ecological quality par masse d'eau
Masse d'eau	Stations	%ET _x	% <63 µm	%ET _{ref}	FI	EQ _{station}	EQ _{masse eau}
FREC01ab	Calvi	1.23	14.00	0.8	0.5	1	1
FREC01d	Canari	1.02	53.70	4.9	-4.1	1	1
FREC02c	Bastia Sud	1.32	21.11	1.2	0.1	1	1
FREC02d	Aléria	0.00	7.43	0.5	-0.5	1	1
FREC03b	Porto Vecchio	1.59	62.17	6.6	-5.4	1	1
FREC03ad	Santa Giulia	5.71	27.05	1.6	4.2	2	2
FREC03c	Santa Manza	8.13	41.80	3.1	5.2	2	2
FREC03f	Bonifacio	0.24	54.99	5.1	-5.1	1	1
FREC03eg	Figari-Bruzzi	0.74	7.34	0.4	0.3	1	1
FREC04b	Ajaccio	0.00	50.44	4.3	-4.5	1	1
FREC04ac	Cargèse	9.52	10.40	0.6	9.0	2	2

Tableau C2 : Valeurs de l'indice foraminifère (Foraminiferal Index) et classes d'état écologique des différentes stations (EQ). Les valeurs des paramètres utilisés et calculés pour le calcul de FI sont indiquées dans le tableau.

Comme nous l'avons abordé auparavant, le cas de la station Bonifacio est particulier car cette station est classée en très bon état écologique d'après notre indice alors que la faune y est largement dominée par une seule espèce, *Eggerella scabra*. L'indice foraminifères est basé sur le pourcentage d'espèces tolérantes qui est faible à Bonifacio. Mais si l'on considère la composition spécifique et l'indice d'Equitabilité, on observe un déséquilibre de la faune qui laisserait supposer une perturbation du milieu. En zone d'étude LR-PACA, cette espèce ubiquiste ne se comporte pas comme un indicateur de stress. Par contre, en Corse où les conditions environnementales sont en général moins perturbées et où le niveau trophique serait plus bas, *E. scabra* pourrait se comporter comme un marqueur de stress environnemental. Ce cas particulier met en évidence la difficulté d'établir un indice ubiquiste qui fonctionnerait dans n'importe quelle zone géographique. C'est d'ailleurs pour cette raison que l'indice AMBI utilisé pour l'étude de la macrofaune présente différentes listes d'espèces indicatrices en fonction des régions étudiées.

Si l'on regarde la distribution des stations de Corse dans un graphique représentant le pourcentage d'espèces tolérantes en fonction du pourcentage de particules inférieures à 63µm, on remarque que les stations ayant un fort pourcentage de particules fines se situent bien en dessous de la courbe de référence basée sur les stations de très bonne qualité de la zone d'étude LR-PACA (Figure C10). Seules trois stations se trouvent au-dessus de cette courbe. Ceci suggère que généralement, la zone d'étude Corse présente des masses d'eau de meilleure qualité que la zone d'étude LR-PACA.

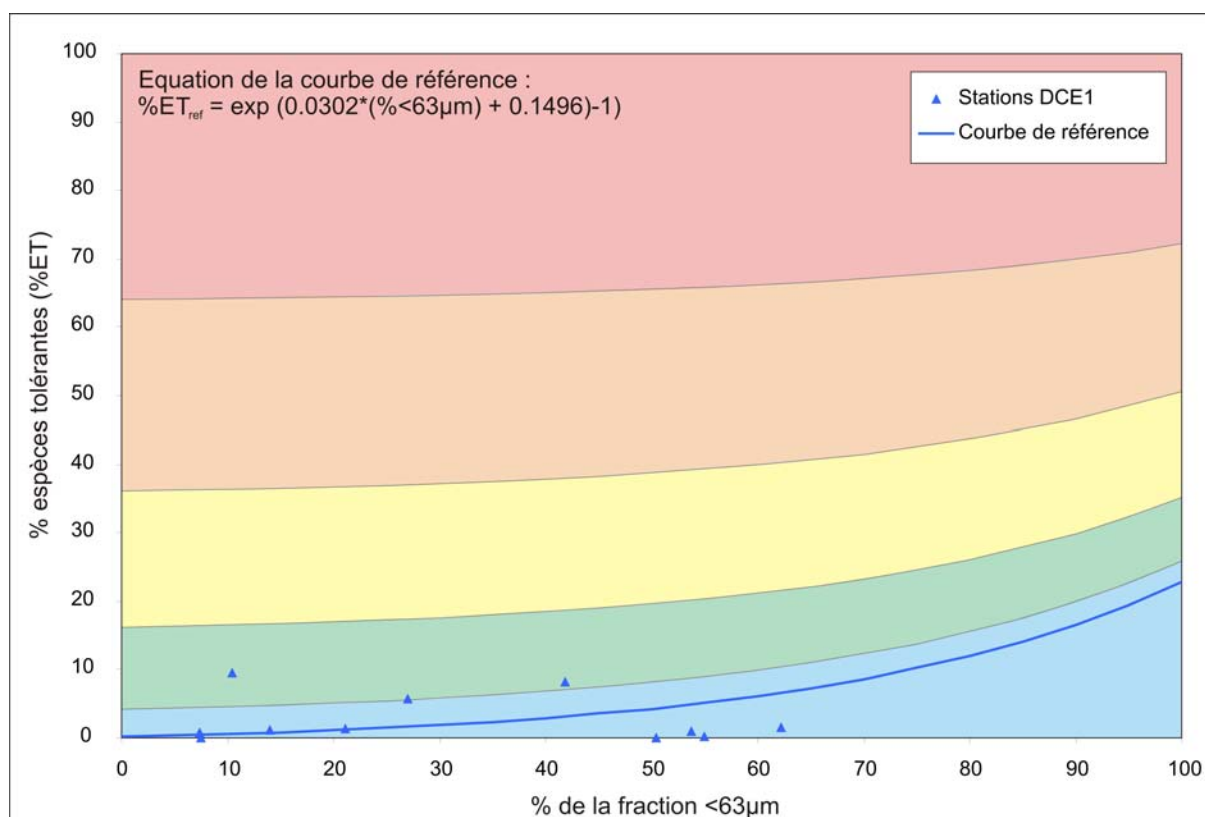


Figure C10 : Proportion des espèces tolérantes par rapport à la faune totale en fonction du pourcentage de particules inférieures à 63µm à chacune des stations étudiées en Corse. La courbe exponentielle représente le pourcentage d'espèces tolérantes dans des conditions de références.

SYNTHESE

Le but de cette étude, financée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse, était de développer un nouvel outil biologique performant d'évaluation de la qualité écologique de l'environnement marin, dans le contexte de la Directive Cadre Eau. L'étude des faunes de foraminifères benthiques vivants des côtes méditerranéennes françaises a permis de développer et de tester ce nouvel indice et l'étude des faunes mortes d'appréhender l'évolution temporelle de l'état écologique des stations étudiées.

L'indice écologique présenté dans ce rapport a été développé à partir des données de foraminifères vivants (intervalle 0-1cm, fraction 150-500µm) des 31 stations situées le long des régions LR-PACA. D'une part, l'analyse des paramètres environnementaux aux différentes stations (granulométrie, pourcentage de matière organique, profondeur) a montré une grande variabilité, en particulier un décalage important entre les stations à l'Ouest et à l'Est de l'embouchure du Rhône. D'autre part, l'analyse de la composition faunistique des foraminifères a révélé une grande diversité d'espèces. Il est évident que, plus la zone d'étude est géographiquement vaste, plus les paramètres environnementaux vont varier et plus les faunes vont être diversifiées. Il est donc nécessaire, pour définir l'état écologique de toutes les masses d'eau de la zone d'étude, de définir un indice pondéré par rapport à un état de référence où les conditions environnementales seraient exemptes d'impact anthropique et proches de celles de la masse d'eau étudiée, et de travailler par groupement d'espèces indicatrices de foraminifères afin que l'indice soit applicable sur toute la zone d'étude.

L'indice foraminifères a été défini à partir du pourcentage d'espèces tolérantes, et donc indicatrices de stress, pondéré par la granulométrie du sédiment à la station étudiée (pourcentage de particules fines < 63µm dans le sédiment). En effet, la proportion d'espèces tolérantes sera toujours plus importante dans un milieu de sédiments argileux que dans un milieu sableux sans pour autant que l'environnement soit de mauvaise qualité, le milieu pouvant être naturellement envasé.

L'indice basé sur les foraminifères, noté FI (pour Foraminiferal Index), est calculé selon la formule suivante :

$$FI_x = \frac{(\%ET_x - \%ET_{ref})}{(100 - \%ET_{ref})} \times 100$$

où $\%ET_x$ est le pourcentage d'espèces tolérantes trouvé à la station x , et $\%ET_{ref}$ est le pourcentage d'espèces tolérantes attendu en fonction de la granulométrie trouvée à la station x . $\%ET_{ref}$ est défini d'après le pourcentage de particules fines ($< 63\mu\text{m}$) à la station x et l'équation de la courbe de référence présentée en Figure 1 (définie à partir des stations Agde Ouest, Grau du Roi, Beauduc, Cap Canaille, Embiez, Antibes 2, Antibes Nord et Nice, considérées comme étant proche d'un état naturel). La Figure 1 indique aussi les limites entre les différentes classes d'état écologique (bleu = très bon ; vert = bon ; jaune = moyen ; orange = médiocre ; rouge = mauvais).

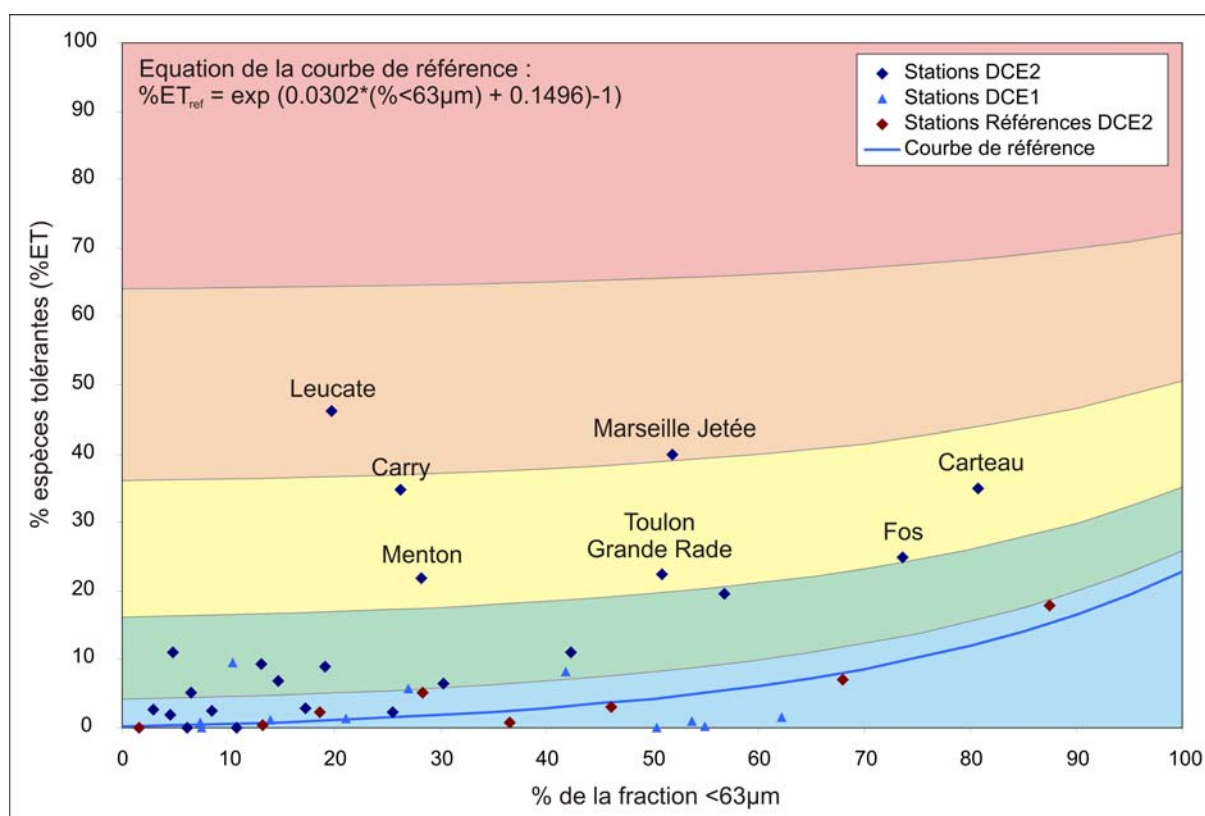


Figure 1 : Proportion des espèces tolérantes par rapport à la faune totale en fonction du pourcentage de particules inférieures à $63\mu\text{m}$ à chacune des stations étudiées le long des côtes LR-PACA et de Corse. La courbe exponentielle représente le pourcentage d'espèces tolérantes dans des conditions naturelles, de référence.

Le classement obtenu met en évidence un mauvais état écologique pour les stations Leucate et Marseille Jetée et un état médiocre pour les stations Carteau, Fos, Carry, Toulon Grande Rade et Menton. Toutes les autres stations de la côte LR-PACA sont en très bon ou bon état écologique (voir Annexe 2 pour les fiches récapitulatives par station, Annexe 4 pour l'état écologique par masse d'eau, et Annexe 5 pour la représentation cartographiée de l'état écologique des stations).

L'indice a été appliqué aux données de foraminifères benthiques vivants recueillies pour les stations de la zone d'étude Corse. Toutes ces stations sont en très bon ou bon état

écologique (voir Annexe 3 pour les fiches récapitulatives par station, Annexe 4 pour l'état écologique par masse d'eau, et Annexe 6 pour la représentation cartographiée de l'état écologique des stations).

Ce rapport présente aussi une étude approfondie et détaillée des faunes de foraminifères benthiques des zones côtières des régions Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côtes d'Azur et de la Corse : biodiversité, composition spécifique, espèces indicatrices et distribution verticale dans le sédiment. Une comparaison statistique entre les données obtenues en analysant d'une part uniquement le premier centimètre de sédiment superficiel et d'autre part le sédiment entre 0 et 4cm n'a pas mis en évidence de différence significative. Il est donc possible, afin de réaliser une étude rapide et ainsi peu coûteuse, de baser l'indice foraminifères sur les faunes de l'intervalle 0-1cm. Toutefois, nous avons mis en évidence que l'étude de la distribution verticale des faunes dans le sédiment pouvait apporter une information intéressante sur les conditions du milieu (matière organique, oxygénation) et pour l'interprétation des faunes mortes.

L'analyse des foraminifères morts (intervalle 3-4cm, fraction 150-500 μ m) a permis d'étudier l'évolution des conditions écologiques pour 24 stations de la zone d'étude LR-PACA. De manière générale, les stations classées actuellement en très bon état écologique présentaient dans le passé des conditions tout aussi bonnes. Pour les stations de moindre qualité, la comparaison des faunes mortes et vivantes confirme que les conditions écologiques se sont détériorées au cours du temps, de manière plus ou moins intenses en fonction des stations considérées.

En conclusion, l'outil foraminifère permet non seulement de classer les masses d'eau en fonction de leur état écologique grâce à l'étude des faunes vivantes mais il permet aussi de pouvoir retourner aux conditions passées à une même station pour connaître l'évolution de l'état écologique de la station.

PERSPECTIVES

Les perspectives de ce travail sont nombreuses, autant en ce qui concerne l'indice foraminifères basé sur les faunes vivantes qu'en ce qui concerne l'évolution des conditions écologiques à une station grâce à l'étude des faunes mortes.

L'indice développé dans cette étude peut dès à présent être utilisé en routine pour les contrôles de surveillance de la Directive Cadre Eau afin de déterminer la qualité écologique des masses d'eau lors de la prochaine campagne en 2012. Il pourrait aussi être utilisé pour les contrôles opérationnels de la DCE ou l'étude d'impact de rejet de pollution localisé. Il serait aussi tout à fait possible de tester, et d'adapter le cas échéant, l'indice foraminifères à d'autres zones géographiques telles que les zones côtières des autres façades maritimes françaises et surtout les domaines océanographiques concernés par la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). En effet, la zone des 200 milles marins à partir du trait de côte comprend le plateau et le talus continental ainsi qu'une partie plus ou moins étendue du bassin océanique. Les milieux profonds ne sont que pauvrement habités par la macrofaune qui s'y fait rare. Au contraire, les foraminifères constituent une grande partie de la biomasse des communautés benthiques de ces environnements où ils présentent une forte biodiversité (Snider *et al.*, 1984 ; Alongi, 1992 ; Gooday *et al.*, 1992 ; Gooday, 1994, 2003) pour permettre une analyse fiable de l'écologie. Ceci a été prouvé lors de nombreuses études écologiques sur les foraminifères vivants des milieux abyssaux (De Rijk *et al.*, 2000 ; Murgese et De Dekker, 2005 ; Fontanier *et al.*, 2005 ; Szarek *et al.*, 2007) ou de canyons sous-marins par exemple (Koho *et al.*, 2007 ; Fontanier *et al.*, 2008b ; Hess et Jorissen, 2009). L'outil foraminifère paraît donc tout à fait adapté à l'évaluation de la qualité écologique des environnements profonds.

L'analyse de la faune morte donne accès à la connaissance de l'évolution de l'état écologique d'un milieu. Elle a permis de confirmer le bon état écologique durable de larges zones de la région LR-PACA et de mettre en évidence la dégradation récente intense de certaines masses d'eau. Il serait possible d'étendre cette étude de la faune morte aux stations de la zone d'étude Corse. D'autre part, pour de prochaines études, il serait très intéressant, de manière à perfectionner l'interprétation des données des faunes mortes, de déterminer la période représentée par l'intervalle de sédiment analysé (datation des sédiments par la méthode du ^{210}Pb).

Lexique

Groupe	Noms espèces	Abrév.
Foraminifères hyalins	<i>Ammonia beccarii</i> f. <i>beccarii</i>	Abecc
	<i>Ammonia parkinsoniana</i> f. <i>parkinsoniana</i>	Apark
	<i>Ammonia parkinsoniana</i> f. <i>tepida</i>	Atep
	<i>Asterigerinata mamilla</i>	Amami
	<i>Astrononion stelligerum</i>	Astel
	<i>Buccella granulata</i>	Bgran
	<i>Bulimina aculeata</i>	Bacul
	<i>Cancris auriculus</i>	Cauri
	<i>Cibicides lobatulus</i>	Cloba
	<i>Elphidium advenum</i>	Eadv
	<i>Elphidium crispum</i>	Ecris
	<i>Elphidium granosum</i>	Egran
	<i>Elphidium maioricense</i>	Emaior
	<i>Elphidium poeyanum</i> f. <i>decipiens</i>	Epoey
	<i>Fissurina</i> sp.	Fiss
	<i>Hanzawaia boueana</i>	Hboue
	<i>Hyantesina germanica</i>	Hgerm
	<i>Neoconorbina terquemi</i>	Nterq
	<i>Nonion depressulum</i>	Ndepre
	<i>Nonion scaphum</i>	Nscap
	<i>Nonionella turgida</i>	Nturg
	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	Pmed
	<i>Pseudoepionides falsobeccarii</i>	Pfals
	<i>Rectuvigerina phlegeri</i>	Rphle
	<i>Reusella spinulosa</i>	Rspin
	<i>Rosalina bradyi</i>	Rbrad
	<i>Rosalina globularis</i>	Rglob
	<i>Spirillina</i> sp.	Spiril
	<i>Valvulineria bradyana</i>	Vbrad
Foraminifères porcelanés	<i>Adelosina longirostra</i>	Along
	<i>Miliolinella oblonga</i>	Moblon
	<i>Miliolinella subrotunda</i>	Msubrot
	<i>Quinqueloculina aspera</i>	Qasp
	<i>Quinqueloculina bosciana</i>	Qbosc
	<i>Quinqueloculina costata</i>	Qcost
	<i>Quinqueloculina limbata</i>	Qlimb
Foraminifères agglutinés	<i>Quinqueloculina seminula</i>	Qsemi
	<i>Triloculina trigonula</i>	Ttrigo
	<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>	Apseud
	<i>Eggerella scabra</i>	Escab
	<i>Lagenammina</i> sp. A	LagenA
	<i>Lagenammina</i> sp. B	LagenB
	<i>Psamosphaera fusca</i>	Pfusc
	<i>Reophax fusiformis</i>	Rfusif
	<i>Reophax micaceus</i>	Rmica
	<i>Reophax scorpiurus</i>	Rscorp
	<i>Reophax subfusiformis</i>	Rsubf
	<i>Textularia agglutinans</i>	Taggl
	<i>Textularia sagittula</i>	Tsagit

Stations DCE2	Abrév.
Agde Est	AgdE
Agde Ouest	AgdW
Antibes 2	Antib2
Beauduc	Bduc
Cap Canaille	Ccan
Carry	Carry
Carteau	Cart
Collioure	Colli
Faraman	Fara
Fos	Fos
Fréjus	Fréj
Grau du Roi	Grau
Gruissan	Gruis
Ile Levant	Levan
Ile Maire	Maire
Lavandou	Lav
Leucate	Leuc
Marseille Jetée	Mjet
Menton	Ment
Nice Ville	Nice
Pampelone	Pamp
Sète	Sete
Toulon Gde Rade	Toul
Villefranche	Vfran

Stations DCE1	Abrév.
Ajaccio	Ajac
Aléria	Aleri
Bastia Sud	Bast
Bonifacio	Bonif
Canari	Cana
Cargèse	Carg
Cavi	Calvi
Figari-Bruzzi	Fbruz
Porto Vecchio	Pvecc
Santa Giulia	Sgiul
Santa Manza	Smanz

Références

- Alongi, D.M., 1992. Bathymetric patterns of deep-sea benthic communities from bathyal to abyssal depths in the western South Pacific (Solomon and Coral Seas) Deep Sea Research Part A, 39(3-4): 549-565.
- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. Journal of Foraminiferal Research, 25: 190-203.
- Armynot du Chatelet, E., Debenay, J.P. et Soulard, R., 2004. Foraminiferal proxies for pollution monitoring in moderately polluted harbors. Environmental pollution, 127: 27-40.
- Barmawidjaja, D.M., Jorissen, F.J., Puskaric, S. et van der Zwaan, G.J., 1992. Microhabitat selection by benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea. Journal of Foraminiferal Research, 22(4): 297-317.
- Bernhard, J.M. and Reimers, C.E., 1991. Benthic foraminiferal population fluctuations related to anoxia: Santa Barbara Basin. Biogeochemistry, 15(2): 1577-1585.
- Bernhard, J.M. and Sen Gupta, B.K., 1999. Foraminifera of oxygen-depleted environments. In: B.K. Sen Gupta (Editor), Modern Foraminifera. Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- Bizon, G. et Bizon, J.J., 1984. Distribution des foraminifères sur le plateau continental au large du Rhône. In: J.J. Bizon et P.F. Burollet (Editors), Ecologie des Microorganismes en Méditerranée occidentale 'ECOMED'. Association Française des Techniciens du Pétrole (AFTP), Paris, pp. 84-94.
- Buzas, M.A., Culver, S.J. et Jorissen, F.J., 1993. A statistical evaluation of the microhabitats of living (stained) infaunal benthic foraminifera. Marine Micropaleontology, 20(3-4): 311-320.
- Calmet, D. et Fernandez, J.-M., 1990. Caesium distribution in northwest Mediterranean seawater, suspended particles and sediments. Continental Shelf Research, 10: 895-913.
- Coppa, M.G. et Di Tuoro, A., 1995. Preliminary data on the Holocene foraminifera of the Cilento continental shelf (Tyrrhenian Sea). Revista Espanola de Paleontologia, 10(2): 161-174.
- Corliss, B.H., 1985. Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. Nature, 314: 435-438.
- Debenay, J.-P. et Redois, F., 1997. Distribution of the twenty seven dominant species of shelf benthic foraminifers on the continental shelf, north of Dakar (Senegal). Marine Micropaleontology, 29(3-4): 237-255.

- Debenay, J.P., Guillou, J.-J., Redois, F. et Geslin, E., 2000. Distribution trends of foraminiferal assemblages in paralic environments: a base for using foraminifera as bioindicators. In: R. Martin (Editor), *Environmental Micropaleontology*. Plenum Publishing Corporation.
- De Rijk, S., Jorissen, F.J., Rohling, E.J. and Troelstra, S.R., 2000. Organic flux control on bathymetric zonation of Mediterranean benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 40(3): 151-166.
- Diz, P., Francés, G. et Rosón, G., 2006. Effects of contrasting upwelling–downwelling on benthic foraminiferal distribution in the Ría de Vigo (NW Spain). *Journal of Marine Systems*, 60(1-2): 1-18.
- Diz, P. and Francés, G., 2008. Distribution of live benthic foraminifera in the Ría de Vigo (NW Spain). *Marine Micropaleontology*, 66(3-4): 165-191.
- Donnici, S. et Barbero, R., 2002. The benthic foraminiferal communities of the northern Adriatic continental shelf. *Marine Micropaleontology*, 44(3-4): 93-123.
- Duchemin, G. *et al.*, 2008. New monitoring tool for assessing environmental impact of off-shore drilling activities: benthic foraminifera. *Society of Petroleum Engineers Journal*, Paper 111959: 8 pp.
- Duijnste, I., Ernst, S.R. et Van Der Zwaan, G.J., 2003. Effect of anoxia on the vertical migration of benthic foraminifera. *Marine Ecology Progress Series*, 246: 85–94.
- Durrieu de Madron, X. *et al.*, 2000. Particulate matter and organic carbon budgets for the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 23(6): 717-730.
- Durrieu, J. *et al.*, 2006. Aged drilled cuttings offshore Gabon: New methodology for assessing their impact. *Society of Petroleum Engineers Journal*, Paper 98414: 8 pp.
- Eberwein, A. and Mackensen, A., 2006. Regional primary productivity differences off Morocco (NW-Africa) recorded by modern benthic foraminifera and their stable carbon isotopic composition. *Deep Sea Research I*, 53(8): 1379-1405.
- Ernst, S., Duijnste, I. and van der Zwaan, B., 2002. The dynamics of the benthic foraminiferal microhabitat: Recovery after experimental disturbance. *Marine Micropaleontology*, 46(3-4): 343-361.
- Fontanier, C. *et al.*, 2002. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. *Deep-Sea Research I*, 49: 751-785.
- Fontanier, C. *et al.*, 2005. Live foraminiferal faunas from a 2800 m deep lower canyon station from the Bay of Biscay: Faunal response to focusing of refractory organic matter. *Deep-Sea Research I*, 52: 1189-1227.

- Fontanier, C. *et al.*, 2008a. Live foraminifera from the open slope between Grand Rhône and Petit Rhône Canyons (Gulf of Lions, NW Mediterranean). *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(11): 1532-1553.
- Fontanier, C. *et al.*, 2008b. Live and dead foraminiferal faunas from Saint-Tropez Canyon (Bay of Fréjus): Observations based on situ and incubated cores. *Journal of Foraminiferal Research*, 38(2): 137-156.
- Gooday, A.J., 1994. The biology of deep-sea foraminifera: a review of some advantages and their applications in paleoceanography. *Palaios*, 9: 14-31.
- Gooday, A.J., 2003. Benthic foraminifera (Protista) as tools in deep-water palaeoceanography: environmental influences on faunal characteristics. *Advances in Marine Biology*, 46: 1-90.
- Gooday, A.J., Levin, L.A., Linke, P. et Heeger, T., 1992. The role of benthic foraminifera in deep-sea food webs and carbon cycling. Dans : G.T. Rowe and V. Pariente (Editors), *Deep-sea Food Chains and the Global Carbon Cycle*. Kluwer Academic publishers, The Netherlands, pp. 63-91.
- Guimerans, P.V. et Currado, J.L.C., 1999. Distribution of Planorbulinacea (benthic foraminifera) assemblages in surface sediments on the northern margin of the Gulf of Cadiz. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 15(1-4): 181-190.
- Gustafsson, M. et Nordberg, K., 2000. Living (Stained) benthic Foraminifera and their response to the seasonal hydrographic cycle, periodic hypoxia and to primary production in Havstens Fjord on the Swedish west coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51(6): 743-761.
- Hayek, L.E.C. et Buzas, M.A., 1997. *Surveying Natural Populations*. Columbia University Press, New York, 563 pp.
- Hess, S. et Jorissen, F., 2009. Distribution patterns of living benthic foraminifera from Cap Breton canyon, Bay of Biscay: Faunal response to sediment instability *Deep Sea Research I*, 56(9): 1555-1578.
- Jorissen, F., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea; Principles of phenotypic variation. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, 37: 174 pp.
- Jorissen, F.J., 1987. The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea. *Marine Micropaleontology*, 12: 21-48.
- Jorissen, F.J., de Stigter, H.C. et Widmark, J.G.V., 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*, 22: 3-15.

- Koho, K.A., Kouwenhoven, T.J., de Stigter, H.C. et van der Zwaan, G.J., 2007. Benthic foraminifera in the Nazaré Canyon, Portuguese continental margin: Sedimentary environments and disturbance. *Marine Micropaleontology*, 66(1): 27-51.
- Krebs, C.J., 1999. *Ecological methodology*. Addison-Welsey Educational Publishers, USA.
- Martins, V. *et al.*, 2007. A multiproxy approach of the Holocene evolution of shelf-slope circulation on the NW Iberian Continental Shelf. *Marine Geology*, 239: 1–18.
- Mathieu, R., 1986. *Sédiments et foraminifères actuels de la marge continentale atlantique du Maroc*. Thèse d'Etat Thesis, Univ. de Paris VI, Paris, 420 pp.
- Mendes, I., Gonzalez, R., Dias, J.M.A., Lobo, F. et Martins, V., 2004. Factors influencing recent benthic foraminifera distribution on the Guadiana shelf (Southwestern Iberia). *Marine Micropaleontology*, 51: 171– 192.
- Milker, Y. *et al.*, 2009. Distribution of recent benthic foraminifera in shelf carbonate environments of the Western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, 73(3-4): 207-225.
- Mojtahid, M. *et al.*, 2006. Benthic foraminifera as bio-indicators of drill cutting disposal in tropical east Atlantic outer shelf environments. *Marine Micropaleontology*, 61(1-3): 58-75.
- Mojtahid, M., Jorissen, F. et Pearson, T.H., 2008. Comparison of benthic foraminiferal and macrofaunal responses to organic pollution in the Firth of Clyde (Scotland). *Marine Pollution Bulletin*, 56(1): 42-76.
- Mojtahid, M. *et al.*, 2009. Spatial distribution of live benthic foraminifera in the Rhône prodelta: Faunal response to a continental–marine organic matter gradient. *Marine Micropaleontology*, 70: 177-200.
- Mojtahid, M., Griveaud, C., Fontanier, C., Anschutz, P. et Jorissen, F.J., 2010a. Live benthic foraminiferal faunas along a bathymetrical transect (140-4800 m) in the Bay of Biscay (NE Atlantic). *Revue de Micropaleontologie*, in press.
- Mojtahid, M., Jorissen, F., Lansard, B. et Fontanier, C., 2010b. Microhabitat selection of benthic foraminifera in sediments off the Rhône river mouth (NW mediterranean) *Journal of Foraminiferal Research*, 40(3): 231-246.
- Moodley, L., Van der Zwaan, G.J., Herman, P.M.J., Kempers, L. and Van Breugel, P., 1997. Differential response of benthic meiofauna to anoxia with special reference to Foraminifera (Protista: Sarcodina). *Marine Ecology Progress Series*, 158: 151-163.
- Morigi, C., Jorissen, F.J., Gervais, A., Guichard, S. and Borsetti, A.M., 2001. Benthic foraminiferal faunas in surface sediments off NW Africa: Relationship with the organic flux to the ocean floor. *Journal of Foraminiferal Research*, 31: 350-368.

- Morigi, C. *et al.*, 2005. Benthic foraminiferal evidence for the formation of the Holocene mud-belt and bathymetrical evolution in the central Adriatic Sea. *Marine Micropaleontology*, 57(1-2): 25-49.
- Murgese, D.S. et De Deckker, P., 2005. The distribution of deep-sea benthic foraminifera in core tops from the eastern Indian Ocean. *Marine Micropaleontology*, 56(1-2): 25-49.
- Murray, J.W., 1991. Ecology and distribution. BENTHOS'90. Tokai University Press, Sendai.
- Murray, J.W., 2006. Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge University Press, Cambridge, 426 pp.
- Ohga, T. and Kitazato, H., 1997. Seasonal changes in bathyal foraminiferal populations in response to the flux of organic matter (Sagami Bay, Japan). *Terra Nova*, 9(1): 33-37.
- Panieri, G., Gamberi, F., Marani, M. et Barbieri, R., 2005. Benthic foraminifera from a recent, shallow-water hydrothermal environment in the Aeolian Arc (Tyrrhenian Sea). *Marine Geology*, 218: 207–229.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- Pont, D., Simonnet, J.P. et Walter, A.V., 2002. Medium-term Changes in Suspended Sediment Delivery to the Ocean: Consequences of Catchment Heterogeneity and River Management (Rhône River, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54(1): 1-18.
- Pujos, M., 1976. Ecologie des foraminifères benthiques et des thecamoebiens de la Gironde et du plateau continental sud-Gasconne. Application à la connaissance du Quaternaire terminal de la région ouest-Gironde. , Mémoires de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, 314 pp.
- Redois, F. et Debenay, J.-P., 1996. Influence du confinement sur la répartition des foraminifères benthiques : exemple de l'estran d'une ria mésotidale de Bretagne méridionale. *Revue de Paléobiologie*, 15(1): 243-260.
- Revsbech, N.P. et Jørgensen, B.B., 1986. Microelectrodes: their use in microbial ecology. *Advances in Microbial Ecology*, 9: 293-352.
- Romano, E. *et al.*, 2008. Industrial pollution at Bagnoli (Naples, Italy): Benthic foraminifera as a tool in integrated programs of environmental characterisation. *Marine Pollution Bulletin*, 56(3): 439-457.
- Schmiedl, G. *et al.*, 2000. Trophic control of benthic foraminiferal abundance and microhabitat in the bathyal Gulf of Lions, western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, 40: 167-188.

- Schmiedl, G. *et al.*, 2003. Benthic foraminiferal record of ecosystem variability in the eastern Mediterranean Sea during times of sapropel S5 and S6 deposition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 190: 139-164.
- Schönfeld, J., 2002. Recent benthic foraminiferal assemblages in deep high-energy environments from Gulf of Cadiz (Spain). *Marine Micropaleontology*, 44: 141–162.
- Scott, D.B. *et al.*, 2005. Pollution monitoring in two North American estuaries: Historical reconstructions using benthic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 35: 65-82.
- Sen Gupta, B.K. et Machain-Castillo, M.L., 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20(3-4): 183-201.
- Snider, L.J., Burnett, B.R. and Hessler, R.R., 1984. The composition and distribution of meiofauna and nanobiota in a central North Pacific deep-sea area. *Deep Sea Research Part A*, 31(10): 1225-1249.
- Spindler, M., 1980. The pelagic golfweed *Sargassum natans* as a habitat for the benthic foraminifera *Planorbulina acervalis* et *Rosalina globularis*. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Monatshefte* 9: 569–580.
- Szarek, R., Nomaki, H. et Kitazato, H., 2007. Living deep-sea benthic foraminifera from the warm and oxygen-depleted environment of the Sulu Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(1-2): 145-176.
- Thill, A. *et al.*, 2001. Evolution of particle size and concentration in the Rhône river mixing zone: influence of salt flocculation. *Continental Shelf Research*, 21(18-19): 2127-2140.
- van der Zwaan, G.J. *et al.*, 1999. Benthic foraminifera: proxies or problems? A review of paleoecological concepts. *Earth-Sciences Reviews*, 46: 213-236.
- van der Zwaan, G.J. et Jorissen, F.J., 1991. Biofacial patterns in river-induced shelf anoxia. In: R.V. Tyson et T.H. Pearson (Editors), *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. Geological Society Special Publication No 58, London, pp. 65-82.
- Venéc-Peyré, M.T., 1984. Ecologie des foraminifères en Méditerranée nordoccidentale. N. Étude de la distribution des Foraminifères vivant dans la Baie de Banyuls-Sur-Mer. In: J.J. Bizon et P.F. Burollet (Editors), *Ecologie des Microorganismes en Méditerranée Occidentale 'ECOMED'*. Association Française des Techniciens du Pétrole (AFTP), Paris, pp. 60–80.
- Villanueva Guimerans, P. et Cervera Currado, J.L., 1999. Distribution of *Planorbulinacea* (benthic foraminifera) assemblages in surface sediments on the northern margin of Gulf of Cadiz. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 15: 181– 190.

Zuo, Z., Eisma, D., Gieles, R. et Beks, J., 1997. Accumulation rates and sediment deposition in the northwestern Mediterranean. *Deep-Sea Research II*, 44(34): 597-609.

ANNEXES

ANNEXE 1 :

Planches photographiques des espèces majeures des zones d'études LR-PACA et Corse.

ANNEXE 2 :

Fiches individuelles des stations de la zone d'étude LR-PACA.

ANNEXE 3 :

Fiches individuelles des stations de la zone d'étude Corse.

ANNEXE 4 :

Classement des états écologiques des masses d'eau des zones d'étude LR-PACA et Corse d'après l'indice foraminifères.

ANNEXE 5 :

Carte de la zone d'étude LR-PACA représentant les classes d'état écologique des stations étudiées.

ANNEXE 6 :

Carte de la zone d'étude Corse représentant les classes d'état écologique des stations étudiées.

ANNEXE 1

Planches photographiques prises au microscope électronique à balayage des espèces majeures des zones d'études LR-PACA et Corse.

PLANCHE 1

Espèces tolérantes

(barres d'échelle = 100µm, sauf pour 1b où barre d'échelle = 10µm)

1 – *Rectuvigerina phlegeri*, Marseille Jetée.

2 – *Valvulineria bradyana*, Carteau, 2a : face dorsale, 2b : vue de l'ouverture, 2c : face ventrale.

3 – *Cancris auriculus*, Marseille Jetée, 3a : face dorsale, 3b : face ventrale.

4 – *Nonion scaphum*, Grau du Roi, 4a : vue de face, 4b : vue de l'ouverture.

5 – *Bulimina aculeata*, Menton.

6 – *Nonionella turgida*, Leucate, 6a : face dorsale, 6b : vue de l'ouverture, 6c : face ventrale.

7 – *Nonion depressulum*, Leucate, 7a : vue de face, 7b : vue de l'ouverture.

8 – *Reophax scottii*, Leucate.

9 – *Pseudoeponides falsobeccarii*, Menton, 9a : face dorsale, 9b : vue de l'ouverture, 9c : face ventrale.

PLANCHE 1

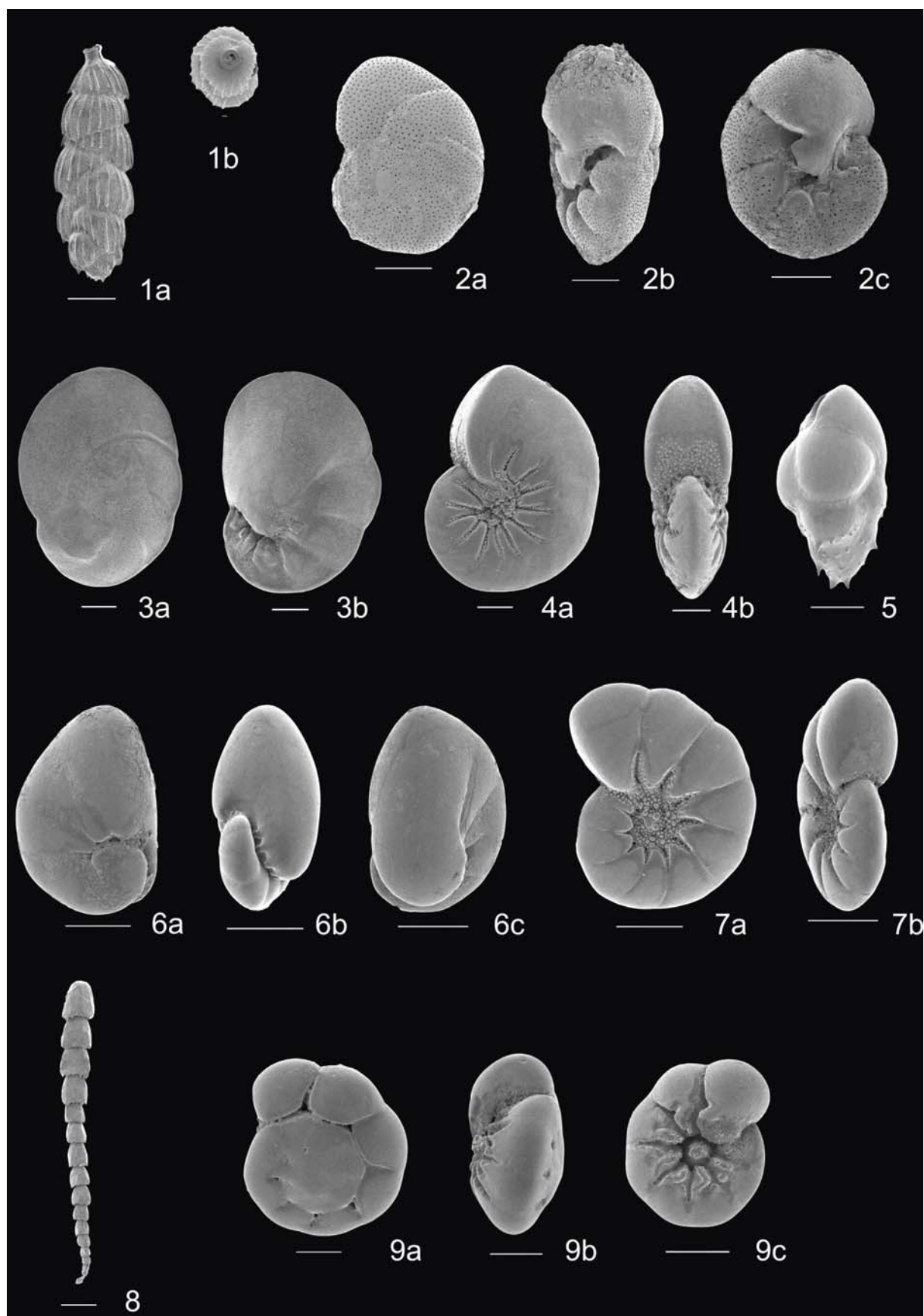


PLANCHE 2

Espèces épiphytes (appartenant au groupe des espèces sensibles)
(barres d'échelle = 100µm)

1 – *Asterigerinata mamilla*, Marseille Jetée, 1a : face dorsale, 1b : vue de l'ouverture, 1c : face ventrale.

2 – *Hanzawaia boueana*, Marseille Jetée, 2a : face dorsale, 2b : face ventrale.

3 – *Planorbulina mediterraneensis*, Carry.

4 – *Cibicides lobatulus*, Marseille Jetée/Carry, 4a : face dorsale, 4b : vue de l'ouverture, 4c : face ventrale.

5 – *Spirillina* sp., Fréjus.

6 – *Rosalina bradyi*, Santa Manza, 6a : face dorsale, 6b : face ventrale.

7 – *Rosalina globularis*, Marseille Jetée, 7a : face dorsale, 7b : face ventrale.

8 – *Reusella spinulosa*, Marseille Jetée.

9 – *Neoconorbina terquemi*, Pampelone, 9a : face dorsale, 9b : vue de l'ouverture, 9c : face ventrale.

PLANCHE 2

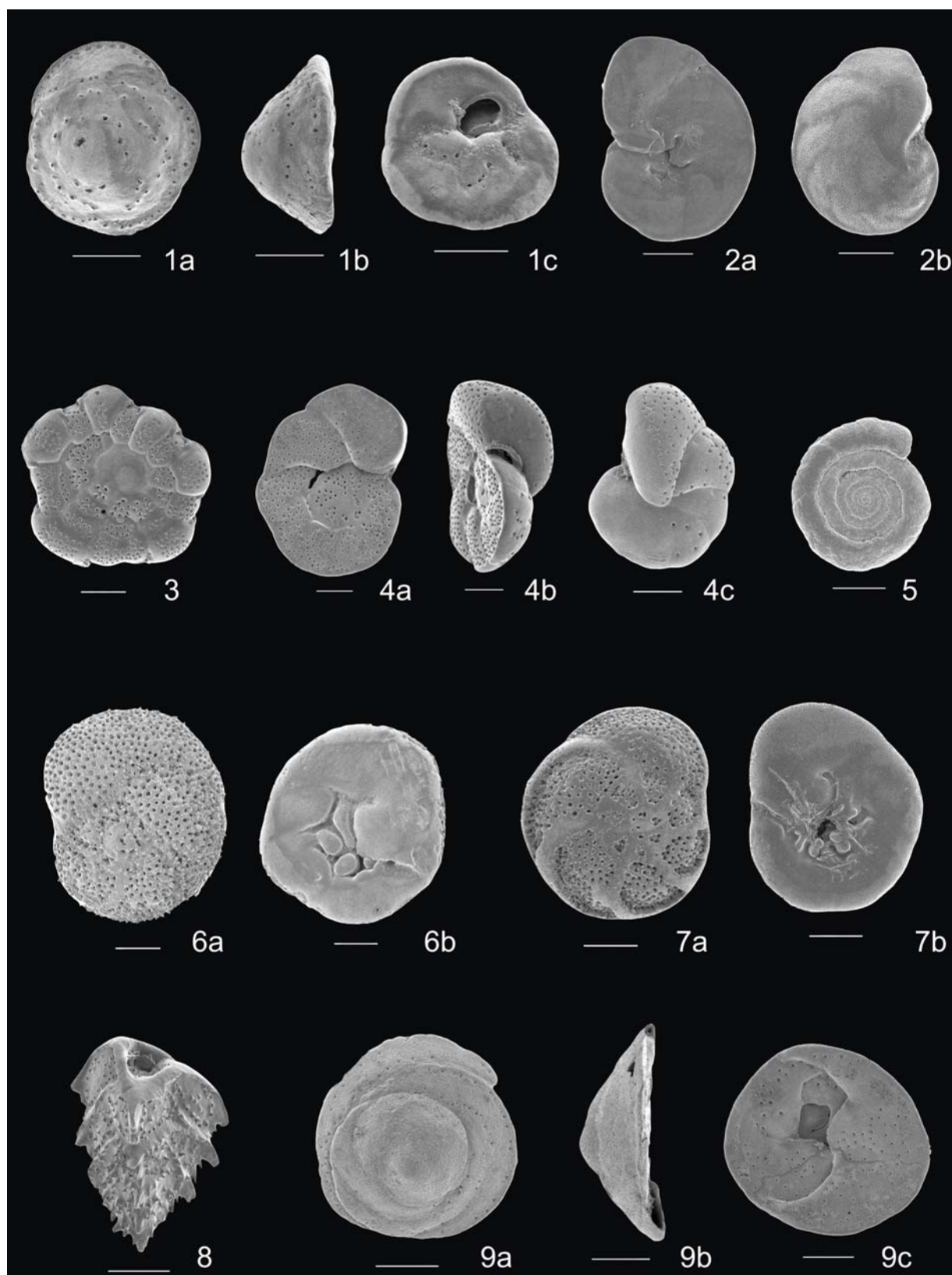


PLANCHE 3

Espèces sensibles (barres d'échelle = 100µm)

1 – *Elphidium crispum*, Grau du Roi, 1a : vue de face, 1b : vue de l'ouverture.

2 – *Elphidium poeyanum* f. *decipiens*, Marseille Jetée, 2a : vue de face, 2b : vue de l'ouverture.

3 – *Elphidium granosum* f. *lidoense*, Beauduc, 3a : vue de face, 3b : vue de l'ouverture.

Autres espèces hyalines (barres d'échelle = 100µm)

4 – *Astrononion stelligerum*, Fréjus/Toulon Grande Rade, 4a : vue de face, 4b : vue de l'ouverture.

5 – *Ammonia parkinsoniana* f. *tepida*, Beauduc, 5a : face dorsale (noter la déformation de la dernière loge), 5b : vue de l'ouverture, 5c : face ventrale.

6 – *Ammonia beccarii* f. *beccarii*, Grau du Roi, 6a : face dorsale, 6b : vue de l'ouverture, 6c : face ventrale.

6 – *Buccella granulata*, Agde Est, 6a : face dorsale, 6b : vue de l'ouverture, 6c : face ventrale.

PLANCHE 3

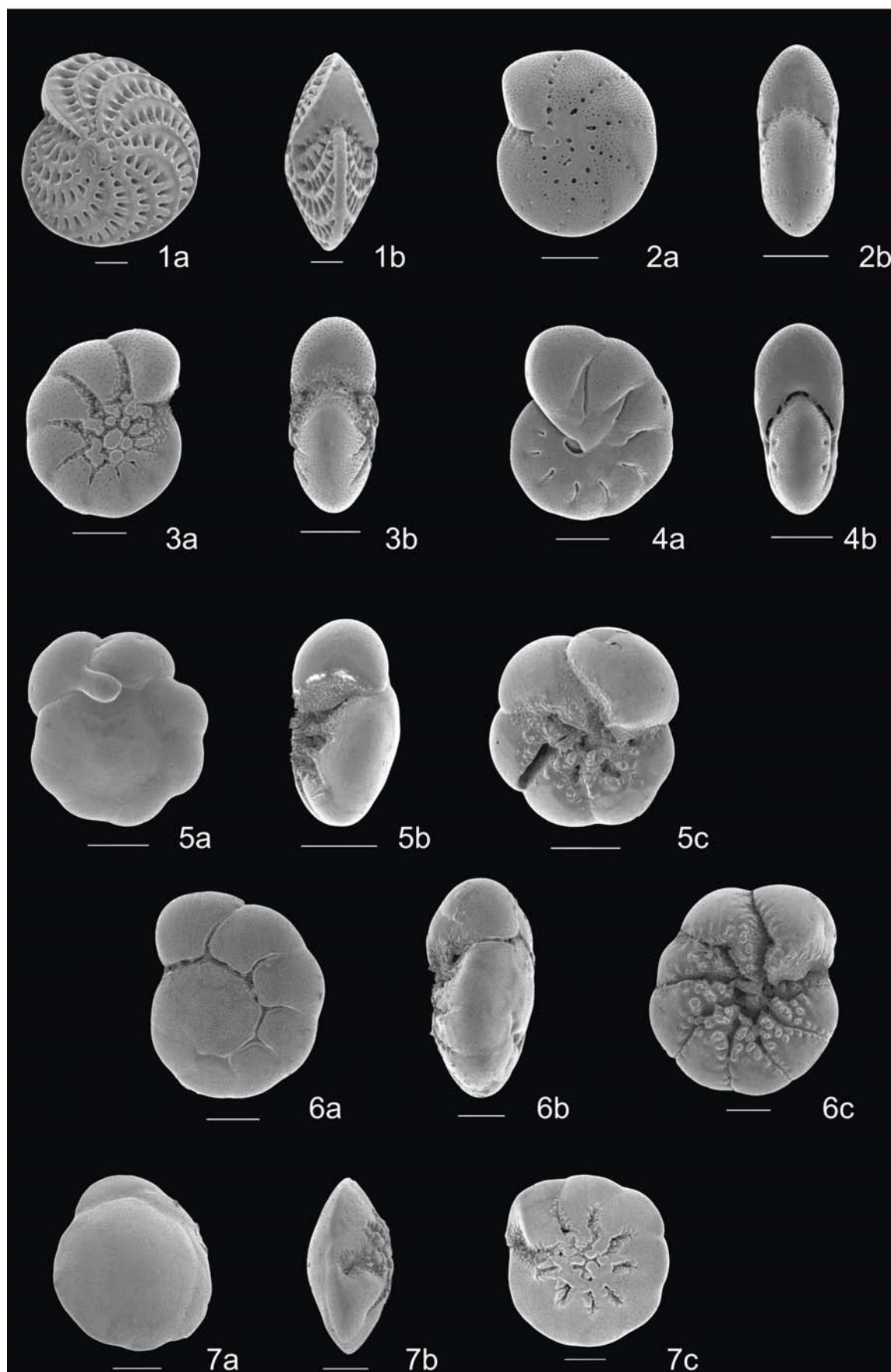


PLANCHE 4

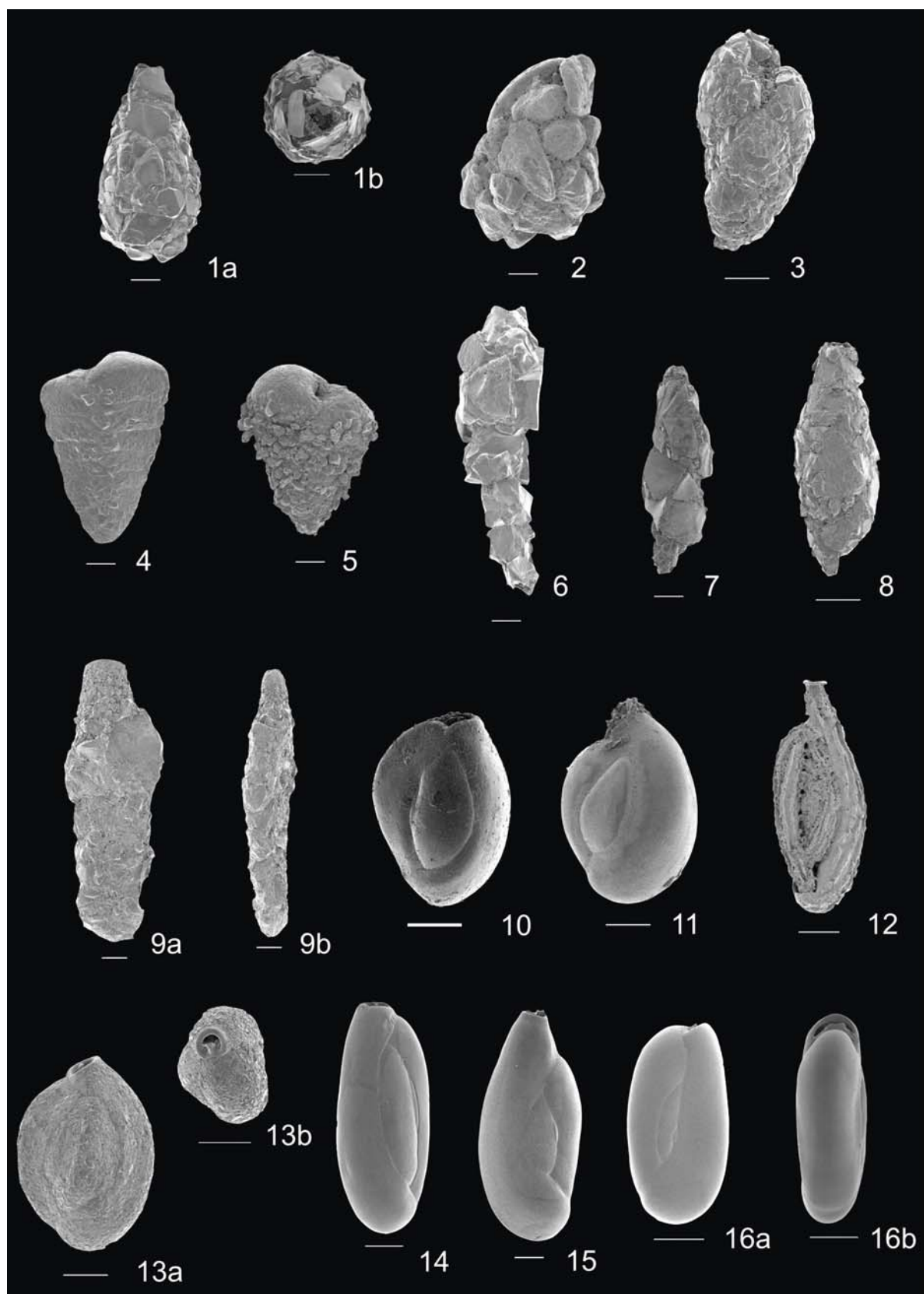
Espèces agglutinées
(barres d'échelle = 100µm)

- 1 – *Lagenammia* sp. a, Fréjus, 1a : vue de face, 1b : vue de l'ouverture.
- 2 – *Lagenammia* sp. b, Marseille Jetée.
- 3 – *Eggerella scabra*, Grau du Roi.
- 4 – *Textularia sagittula*, Marseille Jetée.
- 5 – *Textularia agglutinans*, Marseille Jetée.
- 6 – *Reophax scorpiurus*, Marseille Jetée.
- 7 – *Reophax fusiformis*, Fréjus.
- 8 – *Reophax subfusiformis*, Grau du Roi.
- 9 – *Ammoscalaria pseudospiralis*, Carteau, 9a : vue de face, 9b : vue de côté.

Espèces porcelanées (appartenant au groupe des espèces sensibles)
(barres d'échelle = 100µm)

- 10 – *Quinqueloculina seminula*, delta du Rhône (station 10, 80m) (Mojtahid et al., 2009).
- 11 – *Triloculina trigonula*, Grau du Roi.
- 12 – *Sigmoilina grata*, Fréjus.
- 13 – *Quinqueloculina aspera*, Agde Est, 13a : vue de face, 13b : vue de l'ouverture.
- 14 – *Quinqueloculina boschiana*, Antibes Nord.
- 15 – *Adelosina longirostra*, Calvi.
- 16 – *Miliolinella oblonga*, Ajaccio Sud, 16a : vue de face, 16b : vue de l'ouverture.

PLANCHE 4



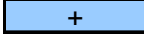


ANNEXE 2

Fiches individuelles des stations de la zone d'étude LR-PACA.

Légende :

- * FI : Foraminiferal Index
- ** EQ : Ecological Quality
- *** ODP : Oxygen Penetration depth
- ****ALD : Average Living Depth

	Détérioration des conditions écologiques au cours du temps
	Conditions écologiques stables au cours du temps
	Amélioration des conditions écologiques au cours du temps

Nom de la station :**Cerbère****Code masse d'eau :****FRDC01**

Nom de la masse d'eau :

Frontière espagnole - Racou Plage

Coordonnées :

3.10.352 °E

42.26.723 °N

Classe d'état de la station**FI*** :

1.6

EQ** :

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	26
% MO :	2.20
% <63µm :	4.56
% 63-250µm :	26.77
% >250µm :	68.67
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

1.90
44.76
14.29

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

=
-
=
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

28.57
29.52
41.90

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

132
32
3.02
0.87

Faune morte (3-4cm)

7744
39
3.15
0.86

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Escab</i>	17.1
<i>LagenamA</i>	10.5
<i>Qasp</i>	8.6
<i>Ttrigo</i>	6.7
<i>Cloba</i>	5.7

Faune morte (3-4cm)

<i>Cloba</i>	13.2
<i>Qsemi</i>	12.0
<i>Ecris</i>	9.1
<i>Qasp</i>	7.0
<i>Amami</i>	6.2
<i>Rglob</i>	5.4
<i>Qlam</i>	5.0

Synthèse environnement :

Le sédiment de Cerbère est caractérisé par une dominance de sables moyens et particulièrement peu d'argiles et silts.

Synthèse faune vivante :

La faune à cette station est bien équilibrée en terme de densité par espèce et nombre d'espèces. Les espèces dominantes sont des espèces agglutinées (*Eggerella scabra* et *Lagenammina* sp. A). Les espèces porcelanées sont aussi bien représentées par les espèces *Quinqueloculina aspera*, *Triloculina trigonula* et *Adelosina longirostra*. Les espèces tolérantes sont quasiment absentes de la faune. La faune à cette station est proche de celle de Collioure.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Il n'y a pas de changement spécifique important entre la faune morte et la faune vivante à cette station. *Cibicides lobatulus*, *Q. aspera* et *Rosalina globularis* représentent plus de 5% de la densité totale (foraminifères non fossilisables non considérés) dans les 2 cas. *Quinqueloculina seminula*, qui est plus présente dans la faune morte, est remplacée par *T. trigonula* dans la faune vivante. *Elphidium crispum* est présente dans la faune morte mais quasiment absente de la faune vivante. Malgré ces légers changements, il ne semble pas y avoir de changement environnemental important au niveau de cette station.

Nom de la station :**Collioure****Code masse d'eau :****FRDC01**

Nom de la masse d'eau :

Frontière espagnole - Racou Plage

Coordonnées :

3.05.366 °E

42.31.903 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

2.4

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	23
% MO :	1.37
% <63µm :	2.89
% 63-250µm :	53.75
% >250µm :	43.35
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	1.4
Groupe :	B

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

2.67
62.03
1.60

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

=
+
-
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

8.56
57.75
33.69

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

237
26
1.96
0.60

Faune morte (3-4cm)

3536
48
3.35
0.87

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Ttrigo</i>	47.1
<i>LagenamA</i>	17.1
<i>Escab</i>	12.3

Faune morte (3-4cm)

<i>Ttrigo</i>	11.8
<i>Qasp</i>	9.5
<i>Eadv</i>	7.7
<i>Ecris</i>	6.3
<i>Abec</i>	5.9
<i>Along</i>	5.4
<i>Bgran</i>	5.0

Synthèse environnement :

Environnement de sables fins et moyens, plutôt oligotrophe, probablement non limité en oxygène. Distribution verticale des foraminifères tout le long de la carotte mais maximum de densité entre 0 et 1.5cm de profondeur.

Synthèse faune vivante :

La faune de Collioure est relativement proche de celle de Cerbère avec *Triloculina trigonula*, *Lagenammia* sp. A et *Eggerella scabra* comme espèces dominantes. Les foraminifères hyalins dont les foraminifères épiphytes sont très peu présents. La forte proportion d'espèces porcelanées et d'espèces sensibles en général tend à confirmer que le milieu est oligotrophique et bien oxygéné.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

La faune morte comprend plus de foraminifères hyalins et en particulier des espèces épiphytes (*Elphidium crispum*, *E. advenum* et *Rosalina* spp.) qui sont quasiment absentes de la faune vivante. Ceci suggère une diminution historique des surfaces d'herbiers. Les espèces tolérantes sont peu représentées à cette station, que ce soit dans le passé ou dans l'actuel.

Nom de la station :**Leucate****Code masse d'eau :****FRDC02a**

Nom de la masse d'eau :

Racou plage - Embouchure de l'Aube

Coordonnées :

3.04.00 °E

42.51.15 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

45.7

EQ :**

Médiocre

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	22
% MO :	1.72
% <63µm :	19.73
% 63-250µm :	77.72
% >250µm :	2.55
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	2.2
Groupe :	B

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

46.28
20.92
0.89

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

-
-
=
=

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

46.81
18.62
34.57

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

709
36
2.71
0.76

**Faune morte
(3-4cm)**

19520
38
2.73
0.75

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

Ndepres	18.4
Nturg	16.1
Escab	14.4
Ttrigo	8.9
Rscot	6.7

**Faune morte
(3-4cm)**

Atep	29.8
Ttrigo	13.8
Hgerm	5.2
Qsemi	5.2

Synthèse environnement :

Environnement de sables très fins, plutôt oligotrophe, probablement non limitant en oxygène. Distribution verticale des foraminifères tout le long de la carotte, BBL épaisse donc interprétation faune morte peu précise.

Synthèse faune vivante :

Faune dominée par 2 espèces hyalines, *N. depressulum* et *N. turgida*. Cette station présente le plus fort % d'espèces tolérantes de la zone d'étude malgré une proportion de particules <63µm inférieure à 20%. Selon le FI et les autres paramètres faunistiques, cette station est de mauvaise qualité écologique.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Légère diminution des espèces sensibles mais augmentation importante de la proportion de foraminifères porcelanés dans le temps. Le % des espèces tolérantes a fortement augmenté et la densité de faune vivante est très élevée => augmentation de la concentration en MO, eutrophisation du milieu. *A. tepida* et surtout *H. germanica*, uniquement présentes dans la faune morte, sont caractéristiques de milieux lagunaires sous influence continentale (Debenay et al., 2000). Leucate se situe devant une lagune qui était possiblement ouverte dans le passé et désormais fermée. Cependant, cette interprétation reste hypothétique (BBL importante).

Nom de la station :

Gruissan

Code masse d'eau :

FRDC02a

Nom de la masse d'eau :

Racou plage - Embouchure de l'Aube

Coordonnées :

3.12.267 °E

43.09.197 °N

Classe d'état de la station

FI* :

8.2

EQ :**

Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	21.5
% MO :	2.30
% <63µm :	42.36
% 63-250µm :	55.98
% >250µm :	1.67
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

11.11
24.84
2.61

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

18.30
20.92
60.78

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

387
24
2.25
0.71

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Escab</i>	34.3
<i>LagenamA</i>	17.6
<i>Qasp</i>	9.8
<i>Ttrigo</i>	8.8

Synthèse environnement :

Station caractérisée par un sédiment silto-sableux. Le sédiment a été lessivé lors de la remontée du Reineck à bord du bateau.

Synthèse faune vivante :

La faune est dominée par le groupe des foraminifères agglutinés, en particulier par *Eggerella scabra* et *Lagenammina sp. A.* comme c'était le cas à Cerbère. Il y a peu de foraminifères épiphytes et les espèces tolérantes sont représentées par *Bulimina aculeata*, *Nonion depressulum* et *Nonionella turgida*.

Nom de la station :**Agde Ouest****Code masse d'eau :****FRDC02c**

Nom de la masse d'eau :

Cap d'Agde

Coordonnées :

3.28.27 °E

43.14.35 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

1.2

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	18
% MO :	1.36
% <63µm :	18.70
% 63-250µm :	80.34
% >250µm :	0.97
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

2.21
22.55
8.58

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

=
-
=
=

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

28.92
13.73
57.35

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

516
32
2.56
0.74

**Faune morte
(3-4cm)**

2784
32
3.01
0.87

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Escab</i>	31.6
<i>Bgran</i>	11.3
<i>Pfusc</i>	10.3
<i>Ttrigo</i>	5.4

**Faune morte
(3-4cm)**

<i>Ttrigo</i>	13.2
<i>Abecc</i>	12.1
<i>Ecris</i>	8.0
<i>Qasp</i>	8.0
<i>Amami</i>	6.3
<i>Eadv</i>	5.2

Synthèse environnement :

Le sédiment de cette station est caractérisé par des sables très fins et fins.

Synthèse faune vivante :

La faune vivante est dominée par les espèces agglutinées *Eggerella scabra* et *Psammosphaera fusca* et l'espèce épiphyte *Buccella granulata*. La faible proportion d'espèces porcelanées et d'espèces épiphytes fait que les espèces sensibles sont relativement peu représentées en comparaison aux autres stations de la zone d'étude.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

La composition spécifique ne change que peu entre la faune morte et la faune vivante à l'exception de différentes espèces d'*Elphidium* (*crispum*, *poeyanum*, *granosum*, *aculeatum*) qui sont totalement absentes de la faune vivante et représentent ensemble 12.6% de la densité totale de la faune morte. Si l'on considère les espèces indicatrices sans prendre en compte les foraminifères non fossilisables, il n'y a pas de changement notable dans le pourcentage des espèces tolérantes ou épiphytes et seulement une légère diminution des espèces sensibles au cours du temps. D'après nos données, les conditions écologiques à cette station étaient et sont toujours de très bonne qualité.

Nom de la station : Agde Est
Code masse d'eau : FRDC02c
Nom de la masse d'eau : Cap d'Agde

Coordonnées :

3.32.39 °E
43.16.29 °N

Classe d'état de la station

FI* : 1.9

EQ :** Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	21
% MO :	1.57
% <63µm :	8.45
% 63-250µm :	84.56
% >250µm :	6.99
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-4 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	1.8
Groupe :	B

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

2.42
34.78
0.00

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

=
+
=
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

11.11
34.78
54.11

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

260
20
1.95
0.65

Faune morte (3-4cm)

6944
30
2.76
0.81

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Escab</i>	42.0
<i>Qasp</i>	17.9
<i>Ttrigo</i>	13.5
<i>Bgran</i>	5.3

Faune morte (3-4cm)

<i>Qasp</i>	19.4
<i>Ttrigo</i>	12.9
<i>Bgran</i>	12.0
<i>Ecris</i>	9.7
<i>Abec</i>	6.0

Synthèse environnement :

Environnement de sables fins, plutôt oligotrophe, probablement non limité en oxygène. Distribution verticale des foraminifères tout le long de la carotte, BBL épaisse donc interprétation faune morte moins précise.

Synthèse faune vivante :

L'espèce *Eggerella scabra* est largement dominante avec 42% de la faune totale, suivi des espèces *Quinqueloculina aspera* et *Triloculina trigonula*, ces 2 dernières constituant la quasi-totalité des foraminifères porcelanés. Aucun foraminifère épiphyte n'a été identifié à cette station. Le nombre de foraminifères tolérants est également faible.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Cette station présente une distribution verticale des foraminifères vivants dans le sédiment très homogène et la comparaison entre faune morte et vivante ne montre pas de différence exceptée pour les foraminifères porcelanés qui doit être relativisée par le problème de conservation de ce type de tests. Compte-tenu de l'épaisseur de la BBL et du message peu clair de la faune morte, il n'est pas possible d'aller plus loin dans l'interprétation des conditions à cette station.

Nom de la station :

Code masse d'eau :

Nom de la masse d'eau :

Sète

FRDC02e

Sète - Frontignan

Coordonnées :

3.42.680 °E

43.22.634 °N

Classe d'état de la station

FI* :

4.7

EQ** :

Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	20
% MO :	2.30
% <63µm :	30.35
% 63-250µm :	62.05
% >250µm :	7.60
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

6.54
21.25
4.63

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

-
-
=
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

28.61
14.99
56.40

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

461
37
2.59
0.72

**Faune morte
(3-4cm)**

11936
36
2.99
0.84

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Escab</i>	34.6
<i>Abecc</i>	11.4
<i>Ttrigo</i>	6.0

**Faune morte
(3-4cm)**

<i>Abecc</i>	19.8
<i>Atep</i>	8.0
<i>Ttrigo</i>	7.0
<i>Ecris</i>	6.7
<i>Epoey</i>	6.2
<i>Aadv</i>	5.4
<i>Qsemi</i>	5.4

Synthèse environnement :

Environnement sablo-silteux.

Synthèse faune vivante :

La faune de la station est dominée par l'espèce *Eggerella scabra* puis par *Ammonia beccarii* f. *beccarii*. Les espèces porcelanées sont minoritaires en comparaison aux 2 autres groupes. Il y a relativement peu d'espèces sensibles en comparaison des autres stations de la zone d'étude et très peu d'espèces épiphytes. Les espèces tolérantes sont principalement représentées par *Bulimina aculeata* et *Nonion scaphum*.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

La différence majeure entre la faune morte et vivante est la disparition quasi-totale des espèces d'*Elphidium* spp. et l'apparition de l'espèce *Bulimina aculeata*. Ceci se traduit par une augmentation du nombre de foraminifères du groupe tolérant et un diminution du nombre des foraminifères sensibles. Les conditions écologiques semblent donc s'être légèrement dégradées tout en restant de bonne qualité.

Nom de la station :**Grau du Roi****Code masse d'eau :****FRDC02f**

Nom de la masse d'eau :

Frontignan - Pointe de l'Espiguette

Coordonnées :

4.03.20 °E

43.31.56 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

-1.1

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	15
% MO :	3.28
% <63µm :	67.92
% 63-250µm :	32.08
% >250µm :	0.00
ODP*** (mm) :	7

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-10 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	1.0
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

7.07
60.51
0.24

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

=
+
=
=

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

78.74
3.02
18.24

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

2091
33
1.86
0.53

Faune morte (3-4cm)

2312
26
2.48
0.76

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Ecris</i>	54.6
<i>Abecc</i>	11.4
<i>Rsubfus</i>	7.5

Faune morte (3-4cm)

<i>Ecris</i>	22.5
<i>Atep</i>	19.7
<i>Abecc</i>	14.9
<i>Epoey</i>	8.7

Synthèse environnement :

Environnement silteux, mésotrophe avec une profondeur de pénétration d'oxygène limitée. Maximum de densité de foraminifères en surface du sédiment (60% de la faune dans l'intervalle 0-0.5cm), BBL mince, bonne conservation des tests morts donc interprétation fiable de la faune morte.

Synthèse faune vivante :

La faune de cette station présente les plus faibles indices de Shannon et d'équitabilité de la zone d'étude du fait de la large dominance de l'espèce *Elphidium crispum*. Cette espèce est à l'origine du fort % d'espèces sensibles sachant qu'il y a très peu d'espèces épiphytes et porcelanées. On note la présence d'espèces tolérantes telles que *Bulimina* spp., *Nonion* spp., *Nonionella* spp. en densité relative suffisamment faible pour conserver un bon état de la station.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Le genre *Elphidium* est aussi bien représenté dans la faune morte que dans la faune vivante. La faune morte est aussi caractérisée par la présence d'*Ammonia parkinsoniana* f. *tepida*. Le % des différentes espèces indicatrices ne change que très peu excepté pour les espèces sensibles qui augmente uniquement du fait de la forte densité d'*Elphidium crispum*. Il est cependant fort probable que le fort développement de cette espèce soit dû à un effet saisonnier qui est dilué au niveau de la faune morte qui moyenne la réponse des faunes de plusieurs saisons.

Nom de la station : **Beauduc**
Code masse d'eau : **FRDT21**
Nom de la masse d'eau : Delta du Rhône

Coordonnées :

4.30.13 °E

43.24.80 °N

Classe d'état de la station

FI* : 2.9

EQ :** Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	14
% MO :	1.68
% <63µm :	87.52
% 63-250µm :	12.48
% >250µm :	0.00
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	1.6
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

17.79
18.40
1.23

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

-
-
=
-

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

49.08
2.45
48.47

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

209
21
2.62
0.86

Faune morte (3-4cm)

5344
29
2.70
0.80

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Pfusc</i>	17.8
<i>Nscap</i>	14.1
<i>Egran</i>	9.8
<i>Abecc</i>	8.6
<i>Escab</i>	8.6
<i>Rfusif</i>	8.0
<i>LagenamA</i>	6.1

Faune morte (3-4cm)

<i>Qsemi</i>	15.0
<i>Epoey</i>	13.2
<i>Egran</i>	12.0
<i>Ecris</i>	10.5
<i>Abecc</i>	9.6
<i>Atep</i>	7.5
<i>Aadv</i>	5.7
<i>Ttrigo</i>	5.7

Synthèse environnement :

Environnement silto-vaseux, mésotrophe avec une profondeur de pénétration d'oxygène limitée. Maximum de densité de foraminifères en surface du sédiment, BBL peu épaisse, bonne conservation des tests morts donc interprétation fiable de la faune morte.

Synthèse faune vivante :

Beauduc est composé de très peu de foraminifères porcelanés ce qui est concordant avec la granulométrie très fine. *Nonion scaphum*, et dans une moindre mesure *Bulimina* spp., *Nonionella turgida*, *Rectuvigerina phlegeri* et *Nonion depressulum* contribuent au fort pourcentage d'espèces tolérantes observé à cette station. Cependant, compte-tenu de la granulométrie du sédiment, cette station est toutefois classée de très bonne qualité écologique.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Les espèces *E. crispum* (espèce sensible) et *Q. seminula* et *T. trigonula* (espèces porcelanées) ont totalement disparu de la faune vivante ce qui évoque un envasement récent du milieu. De plus, les espèces tolérantes, en particulier *N. scaphum* qui est un marqueur de stress environnemental, présentent un pourcentage plus important dans les faunes vivantes que dans les faunes mortes ce qui signifierait une augmentation du contenu en MO. Probable changement de l'hydrodynamisme à cette station : des conditions de fort hydrodynamisme (présence du filtreur *E. crispum*) ont changé vers un milieu de dépôt de vase. Ceci est très probablement dû à l'avancement naturel d'un corps vaseux déposé par des apports sédimentaires du panache du Rhône.

Nom de la station : **Faraman**
Code masse d'eau : **FRDT21**
Nom de la masse d'eau : Delta du Rhône

Coordonnées :

4.43.213 °E

43.20.001 °N

Classe d'état de la station

FI* : -0.4

EQ** : Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	10
% MO :	1.08
% <63µm :	6.16
% 63-250µm :	92.35
% >250µm :	1.49
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

0.00
27.27
0.00

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

31.82
27.27
40.91

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

27
5
1.31
0.81

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)	
<i>Escab</i>	40.9
<i>Bgran</i>	27.3
<i>Qasp</i>	22.7

Synthèse environnement :

Environnement de sables très fins et fins. Le carottier Reineck a été fortement lessivé lors de la remontée à bord du bateau.

Synthèse faune vivante :

Il est probable que le lessivage du sédiment ait causé aussi la perte d'une partie des foraminifères ce qui pourrait expliquer la faible densité et richesse spécifique observées dans cette carotte. D'après les foraminifères récoltés, il n'y a pas d'espèces tolérantes présentes d'où le très bon état écologique déterminé pour cette station. Cependant, ces résultats sont à considérer avec précaution compte-tenu du biais d'échantillonnage probable.

Nom de la station :

Code masse d'eau :

Nom de la masse d'eau :

Carteau

FRDC04

Golfe de Fos

Coordonnées :

4.53.73 °E

43.23.13 °N

Classe d'état de la station

FI* :

25.9

EQ** :

Moyen

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	10
% MO :	5.91
% <63µm :	80.80
% 63-250µm :	19.20
% >250µm :	0.00
ODP*** (mm) :	6

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-10 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	1.3
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

35.06
16.02
1.30

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

—
—
=
—

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

49.35
14.29
36.36

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

287
28
2.51
0.75

**Faune morte
(3-4cm)**

1144
51
3.14
0.80

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

Vbrad	20.3
Apseudo	19.0
Along	10.4
Escab	7.8
Abec	7.4
Nscap	7.4

**Faune morte
(3-4cm)**

Vbrad	16.4
Ttrigo	10.8
Along	9.1
Nturg	8.4
Abec	6.3

Synthèse environnement :

Environnement silto-vaseux, eutrophe avec une profondeur de pénétration d'oxygène très limitée. Maximum de densité de foraminifères en surface du sédiment, BBL peu épaisse, bonne conservation des tests morts donc interprétation fiable de la faune morte.

Synthèse faune vivante :

Valvulineria bradyana, espèce tolérante, est dominante à cette station. Cette espèce apparaît aussi aux stations Monaco, Toulon Grande Rade et Menton. Les espèces tolérantes sont bien représentées à Carteau et il y a relativement peu de foraminifères sensibles. L'état écologique à cette station est donc de qualité moyenne.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Cette station, située proche de l'embouchure du Rhône, présente probablement un taux de sédimentation élevé. Les faunes mortes sont bien conservées mais correspondent vraisemblablement à un passé assez proche d'où cette forte ressemblance entre les faunes mortes et vivantes (indice de similarité de Renkonen de 61% ; Krebs, 1999). De manière générale, le pourcentage d'espèces tolérantes à cette station, autant dans la faune morte que vivante, évoque des conditions eutrophes ce qui est confirmé par le fort taux de matière organique (6%). De plus, l'augmentation du % d'espèces tolérantes au cours du temps suggère que les conditions écologiques se sont dégradées récemment.

Nom de la station :**Fos****Code masse d'eau :****FRDC04**

Nom de la masse d'eau :

Golfe de Fos

Coordonnées :

4.55.76 °E

43.21.64 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

16.9

EQ :**

Moyen

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	20.8
% MO :	3.10
% <63µm :	73.57
% 63-250µm :	21.33
% >250µm :	5.10
ODP*** (mm) :	6

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

24.93
23.84
0.82

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

-
=
=
-

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

67.67
4.93
27.40

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

459
39
2.83
0.77

**Faune morte
(3-4cm)**

5584
34
2.73
0.77

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Abecc</i>	18.6
<i>Nscap</i>	14.5
<i>Epoey</i>	14.0
<i>Apseudo</i>	5.5
<i>LagenamA</i>	5.2

**Faune morte
(3-4cm)**

<i>Abecc</i>	27.8
<i>Eadv</i>	9.7
<i>Epoey</i>	8.9
<i>Qsemi</i>	6.6
<i>Ecris</i>	6.0
<i>Atep</i>	5.7

Synthèse environnement :

Environnement argilo-silteux avec une faible pénétration de l'oxygène dans le sédiment.

Synthèse faune vivante :

La proportion de foraminifères porcelanés est très faible tandis que les hyalins dominent la faune. Les espèces épiphytes sont quasiment absentes et les espèces tolérantes représentent 25% de la densité totale. Celles-ci sont composées principalement d'individus de *Nonion scaphum*, *Rectuvigerina phlegeri* et *Valvulineria bradyana*. Les conditions à cette station sont donc eutrophisées.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Comme c'était le cas au Grau du Roi, *Ammonia parkinsoniana* f. *tepida* est présente dans la faune morte tandis qu'elle est quasiment absente de la faune vivante. Les espèces tolérantes *R. phlegeri*, *V. bradyana* et *N. scaphum* ont une densité relative bien plus forte dans la faune vivante que dans la faune morte. Cette augmentation de la densité d'espèces tolérantes et la diminution des espèces porcelanées au profit des formes hyalines montrent une dégradation des conditions écologiques à la station Fos.

Nom de la station : Carry
Code masse d'eau : FRDC05
Nom de la masse d'eau : Côte bleue

Coordonnées :

5.09.63 °E

43.18.66 °N

Classe d'état de la station

FI* : 33.73

EQ :** Moyen

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	48
% MO :	3.54
% <63µm :	26.28
% 63-250µm :	31.82
% >250µm :	41.90
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-6 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	2.3
Groupe :	B

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

34.77
31.90
24.14

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

-
-
-
-

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

62.36
7.76
29.89

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

439
46
3.07
0.80

Faune morte (3-4cm)

99840
62
3.48
0.84

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Cauri</i>	16.4
<i>Nscap</i>	14.9
<i>LagenamA</i>	8.3
<i>Apseudo</i>	7.2
<i>Cloba</i>	5.5

Faune morte (3-4cm)

<i>Cloba</i>	12.1
<i>Taggl</i>	6.9
<i>Amami</i>	6.7
<i>Hboue</i>	5.6
<i>Ttrigo</i>	5.1

Synthèse environnement :

Sédiment composé d'un mélange homogène de silts, sables fins et grossiers, probablement non limité en oxygène. Distribution verticale des foraminifères tout le long de la carotte, BBL épaisse donc interprétation faune morte peu précise.

Synthèse faune vivante :

Les 2 espèces dominantes à cette station sont des espèces tolérantes, *Cancris auriculus* et *Nonion scaphum*. Les foraminifères tolérants représentent un tiers de la faune totale. Il y a cependant des espèces sensibles dont épiphytes à cette même station sachant que les espèces porcelanées ne sont que peu représentées. L'état écologique a été classé moyen.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Dans la faune morte, les espèces épiphytes (*Cibicides lobatulus*, *Neoconorbina terquemi*, *Rosalina* spp.) présentent des densités relatives plus importantes que dans la faune vivante. Au contraire, les espèces tolérantes *C. auriculus*, *N. scaphum* et *Rectuvigerina phlegeri* sont quasiment absentes de la faune morte. L'analyse des faunes mortes suggère une forte dégradation du milieu au cours du temps.

Nom de la station :**Marseille Grande Rade****Code masse d'eau :****FRDC06b**

Nom de la masse d'eau :

Endoume - Cap Croisette et Iles de Frioul

Coordonnées :

5.18.47 °E

43.16.17 °N

Classe d'état de la station**FI*** :**EQ**** :**Paramètres environnementaux**

Profondeur (m) :	35
% MO :	-
% <63µm :	-
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques**Faune vivante
(0-1cm)**

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

16.13
45.16
30.65

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

61.29
14.52
24.19

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

81
23
3.01
0.96

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Cauri</i>	9.7
<i>Apseudo</i>	8.1
<i>Hboue</i>	6.5
<i>Rglob</i>	6.5
<i>Along</i>	6.5

Synthèse environnement :

Malheureusement, aucune donnée environnementale n'est disponible pour cette station. L'observation sur le bateau révèle un sédiment de sables fins avec quelques particules grossières de maërl.

Synthèse faune vivante :

Nous n'avons pas pu classer cette station du fait de l'absence de donnée granulométrique. Cependant, la faune est dominée par l'espèce *Cancris auriculus*, espèces tolérantes, et *Nonion scaphum* représente aussi près de 5% de la densité relative. Les espèces épiphytes constituent aussi un fort pourcentage de la faune totale (*Hanzawaia boueana*, *Rosalina spp.*, *Reusella spinulosa*, *Asterigerinata mamilla*). Nous pensons que cette station pourrait être classée en bonne ou moyen état écologique.

Nom de la station :**Marseille Jetée****Code masse d'eau :****FRDC06b**

Nom de la masse d'eau :

Endoume - Cap Croisette et Iles de Frioul

Coordonnées :

5.19.68 °E

43.20.25 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

37.0

EQ :**

Médiocre

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	41
% MO :	5.41
% <63µm :	51.91
% 63-250µm :	39.58
% >250µm :	8.51
ODP*** (mm) :	14

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-6 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	1.4
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

39.84
33.13
22.15

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

—
—
—
=

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

68.50
7.52
23.98

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

620
49
3.14
0.81

**Faune morte
(3-4cm)**

19904
48
2.99
0.77

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Cauri</i>	17.7
<i>Rphle</i>	13.4
<i>Nscap</i>	7.7

**Faune morte
(3-4cm)**

<i>Cloba</i>	24.1
<i>Rbrad</i>	15.1
<i>Emaior</i>	7.7
<i>Taggl</i>	5.5

Synthèse environnement :

Environnement silto-sableux, eutrophe avec une profondeur de pénétration d'oxygène limitée. Maximum de densité de foraminifères en surface du sédiment, BBL peu épaisse, bonne conservation des tests morts donc interprétation fiable de la faune morte.

Synthèse faune vivante :

Les seules espèces représentant plus de 5% de la densité totale sont des espèces tolérantes (*Cancris auriculus*, *Rectuvigerina phlegeri* et *Nonion scaphum*) qui constituent à elles seules près de 39% de la faune. Les espèces porcelanées sont peu représentées. L'environnement est donc considéré comme eutrophisé, très certainement envasé, et donc classé en qualité médiocre.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

La faune morte représente une image sub-récente datant probablement au moins d'une dizaine d'années compte-tenu de la localisation et de la granulométrie à cette station. Le % d'espèces sensibles et épiphytes, en particulier *C. lobatulus* et *R. bradyi*, diminue fortement dans la faune vivante indiquant clairement un envasement du site. Parallèlement, le % d'espèces tolérantes augmente d'une façon très importante. Les espèces *C. auriculus*, *N. scaphum* et *R. phlegeri*, quasiment absentes de la faune morte, constituent à elles trois 34% de la faune totale vivante. Ces espèces sont indicatrices de conditions très riches en MO et de possibles conditions de stress en oxygène. Nos données suggèrent donc un envasement qui pourrait être d'origine anthropique et donc une diminution relativement importante de la qualité du milieu à Marseille Jetée en un temps assez restreint.

Nom de la station : **Marseille Ile Plane**
Code masse d'eau : **FRDC07a**
 Nom de la masse d'eau : Iles de Marseille hors Frioul

Coordonnées :

5.23.03 °E

43.11.68 °N

Classe d'état de la station

FI* : 8.6

EQ** : Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	40
% MO :	3.34
% <63µm :	13.18
% 63-250µm :	34.79
% >250µm :	52.03
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

9.26
57.41
43.52

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

60.19
13.89
25.93

Densité (/50cm²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

137
32
3.13
0.90

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Globa</i>	10.2
<i>Nterq</i>	9.3
<i>Cauri</i>	6.5
<i>Rglob</i>	6.5
<i>Pmedit</i>	5.6
<i>LagenamA</i>	5.6
<i>Taggl</i>	5.6

Synthèse environnement :

Environnement sableux.

Synthèse faune vivante :

Le fort pourcentage d'espèces épiphytes, représentées principalement par *Cibicides lobatulus*, *Neoconorbina terquemi*, *Rosalina globularis* et *Planorbulina mediterraneensis*, laisse à penser que cette station se trouve dans un milieu végétalisé tel qu'un herbier. Cette station est caractérisée par 9% d'espèces tolérantes, dont *Cancris auriculus*, responsable du classement de cette station en bon état écologique.

Nom de la station :**Ile Maire****Code masse d'eau :****FRDC07a**

Nom de la masse d'eau :

Iles de Marseille hors Frioul

Coordonnées :

5.20.84 °E

43.12.26 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

10.8

EQ :**

Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	40
% MO :	3.31
% <63µm :	4.82
% 63-250µm :	15.48
% >250µm :	79.70
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	2.0
Groupe :	B

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

11.11
57.94
27.78

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

-
-
-
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

46.03
30.16
23.81

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

159
39
3.27
0.89

**Faune morte
(3-4cm)**

93696
49
2.81
0.72

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Rglob</i>	11.9
<i>Cauri</i>	8.7
<i>Qasp</i>	8.7
<i>Rmica</i>	6.3
<i>Cloba</i>	5.6

**Faune morte
(3-4cm)**

<i>Cloba</i>	35.2
<i>Rbrad</i>	9.3
<i>Rvilar</i>	5.7
<i>Pmed</i>	5.5

Synthèse environnement :

Environnement de sables grossiers, probablement non limité en oxygène. Distribution verticale des foraminifères tout le long de la carotte, BBL épaisse donc interprétation faune morte peu précise.

Synthèse faune vivante :

La faune à cette station est bien diversifiée et équilibrée. Les espèces épiphytes constituent 28% de la faune (*Rosalina globularis*, *Cibicides lobatulus*, *Hanzawaia boueana*) et les espèces sensibles représentent plus de 50% de la faune. Cependant, l'espèce tolérante *Cancris auriculus* est présente en densité non négligeable ce qui explique le classement de cette station en bon état écologique.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

La densité relative des espèces épiphytes a été divisée par 2 entre les conditions passées et actuelles : large diminution de la densité de *C. lobatulus* et de *Rosalina* spp. De plus, les espèces tolérantes sont totalement absentes de la faune morte. Les conditions semblent s'être légèrement détériorées à cette station au cours du temps.

Nom de la station :**Cap Canaille****Code masse d'eau :****FRDC07b**

Nom de la masse d'eau :

Cap Croisette - Bec de l'Aigle

Coordonnées :

5.33.19 °E

43.11.11 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

-0.4

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	43
% MO :	-
% <63µm :	13.25
% 63-250µm :	75.52
% >250µm :	11.23
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

0.36
52.14
10.36

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

=
+
-
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

20.00
40.71
39.29

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

354
38
3.02
0.83

**Faune morte
(3-4cm)**

22656
45
3.09
0.81

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)	
<i>Qasp</i>	13.6
<i>LagenamB</i>	12.9
<i>Ttrigo</i>	8.9
<i>Rfusif</i>	7.5
<i>LagenamA</i>	6.8
<i>Bgran</i>	5.7
<i>Qsemi</i>	5.4
<i>Escab</i>	5.4

Faune morte (3-4cm)	
<i>Cloba</i>	16.4
<i>Bgran</i>	15.5
<i>Eadv</i>	5.6
<i>Qasp</i>	5.4
<i>Abec</i>	5.1

Synthèse environnement :

Sédiment constitué de sables très fins et fins.

Synthèse faune vivante :

Les espèces porcelanées *Quinqueloculina aspera*, *Triloculina trigonula* et *Q. seminula*, ainsi que les espèces agglutinées *Lagenammina* spp., *Reophax fusiformis* et *Eggeralla scabra* sont les espèces majeures à cette station. Les espèces épiphytes et tolérantes sont peu présentes.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

La faune morte contient plusieurs espèces d'*Elphidium* qui sont totalement absentes de la faune vivante et la densité relative du genre *Elphidium* est globalement plus élevée dans la faune morte. De plus, les espèces épiphytes sont mieux représentées dans la faune morte, en particulier *Cibicides lobatulus* et *Rosalina* spp. Le pourcentage d'espèces tolérantes ne change pas notablement.

Nom de la station :

Ile Embiez

Code masse d'eau :

FRDC07e

Nom de la masse d'eau :

Ilot Pierreplane - Pointe de Gaou

Coordonnées :

5.46.79 °E

43.06.13 °N

Classe d'état de la station

FI* :

3.4

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	32
% MO :	1.87
% <63µm :	28.30
% 63-250µm :	66.85
% >250µm :	4.85
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

5.10
38.22
10.83

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

24.84
22.29
52.87

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

199
32
2.93
0.84

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>LagenamA</i>	14.6
<i>Qasp</i>	12.1
<i>Pfusc</i>	10.8
<i>Escab</i>	10.2
<i>LagenamB</i>	8.3

Synthèse environnement :

Sédiment sablo-silteux.

Synthèse faune vivante :

La faune à cette station ressemble à celle de la station Cap Canaille avec une densité relative importante de l'espèce porcelanée *Quinqueloculina aspera* et des espèces agglutinées *Lagenammina* spp. et *Eggeralla scabra*. Les espèces épiphytes ne comptent que pour 10% de la densité totale.

Nom de la station :

Toulon Grande Rade

Code masse d'eau :

FRDC07g

Nom de la masse d'eau :

Cap Cépet - Cap Carqueiranne

Coordonnées :

5.57.900 °E

43.05.560 °N

Classe d'état de la station

FI* :

18.9

EQ :**

Moyen

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	43
% MO :	7.52
% <63µm :	50.90
% 63-250µm :	16.43
% >250µm :	32.67
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-3 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	1.1
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

**Faune vivante
(0-1cm)**

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

22.47
33.33
19.85

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

52.43
12.36
35.21

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

337
48
3.46
0.89

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Cauri</i>	12.7
<i>LagenamA</i>	8.2

Synthèse environnement :

Le sédiment est composé d'un mélange de silts et de sables grossiers. Milieu eutrophe. Maximum de densité de foraminifères en surface du sédiment, BBL peu épaisse.

Synthèse faune vivante :

La faune de Toulon est dominée par l'espèce *Cancris auriculus* qui est caractéristique de forts apports de matière organique et sédiment fin. *Valvulineria bradyana* et *Rectuvigerina phlegeri* contribuent aussi à augmenter le % d'espèces tolérantes à cette station qui est de fait classée en qualité moyenne. Les espèces épiphytes représentent cependant 20% de la densité totale.

Nom de la station : **Porquerolles**
Code masse d'eau : **FRDC07h**
Nom de la masse d'eau : **Iles du Soleil**

Coordonnées :

6.16.460 °E
43.01.140 °N

Classe d'état de la station

FI* : -0.6

EQ :** Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	40
% MO :	2.84
% <63µm :	10.83
% 63-250µm :	8.03
% >250µm :	81.14
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

0.00
76.19
57.14

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

=
=
=
=

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

71.43
19.05
9.52

Faune morte (3-4cm)

Densité (/50cm²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

51
19
2.48
0.84

45184
41
2.90
0.78

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Amami</i>	19.0
<i>Rglob</i>	16.7
<i>Nterq</i>	14.3
<i>Astel</i>	7.1
<i>Rfusif</i>	7.1

Faune morte (3-4cm)

<i>Amami</i>	19.0
<i>Cloba</i>	17.3
<i>Nterq</i>	9.9
<i>Rbrad</i>	7.1
<i>Apark</i>	5.1

Synthèse environnement :

Sédiment constitué pour 67% de sables grossiers (>500µm) avec des algues calcaires rouges.

Synthèse faune vivante :

La faune est dominée par les formes hyalines et les agglutinées sont sous-représentées. Les espèces épiphytes forment près de 60% de la faune totale (plus forte proportion observée de toute la zone d'étude LR-PACA) dont *Asterigerinata mamilla*, *Rosalina globularis* et *Neoconorbina terquemi*. Le nombre de foraminifères trouvé est cependant relativement faible et les données de densité relative doivent donc être considérées avec précaution.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

La faune morte est 2 fois plus diversifiée que la faune vivante, autant au niveau des foraminifères hyalins que porcelanés. Les espèces épiphytes dominent les faunes dans le passé et dans l'actuel et cette station est caractérisée par l'absence totale d'espèces tolérantes aux 2 périodes de temps.

Nom de la station : Lavandou
Code masse d'eau : FRDC07h
Nom de la masse d'eau : Iles du Soleil

Coordonnées :

6.23.210 °E

43.06.140 °N

Classe d'état de la station

FI* : 0.8

EQ** : Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	40
% MO :	3.78
% <63µm :	25.56
% 63-250µm :	33.14
% >250µm :	41.30
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

2.33
62.79
32.56

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

50.00
28.57
21.43

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

53
26
3.03
0.93

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Rglob</i>	11.6
<i>Qasp</i>	9.3
<i>Amami</i>	7.0

Synthèse environnement :

Environnement sablo-vaseux. Le carottier Reineck a possiblement été lessivé lors de la remontée à bord du bateau.

Synthèse faune vivante :

La faune présente une faible densité absolue mais une diversité spécifique relativement élevée. Les espèces épiphytes constituent la quasi-totalité du groupe des foraminifères hyalins et les espèces sensibles représentent au total plus de 60% de la faune.

Nom de la station : Ile du Levant
Code masse d'eau : FRDC07h
Nom de la masse d'eau : Iles du Soleil

Coordonnées :

6.26.00 °E
43.00.220 °N

Classe d'état de la station

FI* : 4.7

EQ :** Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	47
% MO :	2.83
% <63µm :	6.47
% 63-250µm :	19.70
% >250µm :	73.83
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

5.08
54.24
18.64

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

35.59
34.75
29.66

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

149
34
2.97
0.84

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

-
-
-
+

Faune morte (3-4cm)

119808
58
3.10
0.76

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Rfusif</i>	24.6
<i>Qcost</i>	9.3
<i>Spiril</i>	5.9

Faune morte (3-4cm)

<i>Clob</i>	16.9
<i>Rvilar</i>	10.9
<i>Pmed</i>	10.7
<i>Rglob</i>	10.0
<i>Nterq</i>	8.1
<i>Rbrad</i>	5.6

Synthèse environnement :

Environnement de sables moyens et grossiers.

Synthèse faune vivante :

La faune est dominée par l'espèce agglutinée *Reophax fusiformis*. Les espèces tolérantes sont principalement formées par l'espèce *Cancris auriculus*. Elles représentent 5% de la faune totale mais compte-tenu du très faible % de particules fines, cette station a été classée en bon état écologique.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Sans considérer les foraminifères agglutinés non fossilisables dans la faune totale, le % d'espèces épiphytes a été divisé par 3 entre la faune passée et actuelle. Des espèces telles que *Rosalina* spp., *Neoconorbina terquemi* et *Planorbulina mediterraneensis* comptent pour 45% de la faune morte contre seulement 7% de la faune vivante. Les espèces tolérantes sont totalement absentes de la faune morte. Les conditions sembleraient donc s'être légèrement dégradées au niveau de cette station.

Nom de la station : **Pampelone**
Code masse d'eau : **FRDC08a**
Nom de la masse d'eau : Cap Camarat - Ouest Fréjus

Coordonnées :

6.41.730 °E
43.13.740 °N

Classe d'état de la station

FI* : 7.9

EQ :** Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	42
% MO :	2.78
% <63µm :	19.10
% 63-250µm :	17.45
% >250µm :	63.44
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-8 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	2.7
Groupe :	B

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

8.85
46.15
21.15

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

-
-
-
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

36.43
25.19
38.37

Faune morte (3-4cm)

Densité (/50cm²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

331
39
2.85
0.78

44032
58
3.31
0.82

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Rfusif</i>	28.8
<i>Sgrata</i>	9.6
<i>Cauri</i>	7.7
<i>Amami</i>	7.3
<i>Rglob</i>	5.0

Faune morte (3-4cm)

<i>Rvilar</i>	11.0
<i>Cloba</i>	10.2
<i>Rbrad</i>	10.2
<i>Amami</i>	9.9
<i>Nterq</i>	8.7

Synthèse environnement :

Environnement de sables moyens et grossiers, plutôt oligotrophe, probablement non limité en oxygène. Distribution verticale des foraminifères tout le long de la carotte, BBL épaisse donc interprétation faune morte peu précise.

Synthèse faune vivante :

La faune est dominée dans le premier cm par *Reophax fusiformis*, espèce agglutinée (comme à Fréjus). Par contre, si l'on considère toute la longueur de la carotte analysée, ce sont les espèces épiphytes *Asterigerinata mamilla* et *Rosalina globularis* qui dominent avec 16.2 et 14.7% de la densité totale. En effet, la faune est distribuée tout le long de la carotte ce qui montre des conditions non limitantes en profondeur. Les espèces tolérantes sont représentées principalement par *Cancris auriculus*.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Les 5 espèces dont la densité relative est supérieure à 5% dans la faune morte (sans considérer les foraminifères non fossilisables) sont des espèces épiphytes : *R. vilardebouana*, *Cibicides lobatulus*, *R. bradyi*, *A. mamilla* et *Neoconorbina terquemi*. L'espèce tolérante *C. auriculus* n'est que peu présente dans la faune morte. Les conditions semblent s'être donc légèrement dégradées à cette station au cours du temps.

Nom de la station :**Fréjus****Code masse d'eau :****FRDC08d**

Nom de la masse d'eau :

Ouest Fréjus - Pointe de la Galère

Coordonnées :

6.52.110 °E

43.25.340 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

1.9

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	33
% MO :	4.04
% <63µm :	17.35
% 63-250µm :	56.39
% >250µm :	26.27
ODP*** (mm) :	8

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

2.82
68.75
22.58

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

=
=
-
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

33.67
42.94
23.39

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

627
62
3.52
0.85

**Faune morte
(3-4cm)**

130048
44
3.13
0.83

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)	
<i>Rfusif</i>	12.3
<i>Qasp</i>	6.0
<i>Spiril</i>	5.8
<i>Rglob</i>	5.6

Faune morte (3-4cm)	
<i>Rvilar</i>	17.7
<i>Cloba</i>	13.8
<i>Rbrad</i>	9.1

Synthèse environnement :

Station sablo-silteuse qui présente une pénétration d'oxygène de 8mm dans le sédiment. La densité de foraminifères identifiés est 2 fois plus importante dans l'intervalle 0-0.5cm que dans 0.5-1cm. Les conditions sont donc probablement limitantes en profondeur.

Synthèse faune vivante :

Comme à Pampelone, l'espèce dominante est *Reophax fusiformis*. Les formes porcelanées sont très bien représentées par plusieurs espèces telles que *Adelosina elegans*, *Quinqueloculina aspera*, *Sigmoilina grata*, *Spiroloculina grateloupi* et *Triloculina trigonula*. Les espèces tolérantes sont très peu présentes à cette station.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Comme à Pampelone, les espèces épiphytes sont dominantes dans la faune morte (*Rosalina* spp., *Cibicides lobatulus*) mais voient leur proportion diminuer dans la faune vivante. Les espèces tolérantes sont quasiment absentes de la faune morte. Les conditions écologiques étaient très bonne et restent très bonne à cette station malgré un début de détérioration.

Nom de la station :**Antibes 2****Code masse d'eau :****FRDC09a**

Nom de la masse d'eau :

Cap d'Antibes - Sud port d'Antibes

Coordonnées :

7.08.490 °E

43.33.560 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

-1.8

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	25
% MO :	4.13
% <63µm :	36.56
% 63-250µm :	42.23
% >250µm :	21.20
ODP*** (mm) :	5

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

0.78
54.09
23.54

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

=
=
=
=

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

28.79
29.96
41.25

Faune morte (3-4cm)

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

648
56
3.21
0.80

85760
64
3.69
0.89

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)	
<i>Escab</i>	23.9
<i>Spiril</i>	6.2
<i>Rglob</i>	6.0
<i>LagenamB</i>	5.4

Faune morte (3-4cm)	
<i>Rbrad</i>	9.0
<i>Rvilar</i>	6.3
<i>Msubrot</i>	5.4
<i>Pmed</i>	5.1

Synthèse environnement :

Environnement silto-sableux avec une faible pénétration de l'oxygène dans le sédiment.

Synthèse faune vivante :

Les formes agglutinées sont très bien représentées grâce aux espèces *Eggerella scabra* et *Lagenammia* spp. Les espèces épiphytes constituent près de 1/4 de la faune totale (*Spirillina* sp., *Rosalina globularis*). Il y a très peu d'individus d'espèces tolérantes à Antibes 2.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Il n'y a pas de changement important entre les espèces identifiées dans la faune morte et la faune vivante. Les pourcentages d'espèces indicatrices sont stables dans le temps. Nous suggérons donc que les conditions environnementales n'ont pas changé de manière notable à cette station qui est classée en très bon état écologique.

Nom de la station :**Antibes Nord****Code masse d'eau :****FRDC09b**

Nom de la masse d'eau :

Sud Port d'Antibes - Port de commerce de Nice

Coordonnées :

7.08.110 °E

43.36.790 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

-0.2

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	19
% MO :	1.04
% <63µm :	1.62
% 63-250µm :	82.00
% >250µm :	16.37
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

**Faune vivante
(0-1cm)**

0.00
37.39
0.00

**Evolution faune morte (3-4cm) -
faune vivante (0-1cm)**

=
=
=
=

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

18.49
36.97
44.54

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

302
26
2.45
0.75

**Faune morte
(3-4cm)**

16640
25
2.36
0.73

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Escab</i>	33.6
<i>Qasp</i>	13.0
<i>Abecc</i>	8.4
<i>Qbosc</i>	8.4
<i>Bgran</i>	5.5

**Faune morte
(3-4cm)**

<i>Qasp</i>	34.2
<i>Ttrigo</i>	10.4
<i>Abecc</i>	9.6
<i>Bgran</i>	9.6
<i>Along</i>	5.8
<i>Apark</i>	5.0
<i>Tschrei</i>	5.0

Synthèse environnement :

Le sédiment de cette station est composé à 60% de sables fins (125-250µm).

Synthèse faune vivante :

La faune est très similaire de celle de la station Nice. D'une part, elle est dominée par *Eggerella scabra*. D'autre part, les espèces épiphytes sont totalement absentes ce qui était le cas dans la plupart des stations à l'ouest de Fos mais peu courant dans les stations de la région PACA.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Le nombre d'espèces dans la faune morte est relativement faible en comparaison aux autres stations de la zone d'étude. Les espèces majeures de la faune morte restent très bien représentées dans la faune vivante. Les pourcentages d'espèces indicatrices restent stables dans le temps. Il ne semble donc pas y avoir de changement environnemental à cette station.

Nom de la station :**Nice Ville****Code masse d'eau :****FRDC09b**

Nom de la masse d'eau :

Sud Port d'Antibes - Port de commerce de Nice

Coordonnées :

7.14.130 °E

43.40.850 °N

Classe d'état de la station**FI*** :

-0.7

EQ** :

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	30
% MO :	2.21
% <63µm :	46.12
% 63-250µm :	46.26
% >250µm :	7.62
ODP*** (mm) :	12

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-10 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	1.4
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

3.00
16.10
0.37

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

+
=
=
+

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

13.48
15.73
70.79

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

338
32
2.22
0.64

Faune morte (3-4cm)

2600
44
2.74
0.72

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Escab</i>	46.8
<i>Rmica</i>	10.5
<i>Qasp</i>	5.2
<i>Qsemi</i>	5.2

Faune morte (3-4cm)

<i>Atep</i>	30.5
<i>Bacul</i>	12.9
<i>Qsemi</i>	7.4
<i>Qasp</i>	6.2
<i>Msubrot</i>	5.5

Synthèse environnement :

Environnement silto-sableux. Maximum de densité de foraminifères en surface du sédiment. BBL peu épaisse, bonne conservation des tests morts donc interprétation fiable de la faune morte.

Synthèse faune vivante :

La faune est très similaire de celle de la station Antibes Nord. D'une part, elle est dominée par *Eggerella scabra*. D'autre part, les espèces épiphytes sont pour ainsi dire absentes ce qui était le cas dans la plupart des stations à l'ouest de Fos mais peu courant dans les stations de la région PACA. Contrairement à Antibes Nord, Nice présente une faible proportion d'espèces tolérantes représentée par l'espèce *Bulimina aculeata*.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

La faune morte est dominée par l'espèce *Ammonia parkinsoniana f. tepida*. Les espèces épiphytes sont aussi absentes de la faune morte que de la faune vivante. Par contre, les espèces tolérantes représentaient un pourcentage légèrement plus important dans le passé, tout en restant faible, principalement du fait d'une plus forte densité relative de *Bulimina aculeata*.

Nom de la station : Villefranche
Code masse d'eau : FRDC09d
Nom de la masse d'eau : Rade de Villefranche

Coordonnées :

7.18.660 °E
43.41.580 °N

Classe d'état de la station

FI* : 6.2

EQ :** Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	42
% MO :	3.99
% <63µm :	14.66
% 63-250µm :	30.36
% >250µm :	54.97
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	2.0
Groupe :	B

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

6.93
51.80
31.75

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

-
+
=
=

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

41.99
20.06
37.95

Densité (/50cm²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

874
52
3.41
0.86

Faune morte (3-4cm)

120576
64
3.49
0.84

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

Hboue	10.0
Rsubfus	6.8
LagenamA	6.1
Tsagit	5.8
Sgrata	5.5
Rscorp	5.5

Faune morte (3-4cm)

Cloba	10.2
Ttrigo	9.3
Rbrad	7.9
Pmed	6.8
Nterq	6.2

Synthèse environnement :

Environnement sableux, probablement non limité en oxygène. Distribution verticale des foraminifères tout le long de la carotte, BBL épaisse donc interprétation faune morte peu précise.

Synthèse faune vivante :

Cette station pourrait se situer près d'un herbier compte-tenu des débris de posidonies observés lors de la découpe de la carotte et du fort pourcentage d'espèces épiphytes (*Hanzawaia boueana*, *Rosalina bradyi*, *R. globularis*...). Les espèces tolérantes sont composées de *Cancris auriculus* et *Rectuvigerina phlegeri*.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Les différentes métriques ne montrent que de faibles variations entre la faune morte et la faune vivante. Cependant, il faut noter que les espèces tolérantes étaient totalement absentes de la faune morte et représentent, dans les conditions actuelles, 7.6% de la faune totale. La station aurait donc été de très bonne qualité dans le passé mais les conditions auraient tendance à se dégrader légèrement.

Nom de la station : Monaco 2
Code masse d'eau : FRDC09d
Nom de la masse d'eau : Rade de Villefranche

Coordonnées :

7.25.790 °E
43.43.710 °N

Classe d'état de la station

FI* : 14.9

EQ :** Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	69
% MO :	3.72
% <63µm :	56.83
% 63-250µm :	31.92
% >250µm :	11.26
ODP*** (mm) :	10.5

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

19.51
18.76
7.50

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

-
-
-
-

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

41.09
10.32
48.59

Faune morte (3-4cm)

Densité (/50cm²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

664
73
3.71
0.87

9024
63
3.52
0.85

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

Taggl	13.8
Bacul	9.0
Apseudo	7.7
Vbrad	6.2
LagenamA	5.4

Faune morte (3-4cm)

Bacul	8.5
Cloba	8.2
Ttrigo	8.2
Biloc	5.7
Rbrad	5.3
Ccarin	5.0

Synthèse environnement :

Sédiment composé à 57% de silts et d'argiles. La pénétration d'oxygène est relativement faible avec seulement 1cm de profondeur. Station la plus profonde de la zone d'étude (près de 20m d'écart avec la seconde plus profonde, Menton).

Synthèse faune vivante :

Cette station est la plus diversifiée de la zone d'étude (73 espèces vivantes identifiées, indice de Shannon de 3.71). La faune est composée d'espèces typiques de milieux plus profonds telles que *Melonis barleeanus* et *Globobulimina affinis*. Les formes porcelanées sont peu présentes. Deux des espèces majeures sont des espèces tolérantes : *Bulimina aculeata* et *Valvulineria bradyana*. Malgré la forte densité d'espèces tolérantes, cette station est classée en bon état car le sédiment y est très fin.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :

Les espèces épiphytes étaient plus présentes dans la faune passée avec notamment la présence de *Cibicides lobatulus* et *Rosalina* spp. Les espèces indicatrices montrent une dégradation du milieu avec une diminution des espèces sensibles (épiphytes et porcelanées) avec le temps et une augmentation des densités relatives des espèces tolérantes en particulier *V. bradyana*. Les conditions se sont donc dégradées à cette station au cours du temps.

Nom de la station : **Menton**
Code masse d'eau : **FRDC10c**
 Nom de la masse d'eau : Monte Carlo - Frontière italienne

Coordonnées :

7.59.690 °E
43.45.350 °N

Classe d'état de la station

FI* : 20.6

EQ** : **Moyen**

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	51
% MO :	1.73
% <63µm :	28.26
% 63-250µm :	70.25
% >250µm :	1.49
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-6 cm
Etude de la faune morte :	Oui

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5-6**** (cm) :	2.3
Groupe :	B

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes
% porcelanés/calcaires totaux

Faune vivante (0-1cm)

21.96
32.80
10.32

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

36.62
21.56
41.82

Densité (/50cm²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

486
61
3.48
0.85

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Bacul</i>	9.3
--------------	-----

Evolution faune morte (3-4cm) - faune vivante (0-1cm)

-
-
-
=

Faune morte (3-4cm)

1992
62
3.56
0.86

Faune morte (3-4cm)

<i>Taggl</i>	11.6
<i>Pmed</i>	6.4
<i>Ttrigo</i>	6.4
<i>Biloc</i>	6.0
<i>Cloba</i>	5.6
<i>Rbrad</i>	5.2

Synthèse environnement :

Sédiment principalement constitué de sables très fins et fins. Distribution verticale des foraminifères tout le long de la carotte avec une diminution régulière de la densité avec la profondeur, BBL épaisse donc interprétation faune morte peu précise. Station la plus profonde après Monaco 2.

Synthèse faune vivante :

La faune est caractérisée par un fort pourcentage d'espèces tolérantes : *Bulimina aculeata* est la seule espèce présentant une densité supérieure à 5% de la faune totale, suivie par *Pseudoeponides falsobeccarii* (4%), *Valvulineria bradyana* (4%), *Cancris auriculus* (2.6%) dans le premier cm de sédiment. Malgré un % d'espèces tolérantes proche de celui de Monaco 2, Menton est classée en état moyen compte-tenu du fait que la granulométrie est légèrement plus grossière à cette station.

Interprétation comparaison faune morte-faune vivante :



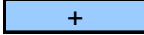
Les espèces indicatrices montrent une dégradation des conditions à cette station. Les espèces tolérantes citées ci-dessus sont également présentes dans la faune morte mais avec des pourcentages beaucoup plus faibles excepté pour l'espèce *Rectuvigerina phlegeri*. Dans la faune morte, plusieurs espèces majeures sont des espèces épiphytes (*Planorbulina mediterraneensis*, *Cibicides lobatulus*, *Rosalina bradyi*).

ANNEXE 3

Fiches individuelles des stations de la zone d'étude Corse.

Légende :

- * FI : Foraminiferal Index
- ** EQ : Ecological Quality
- *** ODP : Oxygen Penetration depth
- ****ALD : Average Living Depth

	Détérioration des conditions écologiques au cours du temps
	Conditions écologiques stables au cours du temps
	Amélioration des conditions écologiques au cours du temps

Nom de la station :

Code masse d'eau :

Nom de la masse d'eau :

Calvi**FREC01ab**

Pointe Palazzu - Sud Nonza

Coordonnées :

8.43.820 °E

42.34.820 °N

Classe d'état de la station**FI*** :

0.5

EQ** :

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	42
% MO :	6.30
% <63µm :	14.00
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

**Faune vivante
(0-1cm)**

1.23
51.23
22.22

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

25.31
29.01
45.68

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

205
38
3.15
0.87

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Rfusif</i>	11.1
<i>Pfusc</i>	9.3
<i>Rscorp</i>	9.3
<i>Qasp</i>	8.6

Synthèse environnement :

Calvi est caractérisé par du sable fin avec une proportion de sédiment silto-argileux relativement faible (sédiment semblable à la station Cargèse).

Synthèse faune vivante :

La faune est relativement bien distribuée entre les 3 groupes de foraminifères avec une légère dominance foraminifères agglutinés, en particulier les *Reophax* spp. et *Psammosphaera fusca*. Il y a une bonne répartition parmi les différentes espèces et le nombre d'espèces identifiées est important ce qui suggère une faune équilibrée. Le % d'espèces tolérantes est très faible. La composition spécifique est quelque peu comparable à la faune de la station Cargèse.

Nom de la station :

Canari

Code masse d'eau :

FREC01d

Nom de la masse d'eau :

Canari

Coordonnées :

9.19.510 °E

42.48.320 °N

Classe d'état de la station

FI* : -4.1

EQ :** Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	40
% MO :	6.30
% <63µm :	53.70
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	1.0
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

Faune vivante (0-1cm)

1.02
70.41
19.39

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

45.92
45.92
8.16

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

120
28
2.80
0.84

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Astel</i>	12.2
<i>Rglob</i>	12.2
<i>Along</i>	11.2
<i>Qasp</i>	10.2
<i>Ttrigo</i>	9.2
<i>Rfusif</i>	7.1
<i>Epoe</i>	5.1

Synthèse environnement :

Cette station se situe en face d'une ancienne usine d'extraction d'amiante. L'exploitation de celle-ci s'est arrêtée en 1972 mais la carrière a été laissée à ciel ouvert. L'eau en surface à proximité de la station est contaminée par des métaux lourds (Nickel, Chrome). Le sédiment à cette station était plein de fibres d'amiante entremêlées.

Synthèse faune vivante :

Malgré la probable contamination du site, les foraminifères ne montrent pas de réponse particulière à la caractéristique physique du sédiment (fibres) ou aux métaux lourds. Il y a un fort pourcentage d'espèces sensibles (épiphytes, porcelanés, *Elphidium*) et les foraminifères agglutinés sont peu représentés par rapport aux autres groupes. L'indice foraminifère conclut à un bon état de la masse d'eau au niveau écologique. Les foraminifères ne semblent que peu sensibles au type de pollution rencontré à cette station.

Nom de la station :

Bastia Sud

Code masse d'eau :

FREC02c

Nom de la masse d'eau :

Littoral bastiais

Coordonnées :

9.27.640 °E

42.41.020 °N

Classe d'état de la station

FI* :

0.1

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	40
% MO :	5.10
% <63µm :	21.11
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	4

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	1.3
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

**Faune vivante
(0-1cm)**

1.32
46.13
8.90

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

29.32
36.57
34.10

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

1002
54
2.76
0.69

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Apseudo</i>	19.4
<i>Qasp</i>	19.1
<i>Abecc</i>	15.8
<i>Escab</i>	8.7
<i>Qcost</i>	5.2

Synthèse environnement :

Malgré un taux de particules silto-argileuses modéré, la profondeur d'oxygène dans le sédiment est très faible ce qui entraine un maximum de densité de foraminifère en surface, l'oxygène étant probablement un paramètre limitant leur distribution verticale. De nombreux débris de végétaux ont été observés lors du découpage de la carotte.

Synthèse faune vivante :

Cette station présente la plus forte densité standardisée de toutes les stations de Corse ainsi que le plus important nombre d'espèces. Il n'y a pas de différence notable entre les indices de diversité entre 0-1 et 0-4cm, les mêmes espèces étant présentes plus en profondeur avec une densité moindre. Le % d'espèces épiphytes est relativement faible (malgré la présence de nombreux débris végétaux) mais le % d'espèces sensibles est relativement important grâce à la présence de nombreux foraminifères porcelanés (e.g. *Quinqueloculina aspera*) et d'*Elphidium*.

Nom de la station :

Aléria

Code masse d'eau :

FREC02d

Nom de la masse d'eau :

Plaine orientale

Coordonnées :

9.34.680 °E

42.03.500 °N

Classe d'état de la station

FI* : -0.5

EQ :** Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	46
% MO :	3.60
% <63µm :	7.43
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

**Faune vivante
(0-1cm)**

0.00
71.21
63.64

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

77.27
7.58
15.15

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

84
21
2.63
0.86

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Amam</i>	19.7
<i>Cloba</i>	16.7
<i>Nterq</i>	12.1
<i>Spiril</i>	6.1

Synthèse environnement :

Le sédiment à la station Aléria est constitué d'un mélange de sables fins et d'une faible quantité de maërl (observation lors de l'échantillonnage). Cette station se situe sur la côte est de la Corse où se trouvent des herbiers de posidonies.

Synthèse faune vivante :

La faune présente une forte dominance des espèces hyalines aux dépens des autres groupes. Cependant une grande proportion de ce groupe est composée d'espèces épiphytes. Cela semble confirmer la présence d'herbiers à proximité de la station. De plus, compte-tenu de l'absence totale d'espèces tolérantes, Aléria peut être considérée comme en très bon état écologique.

Nom de la station :

Porto Vecchio

Code masse d'eau :

FREC03b

Nom de la masse d'eau :

Golfe de Porto-Vecchio

Coordonnées :

9.19.310 °E

41.36.520 °N

Classe d'état de la station

FI* : -5.4

EQ :** Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	10.2
% MO :	23.80
% <63µm :	62.17
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	4

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	1.1
Groupe :	A

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

Faune vivante (0-1cm)

1.59
47.62
4.76

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

36.51
34.92
28.57

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

79
25
2.84
0.88

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Escab</i>	17.5
<i>Atep</i>	9.5
<i>Qbosc</i>	9.5
<i>Qasp</i>	7.9

Synthèse environnement :

La station Porto Vecchio est particulièrement peu profonde. Le % de matière organique extraordinairement fort correspondrait aux nombreux débris de racines de posidonies observés lors de l'échantillonnage. Le sédiment est composé majoritairement de silts et d'argiles et la pénétration d'oxygène y est très faible.

Synthèse faune vivante :

Le faible % de foraminifères épiphytes observé à cette station ne concorde pas avec le fort % de MO mesuré et aux nombreux débris de racines de posidonies observés. Cependant, la granulométrie à Porto Vecchio est caractérisée par un sédiment très fin. Il est donc possible que le faible pourcentage d'épiphytes soit dû à un envasement récent de la station qui ne serait pas suffisant pour empêcher les espèces sensibles de se développer, ou une régression de l'herbier. L'étude de la faune morte pourrait éclaircir ce point.

Nom de la station :

Santa Giulia

Code masse d'eau :

FREC03ad

Nom de la masse d'eau :

Littoral S.E. de la Corse

Coordonnées :

9.18.330 °E

41.30.880 °N

Classe d'état de la station

FI* : 4.2

EQ :** Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	40.5
% MO :	2.70
% <63µm :	27.05
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

Faune vivante (0-1cm)

5.71
45.71
25.36

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

52.86
16.07
31.07

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

356
47
3.41
0.89

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)

<i>Apseudo</i>	12.5
<i>Rglob</i>	8.2
<i>Abecc</i>	5.4
<i>Escab</i>	5.4
<i>Cauri</i>	5.0
<i>Rspin</i>	5.0

Synthèse environnement :

Le sédiment de Santa Giulia est caractérisé principalement par un mélange de sables fins et de maërl (semblable au sédiment de la station Santa Manza).

Synthèse faune vivante :

Le groupe d'espèces tolérantes est principalement composé d'individus de l'espèce *Cancris auriculus*. Ainsi, Santa Giulia est classée en bon état écologique. Les espèces épiphytes sont aussi bien représentées à cette station ainsi que certaines espèces agglutinées telles que *Ammoscalaria pseudospiralis* et *Eggerella scabra*. La faune à cette station est très similaire à celle observée à Santa Manza avec une diversité spécifique plus importante à Santa Giulia.

Nom de la station :

Santa Manza

Code masse d'eau :

FREC03c

Nom de la masse d'eau :

Santa Manza

Coordonnées :

9.16.133 °E

41.26.003 °N

Classe d'état de la station

FI* :

5.2

EQ :**

Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	49
% MO :	14.40
% <63µm :	41.80
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

**Faune vivante
(0-1cm)**

8.13
42.28
22.76

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

42.28
18.70
39.02

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

156
36
3.09
0.86

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Apseudo</i>	20.3
<i>Cauri</i>	6.5
<i>Rmica</i>	6.5

Synthèse environnement :

Le sédiment de Santa Manza est caractérisé principalement par un mélange de sables fins et de maërl (semblable au sédiment de la station Santa Giulia) avec un pourcentage de particules fines (silts et argiles) relativement élevé.

Synthèse faune vivante :

Le pourcentage d'espèces tolérantes est représenté principalement par *Cancris auriculus* et aussi par quelques spécimens de *Rectuvigerina phlegeri*. La faune est dominée par l'espèce agglutinée *Ammoscalaria pseudospiralis* et les espèces épiphytes constituent une proportion non négligeable de la faune totale. La faune à cette station est très similaire à celle observée à Santa Giulia cependant la diversité spécifique est plus importante à Santa Giulia.

Nom de la station :

Bonifacio

Code masse d'eau :

FREC03f

Nom de la masse d'eau :

Goulet de Bonifacio

Coordonnées :

9.09.360 °E

41.23.350 °N

Classe d'état de la station

FI* : -5.1

EQ :** Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	19
% MO :	10.60
% <63µm :	54.99
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	3

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

**Faune vivante
(0-1cm)**

0.24
5.84
4.53

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

7.03
1.31
91.66

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

692
24
0.79
0.25

Espèces majeures

(densité relative >5%)

Faune vivante (0-1cm)	
<i>Escab</i>	85.9

Synthèse environnement :

Cette station, relativement peu profonde, est caractérisée par un sédiment majoritairement constitué de particules silto-argileuses. La pénétration d'oxygène dans le sédiment de Bonifacio est très faible. L'étude séparée des 2 premiers demi-cm de sédiment montre une densité 4 fois moins importante à l'intervalle 0.5-1cm.

Synthèse faune vivante :

Les indices de diversité sont très faibles à cette station compte-tenu du fait que l'espèce *Eggerella scabra* constitue à elle seule 86% de la densité totale. Sur l'ensemble des 42 stations étudiées (LR-PACA et Corse), elle est présente à plus de 5% de la densité totale dans 20 stations présentant des conditions environnementales différentes. Cette espèce ne semble donc pas avoir de besoin écologique bien défini mais montre une forte adaptabilité à différents milieux. Le reste de la faune de Bonifacio est constituée de 41% d'espèces sensibles (dont 32% d'espèces épiphytes) et uniquement 2% d'espèces tolérantes. Malgré un état écologique classé très bon, la forte dominance d'une seule espèce suggère des conditions de stress environnemental à cette station.

Nom de la station :

Figari-Bruzzi

Code masse d'eau :

FREC03eg

Nom de la masse d'eau :

Littoral S.O. de la Corse

Coordonnées :

9.00.430 °E

41.27.840 °N

Classe d'état de la station

FI* : 0.3

EQ :** Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	39.7
% MO :	3.80
% <63µm :	7.34
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

**Faune vivante
(0-1cm)**

0.74
46.32
22.79

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

41.18
22.06
36.76

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

173
31
3.03
0.88

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Tsagit</i>	15.4
<i>Abecc</i>	9.6
<i>Moblou</i>	8.1
<i>Hboue</i>	6.6
<i>Rfusif</i>	6.6
<i>Cloba</i>	5.1
<i>Qasp</i>	5.1

Synthèse environnement :

Cette station est caractérisée par du sable grossier et une faible proportion de particules silto-argileuses.

Synthèse faune vivante :

Cette station présente un très faible pourcentage d'espèces tolérantes. Les espèces sensibles forment près de 50% de la faune totale, environ la moitié d'espèces épiphytes (e.g. *Hanzawaia boueana*, *Cibicides lobatulus*, *Rosalina globularis*) et la moitié d'espèces porcelanées (e.g. *Miliolinella oblonga*, *Quinqueloculina aspera*).

Nom de la station :**Ajaccio****Code masse d'eau :****FREC04b**

Nom de la masse d'eau :

Golfe d'Ajaccio

Coordonnées :

8.46.67 °E

41.51.810 °N

Classe d'état de la station**FI* :**

-4.5

EQ :**

Très bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	37
% MO :	9.80
% <63µm :	50.44
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-5 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	2.9
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

**Faune vivante
(0-1cm)**

0.00
54.55
15.15

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

30.30
39.39
30.30

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

38
14
2.31
0.88

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Moblon</i>	21.2
<i>Rfusif</i>	15.2
<i>Apark</i>	9.1
<i>Rglob</i>	9.1
<i>Qlimb</i>	9.1
<i>Qcost</i>	6.1

Synthèse environnement :

Malgré un fort pourcentage de particules fines mesuré à cette station, l'observation lors du découpage de la carotte a révélé un sédiment majoritairement constitué de sables grossiers dans les 4-5 premiers cm puis un mélange de sables grossiers et de particules fines plus en profondeur.

Synthèse faune vivante :

La distribution des foraminifères en profondeur dans la carotte révèle une augmentation de la densité et de la richesse spécifique dans les intervalles plus profonds. En particulier, *Miliolinella oblonga* voit sa densité largement augmenter en profondeur. Dans l'intervalle 0-1cm, la densité et diversité des foraminifères sont très limitées en comparaison aux autres stations de Corse. La faune est caractérisée par une absence totale d'espèces tolérantes et une forte proportion d'espèces porcelanées (e.g. *Miliolinella oblonga*, *Quinqueloculina limbata*, *Q. costata*) qui sont bien adaptées à vivre dans du sédiment grossier.

Nom de la station :

Code masse d'eau :

Nom de la masse d'eau :

Cargèse

FREC04ac

Pointe Senetosa - Pointe Palazzu

Coordonnées :

8.33.580 °E

42.09.590 °N

Classe d'état de la station

FI* : 9.0

EQ** : Bon

Paramètres environnementaux

Profondeur (m) :	60
% MO :	4.10
% <63µm :	10.40
% 63-250µm :	-
% >250µm :	-
ODP*** (mm) :	-

Analyse des foraminifères

Intervalle étudié :	0-1 cm
Etude de la faune morte :	Non

Etude de la distribution verticale des foraminifères

ALD5**** (cm) :	-
Groupe :	-

Paramètres faunistiques

% espèces tolérantes
% espèces sensibles
% espèces épiphytes

**Faune vivante
(0-1cm)**

9.52
49.70
24.11

% hyalins
% porcelanés
% agglutinés

42.26
25.60
32.14

Densité (/50cm ²)
Richesse spécifique
Shannon
Equitabilité

424
53
3.47
0.87

Espèces majeures

(densité relative >5%)

**Faune vivante
(0-1cm)**

<i>Rfusif</i>	14.6
<i>Escab</i>	7.1
<i>Amam</i>	5.7
<i>Rphle</i>	5.7

Synthèse environnement :

Cette station est caractérisée par du sable fin avec une proportion de sédiment silto-argileux relativement faible (sédiment semblable à la station Calvi).

Synthèse faune vivante :

La faune est bien diversifiée et dense à cette station. La composition spécifique est quelque peu comparable à la faune de la station Calvi avec une bonne proportion des espèces épiphytes *Asterigerinata mamilla*, *Cibicides lobatulus*, *Rosalina globularis* et *R. bradyi*, un pourcentage non négligeable des espèces porcelanées *Adelosina longirostra* et *Quinqueloculina aspera* et une forte représentation de *Reophax fusiformis* et dans une moindre mesure *Eggerella scabra*. Cargèse comprend cependant plus d'espèces tolérantes (*Rectuvigerina phlegeri* et *Cancris auriculus*) ce qui la classe en bon état écologique.

ANNEXE 4

**Classement des états écologiques des masses d'eau des zones d'étude
LR-PACA et Corse d'après l'indice foraminifères.**

Masses d'eau de la zone d'étude LR-PACA

Code masse d'eau : FRDC01

Nom de la masse d'eau : Frontière espagnole - Racou Plage

Typologie : C18, Côte rocheuse languedocienne et sud de la Corse

Contrôle DCE : Surveillance

Classes d'état des stations de la masse d'eau

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Collioure	<div></div>				
Cerbère	<div></div>				

ETAT DE LA MASSE D'EAU



Code masse d'eau : FRDC02a

Nom de la masse d'eau : Racou plage - Embouchure de l'Aube

Typologie : C19, Côte sableuse languedocienne

Contrôle DCE : Surveillance

Classes d'état des stations de la masse d'eau

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Leucate				<div></div>	
Gruissan		<div></div>			

ETAT DE LA MASSE D'EAU



Code masse d'eau : FRDC02c

Nom de la masse d'eau : Cap d'Agde

Typologie : C19, Côte sableuse languedocienne

Contrôle DCE : Surveillance

Classes d'état des stations de la masse d'eau

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Agde Ouest	<div></div>				
Agde Est	<div></div>				

ETAT DE LA MASSE D'EAU



Code masse d'eau :	<u>FRDC02e</u>
Nom de la masse d'eau :	Sète - Frontignan
Typologie :	C19, Côte sableuse languedocienne
Contrôle DCE :	Opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Sète	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU <div></div>	




Code masse d'eau :	<u>FRDC02f</u>
Nom de la masse d'eau :	Frontignan - Pointe de l'Espiguette
Typologie :	C19, Côte sableuse languedocienne
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Grau du Roi	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU <div></div>	



Code masse d'eau :	<u>FRDT21</u>
Nom de la masse d'eau :	Delta du Rhône
Typologie :	T12, bras du Rhône
Contrôle DCE :	Surveillance et opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Beauduc	<div></div>
Faraman	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU <div></div>	



Code masse d'eau :	<u>FRDC04</u>
Nom de la masse d'eau :	Golfe de Fos
Typologie :	C20, Golfe de Fos et Rade de Marseille
Contrôle DCE :	Surveillance et opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Carteau	<div></div>
Fos	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU <div></div>	



Code masse d'eau :	<u>FRDC05</u>
Nom de la masse d'eau :	Côte bleue
Typologie :	C21, Côte bleue
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Carry	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU <div></div>	





Code masse d'eau :	<u>FRDC06b</u>
Nom de la masse d'eau :	Endoume - Cap Croisette et Iles de Frioul
Typologie :	C20, Golfe de Fos et Rade de Marseille
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Marseille Grande Rade	
Marseille Jetée	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU <div></div>	



Code masse d'eau :	<u>FRDC07a</u>
Nom de la masse d'eau :	Iles de Marseille hors Frioul
Typologie :	C22, des Calanques de Marseille à la baie de Cavalaire
Contrôle DCE :	Surveillance et opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Marseille Ile Plane	
Ile Maire	
ETAT DE LA MASSE D'EAU 	

Code masse d'eau :	<u>FRDC07b</u>
Nom de la masse d'eau :	Cap Croisette - Bec de l'Aigle
Typologie :	C22, des Calanques de Marseille à la baie de Cavalaire
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Cap Canaille	
ETAT DE LA MASSE D'EAU 	

Code masse d'eau :	<u>FRDC07e</u>
Nom de la masse d'eau :	Illet Pierreplane - Pointe de Gaou
Typologie :	C22, des Calanques de Marseille à la baie de Cavalaire
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Ile Embiez	
ETAT DE LA MASSE D'EAU 	

Code masse d'eau :	<u>FRDC07g</u>
Nom de la masse d'eau :	Cap Cépet - Cap Carqueiranne
Typologie :	C22, des Calanques de Marseille à la baie de Cavalaire
Contrôle DCE :	Surveillance et opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Toulon Grande Rade	
ETAT DE LA MASSE D'EAU 	

Code masse d'eau :	<u>FRDC07h</u>
Nom de la masse d'eau :	Iles du Soleil
Typologie :	C22, des Calanques de Marseille à la baie de Cavalaire
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Porquerolles	
Lavandou	
Ile Levant	
ETAT DE LA MASSE D'EAU 	

Code masse d'eau :	<u>FRDC08a</u>
Nom de la masse d'eau :	Cap Camarat - Ouest Fréjus
Typologie :	C24, du Golfe de St-Tropez à Cannes
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Pampelone	
ETAT DE LA MASSE D'EAU 	

Code masse d'eau :	<u>FRDC08d</u>
Nom de la masse d'eau :	Ouest Fréjus - Pointe de la Galère
Typologie :	C24, du Golfe de St-Tropez à Cannes
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Fréjus	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	

Code masse d'eau :	<u>FRDC09a</u>
Nom de la masse d'eau :	Cap d'Antibes - Sud port d'Antibes
Typologie :	C25, baie des Anges et environs
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Antibes 2	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	

Code masse d'eau :	<u>FRDC09b</u>
Nom de la masse d'eau :	Sud Port d'Antibes - Port de commerce de Nice
Typologie :	C25, baie des Anges et environs
Contrôle DCE :	Surveillance et opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Antibes Nord	<div></div>
Nice Ville	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	

Code masse d'eau : FRDC09d

Nom de la masse d'eau : Rade de Villefranche

Typologie : C25, baie des Anges et environs

Contrôle DCE : Surveillance et opérationnel

Classes d'état des stations de la masse d'eau

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Villefranche					
Monaco 2					

ETAT DE LA MASSE D'EAU

Code masse d'eau : FRDC10c

Nom de la masse d'eau : Monte Carlo - Frontière italienne

Typologie : C24, du Golfe de St-Tropez à Cannes

Contrôle DCE : Surveillance

Classes d'état des stations de la masse d'eau

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Menton					

ETAT DE LA MASSE D'EAU

Masses d'eau de la zone d'étude Corse

Code masse d'eau : FREC01ab

Nom de la masse d'eau : Pointe Palazzu - Sud Nonza

Typologie : C23, littoral N.O. de la Corse

Contrôle DCE : Surveillance

Classes d'état des stations de la masse d'eau

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Calvi	<div></div>				

ETAT DE LA MASSE D'EAU

Code masse d'eau : FREC01d

Nom de la masse d'eau : Canari

Typologie : C23, littoral N.O. de la Corse

Contrôle DCE : Opérationnel

Classes d'état des stations de la masse d'eau

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Canari	<div></div>				

ETAT DE LA MASSE D'EAU

Code masse d'eau : FREC02c

Nom de la masse d'eau : Littoral bastiais

Typologie : C26, côte sableuse est de la Corse

Contrôle DCE : Opérationnel

Classes d'état des stations de la masse d'eau

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Bastia Sud	<div></div>				

ETAT DE LA MASSE D'EAU

Code masse d'eau :	<u>FREC02d</u>
Nom de la masse d'eau :	Plaine orientale
Typologie :	C26, côte sableuse est de la Corse
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Aléria	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	



Code masse d'eau :	<u>FREC03b</u>
Nom de la masse d'eau :	Golfe de Porto-Vecchio
Typologie :	C18, Côte rocheuse languedocienne et sud de la Corse
Contrôle DCE :	Opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Porto Vecchio	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	



Code masse d'eau :	<u>FREC03ad</u>
Nom de la masse d'eau :	Littoral S.E. de la Corse
Typologie :	C18, Côte rocheuse languedocienne et sud de la Corse
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Santa Guilia	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	

Code masse d'eau :	<u>FREC03c</u>
Nom de la masse d'eau :	Santa Manza
Typologie :	C18, Côte rocheuse languedocienne et sud de la Corse
Contrôle DCE :	Opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Santa Manza	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	

Code masse d'eau :	<u>FREC03f</u>
Nom de la masse d'eau :	Goulet de Bonifacio
Typologie :	C18, Côte rocheuse languedocienne et sud de la Corse
Contrôle DCE :	Opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Bonifacio	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	

Code masse d'eau :	<u>FREC03eg</u>
Nom de la masse d'eau :	Littoral S.O. de la Corse
Typologie :	C18, Côte rocheuse languedocienne et sud de la Corse
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Figari-Bruzzi	<div></div>
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
<div></div>	

Code masse d'eau :	<u>FREC04b</u>
Nom de la masse d'eau :	Golfe d'Ajaccio
Typologie :	C24, du Golfe de St-Tropez à Cannes
Contrôle DCE :	Opérationnel
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Ajaccio	
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
	

Code masse d'eau :	<u>FREC04ac</u>
Nom de la masse d'eau :	Pointe Senetosa - Pointe Palazzu
Typologie :	C24, du Golfe de St-Tropez à Cannes
Contrôle DCE :	Surveillance
Classes d'état des stations de la masse d'eau	
	Très bon Bon Moyen Médiocre Mauvais
Cargèse	
ETAT DE LA MASSE D'EAU	
	

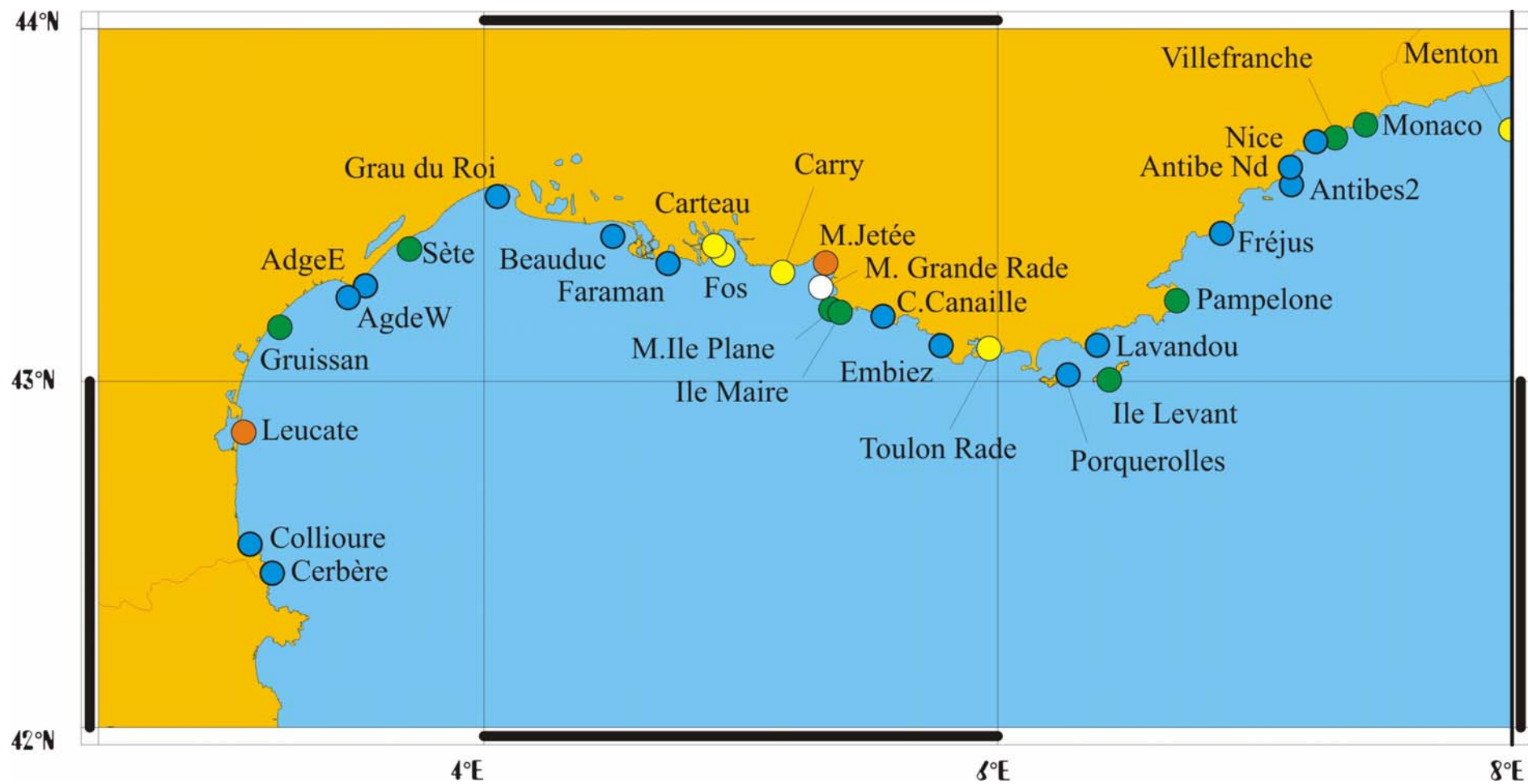
ANNEXE 5

Carte de la zone d'étude LR-PACA représentant les classes d'état écologique des stations étudiées.

Légende :

Classes d'état écologique :

-  Très bon
-  Bon
-  Moyen
-  Médiocre
-  Mauvais



ANNEXE 6

Carte de la zone d'étude Corse représentant les classes d'état écologique des stations étudiées.

Légende :

Classes d'état écologique :

-  Très bon
-  Bon
-  Moyen
-  Médiocre
-  Mauvais

