



UMR CNRS 6112, LPG-BIAF

Bio-indicateurs Actuels et Fossiles

UFR Sciences – Université d'Angers

2, boulevard Lavoisier

49045 Angers Cedex 01 - FRANCE

Étude des faunes de foraminifères benthiques de la côte méditerranéenne française : un nouvel indice biotique dans le cadre de la Directive Cadre Eau

Campagne DCE 2012

**Christine Barras, Frans Jorissen, Briz Parent,
Erica Bicchi, Laurie Charrieau, Sabine Schmidt**

Citation : Barras, C., Jorissen, F.J., Parent, B., Bicchi, E., Charrieau, L.M., Schmidt, S., 2015. Etude des faunes de foraminifères benthiques de la côte méditerranéenne française : un nouvel indice biotique dans le cadre de la Directive Cadre Eau. Campagne DCE 2012. UMR CNRS 6112 LPG-BIAF, Université d'Angers. 148 pages. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17366919>



Juin 2015



Sommaire

Liste des figures.....	7
Liste des tableaux.....	10
Liste des annexes.....	12
Introduction.....	13

PARTIE A : Étude des faunes vivantes de la campagne DCE 2012 en région Languedoc, Provence-Alpes-Côte d'azur et Corse

Matériels & méthodes.....	16
Étude de la faune vivante.....	18
Paramètres environnementaux	20
Zone Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur	20
Zone Corse.....	23
Résultats pour la zone LR-PACA	26
Densités et indices de diversité (fraction 150-500µm)	26
Densités 150-500µm	26
Richesse spécifique 150-500 µm	27
Indices de diversité 150-500µm	28
Composition des assemblages de foraminifères (150-500µm).....	32
Espèces majeures	32
Comparaison des assemblages des réplicats entre les stations (150-500µm).....	34
Groupes d'espèces indicatrices (fraction 150-500µm)	34
Groupes par structure du test.....	34
Espèces tolérantes.....	35
Espèces épiphytes	38

Espèces sensibles	39
Comparaison des paramètres faunistiques entre les fractions 125-500 et 150-500µm	41
Comparaison des densités entre 125-500µm et 150-500µm	41
Comparaison des richesses spécifiques entre 125-500 et 150-500 µm.....	42
Comparaison des indices de diversité entre 125-500µm et 150-500µm.....	42
Comparaison des assemblages entre les fractions 125-500µm et 150-500µm	45
Comparaison des groupes par structure de test entre 125-500µm et 150-500µm.....	45
Comparaison des espèces tolérantes entre 125-500µm et 150-500µm.....	46
Comparaison des espèces épiphytes entre 125-500µm et 150-500µm	47
Comparaison des espèces sensibles entre 125-500µm et 150-500µm.....	48
Résultats de la zone Corse.....	50
Densité et richesse spécifique.....	50
Indices de diversité.....	51
Composition des assemblages de foraminifères.....	54
Groupes par structure du test.....	54
Espèces tolérantes.....	55
Espèces épiphytes	56
Espèces sensibles	57

PARTIE B : Indice foraminifère (FI) et statut écologique (EQ)

Indice foraminifères et statut écologique.....	60
Indice foraminifères basé sur les faunes de la fraction 150-500µm (FI ₂₀₀₉).....	60
Calcul de FI ₂₀₀₉ pour la fraction 150-500µm	60
Pourcentages d'espèces tolérantes vs fraction fine de sédiment (<63µm).....	64
Comparaison de l'indice FI ₂₀₀₉ entre les campagnes 2009 et 2012.....	64
Indice foraminifères basé sur les faunes de la fraction 125-500µm (FI ₂₀₁₂).....	67
Définition des conditions de références pour la fraction 125-500µm	67
Calcul de FI ₂₀₁₂ pour la fraction 125-500µm	68
Comparaison des indices FI ₂₀₀₉ et FI ₂₀₁₂ pour la campagne 2012.....	70
Comparaison des EQ de la campagne 2009 et de la campagne 2012.....	72

PARTIE C : Étude de l'évolution historique des faunes de foraminifères

Introduction.....	78
Matériels et méthodes	78
Datation des sédiments.....	79
Radioéléments.....	79
Détermination de la vitesse de sédimentation (210PbXS).....	79
Étude de la faune morte.....	80
Résultats et interprétations	82
Préambule	82
Datations	83
Évolution des faunes à la station Ajaccio Nord	84
Indices de diversité.....	84
Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires.....	85
Espèces majeures	85
Espèces épiphytes, tolérantes et sensibles	86
Évolution des faunes à la station Antibes Sud	88
Indices de diversité.....	88
Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires.....	89
Espèces majeures	89
Espèces épiphytes, tolérantes et sensibles	90
Évolution des faunes à la station Carteau	92
Indices de diversité.....	92
Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires.....	92
Espèces majeures	93
Espèces épiphytes, tolérantes et sensibles	94
Conclusion	96

PARTIE D : Résumé, recommandations et perspectives

Résumé	100
Étude des foraminifères vivants et indice biotique.....	100

Étude des foraminifères morts, évolution historique	103
Recommandations.....	104
Perspectives	105
Liste de référence.....	107
Annexes.....	111

Liste des figures

Figure 1 : Carte montrant la position géographique des sites étudiés en LR-PACA et en Corse.	16
Figure 2 : Profondeur (m) des stations de la côte LR-PACA.	20
Figure 3 : Analyse granulométrique des stations de la côte LR-PACA.	21
Figure 4 : Matière organique (%) des stations de la côte LR-PACA.	23
Figure 5 : Profondeur (m) des stations de Corse.	24
Figure 6 : Analyse granulométrique des stations de Corse.	24
Figure 7 : Matière organique (%) des stations de Corse.	25
Figure 8 : Densité de foraminifères vivants (nombre d'individus standardisé pour 50 cm ³) le long du transect Ouest-Est de LR-PACA (intervalle 0-1cm, fraction 150-500µm, 3 réplicats par station).	27
Figure 9 : Richesse spécifique le long du transect Ouest-Est de LR-PACA (intervalle 0-1cm, fraction 150-500µm, 3 réplicats par station).	28
Figure 10 : Indices de diversité le long du transect Ouest-Est de LR-PACA (intervalle 0-1cm, fraction 150-500µm, 3 réplicats par station) : a) Shannon, b) équitabilité, et c) ES50 (uniquement pour les échantillons avec un nombre d'individus ≥ 50).	29
Figure 11 : Courbes de raréfaction pour les stations de la zone LR-PACA (intervalle 0-1cm, fraction 150-500µm, 3 réplicats par station, nombre d'individus ≥ 50) pour le groupe des stations à l'ouest (vert) et à l'est (bleu), la limite se positionnant entre Fos et Carry.	31
Figure 12 : Exemple de la distribution spatiale (densités standardisées) de 2 espèces (<i>Eggerella scabra</i> et <i>Elphidium crispum</i>) le long d'un transect Ouest-Est (3 réplicats par station sauf pour Porquerolles et Nice).	33
Figure 13 : Dendrogramme de l'indice de similarité de Morisita pour les densités absolues standardisées de faune totale de la fraction 150-500µm pour tous les échantillons analysés (3 réplicats par station).	34
Figure 14 : Pourcentages des trois principaux groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés, agglutinés) dans les faunes vivantes dans la fraction 150-500µm.	35
Figure 15 : Densités relatives des espèces tolérantes dans les différents réplicats des stations de LR-PACA (transect Ouest-Est) dans la fraction 150-500µm : a) basée sur la liste des espèces établies après la campagne de 2009 (panneau du haut) et b) liste des espèces mise à jour en 2012 (panneau du bas).	37
Figure 16 : Densités relatives des espèces épiphytes dans les différents réplicats des stations de LR-PACA (transect Ouest-Est) dans la fraction 150-500µm.	39
Figure 17 : Densités relatives des espèces sensibles dans les différents réplicats des stations de LR-PACA (transect Ouest-Est) dans la fraction 150-500µm.	40

Figure 18 : Densité de foraminifères vivants (nombre d'individus standardisé pour 50 cm ³) dans la fraction 125-150 et 150-500µm pour les répliquats où les 2 fractions ont été analysées.....	41
Figure 19 : Richesse spécifique pour la fraction 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les répliquats où les 2 fractions ont été analysées.	42
Figure 20 : Indices de diversité pour la fraction 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les répliquats où les 2 fractions ont été analysées : a) Shannon, b) équitabilité, et c) ES50.....	43
Figure 21 : Pourcentages des trois principaux groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés, agglutinés) dans les faunes vivantes dans la fraction 125-500µm et 150-500µm pour les échantillons où les 2 fractions ont été analysées.	46
Figure 22 : Densités relatives des espèces tolérantes dans la fraction 150-500 µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les échantillons où les 2 fractions ont été analysées.....	47
Figure 23 : Densités relatives des espèces épiphytes dans la fraction 150-500µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les échantillons où les 2 fractions ont été analysées.....	48
Figure 24 : Densités relatives des espèces sensibles dans la fraction 150-500µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les échantillons où les 2 fractions ont été analysées.....	49
Figure 25 : Densité de foraminifères vivants (nombre d'individus standardisé pour 50 cm ³) de la zone Corse dans les fractions 125-150 et 150-500µm. Seuls les répliquats où la densité totale de la fraction 150-500µm est supérieure à 20 individus par 50cm ³ sont représentés.	50
Figure 26 : Richesse spécifique pour la fraction 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les répliquats de la zone Corse.	51
Figure 27 : Indices de diversité pour la fraction 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les répliquats de la zone Corse : a) Shannon, b) équitabilité, et c) ES50 (uniquement pour les échantillons avec un nombre d'individus ≥ 50).....	52
Figure 28 : Dendrogramme de l'indice de similarité de Morisita pour les densités absolues standardisées de la faune totale de la fraction 150-500µm pour tous les échantillons analysés (3 répliquats par station).	54
Figure 29 : Pourcentages des trois principaux groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés, agglutinés) dans les faunes vivantes dans les fractions 125-500 et 150-500µm pour les échantillons de la zone Corse.	55
Figure 30 : Densités relatives des espèces tolérantes dans les fractions 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les stations de Corse.	56
Figure 31 : Densités relatives des espèces épiphytes dans la fraction 150-500µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les stations de Corse.	57
Figure 32 : Densités relatives des espèces sensibles dans la fraction 150-500µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les stations de Corse.	58
Figure 33 : Valeurs de FI ₂₀₀₉ calculé à partir des données de la fraction 150-500µm pour tous les répliquats des stations LR-PACA (panneau du haut) et Corse (panneau du bas) de la campagne 2012. Attention, l'échelle n'est pas la même entre les 2 panneaux.	61

Figure 34 : Pourcentage des espèces tolérantes de la fraction 150-500µm en fonction du pourcentage d'argiles et silts (<63µm) pour tous les réplicats des stations de LR-PACA, en vert pour les stations à l'ouest et en bleu pour les stations à l'est, la limite se situant entre Fos et Carry.	64
Figure 35 : Définition des conditions de références à partir des données de tous les réplicats de LR-PACA où les fractions 125-150µm et 150-500µm ont été analysées.	67
Figure 36 : Comparaison des valeurs de FI calculés pour les données de la campagne de 2012, soit en utilisant les données de la fraction 125-500µm et les nouvelles références de 2012 (FI ₂₀₁₂ , bleu), soit en utilisant les données de la fraction 150-500µm et les références définies en 2009 (FI ₂₀₀₉ , rouge).	69
Figure 37 : Densités standardisées des espèces tolérantes pour les 3 réplicats de la station Cap Canaille (fraction 150-500µm).	73
Figure 38 : Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires (porcelanées + hyalines) à la station Ajaccio Nord.	85
Figure 39 : Pourcentage d'espèces épiphytes, tolérantes et sensibles de la faune morte (de 1948 à 2000) et de la faune vivante de 2012 à la station d'Ajaccio Nord.	87
Figure 40 : (A) courantologie et (B) direction du vent dans le golfe d'Ajaccio d'après http://envlit.ifremer.fr/region/corse/milieu/courantologie et Bellofiore et al. (2005).	88
Figure 41 : Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires (porcelanées + hyalines) à la station Antibes Sud.	89
Figure 42 : Pourcentage d'espèces sensibles, tolérantes et épiphytes de la faune morte de 1981 à 2004 et de la faune vivante de 2012 à la station d'Antibes Sud.	91
Figure 43 : Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires (porcelanées + hyalines) à la station Carteau.	92
Figure 44 : Pourcentage d'espèces sensibles, tolérantes et épiphytes de la faune morte de 1996 à 2009 et de la faune vivante de 2012 à la station de Carteau.	95

Liste des tableaux

Tableau 1 : Stations échantillonnées lors de la campagne DCE 2012.	17
Tableau 2 : 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.	22
Tableau 3 : Différence des valeurs d'indices de diversité entre le groupe de stations à l'ouest (de Collioure à Fos, 10 stations) et à l'est (de Carry à Menton, 15 stations).	31
Tableau 4 : Liste des espèces tolérantes indicatrices de stress environnemental. Les espèces absentes dans les échantillons de la campagne 2009 et qui ont été identifiés dans les échantillons de 2012 sont indiqués par un astérisque.	36
Tableau 5 : Liste des espèces ayant un mode de vie épiphyte.	38
Tableau 6 : FI ₂₀₀₉ (150-500µm, référence de 2009) et statuts écologiques (EQ) correspondant pour tous les répliquats de la campagne DCE 2012 en LR-PACA et en Corse.	63
Tableau 7 : Comparaison entre le FI ₂₀₀₉ (150-500µm, conditions de référence de 2009, moyenne des FI des répliquats pour la campagne 2012) et statuts écologiques (EQ) correspondant des stations LR-PACA et Corse pour les campagnes de 2009 et 2012.	66
Tableau 8 : Comparaison entre le FI ₂₀₀₉ (150-500µm, conditions de référence de 2009) et le FI ₂₀₁₂ (125-500µm, nouvelles conditions de référence de 2012) et statuts écologiques (EQ) correspondant pour les stations LR-PACA et Corse de la campagne de 2012 (uniquement les échantillons dont la fraction 125-150µm a été analysée sont considérés).	71
Tableau 9 : Récapitulatif des classes écologiques (couleurs) et des valeurs d'indices FI obtenus à partir a) des données des foraminifères (fraction 150-500µm) de la campagne DCE 2009 et les conditions de références définies en 2009, b) des données des foraminifères (fraction 150-500µm) de la campagne DCE 2012 et les conditions de références définies en 2009 (pour chaque réplikat et moyenne par station), et c) des données des foraminifères (fraction 125-500µm) de la campagne DCE 2012 et les nouvelles conditions de références définies en 2012 (pour chaque réplikat disponible et moyenne par station). La colonne d) représente la différence entre les EQ (issu de FI ₂₀₀₉) de la campagne 2009 (colonne a) et les EQ (issu de FI ₂₀₁₂) de la campagne 2012 (colonne c, moyennes)... ..	74
Tableau 10 : Récapitulatif des stations échantillonnées lors de la campagne DCE 2012 pour l'étude de l'évolution historique des faunes.	79
Tableau 11 : Découpage des carottes pour l'étude de la faune morte pour chaque station.	80
Tableau 12 : Liste des espèces agglutinées non fossilisables.....	81
Tableau 13: Taux de sédimentation, intervalles sélectionnés et datations pour les trois stations étudiées.....	84
Tableau 14 : Valeurs des indices de diversité et du pourcentage des espèces indicatrices (épiphytes, tolérantes et sensibles) pour la station Ajaccio Nord calculées pour l'échantillonnage de 2012 (faune morte et faune vivante).	84
Tableau 15 : Espèces majeures (> 5%) de la station Ajaccio Nord.	86

Tableau 16 : Indice de Renkonen pour la station Ajaccio Nord.	86
Tableau 17 : Valeurs des indices de diversité et du pourcentage des espèces indicatrices (épiphytes, tolérantes et sensibles) pour la station Antibes Sud calculées pour l'échantillonnage de 2012 (faune morte et faune vivante) et l'échantillonnage de 2009 (faune vivante, données issues du rapport de 2011).....	88
Tableau 18 : Espèces majeures (> 5%) de la station Antibes Sud.	90
Tableau 19 : Indice de Renkonen pour la station Antibes Sud.....	90
Tableau 20 : Valeurs des indices de diversité et du pourcentage des espèces indicatrices (épiphytes, tolérantes et sensibles) pour la station Carteau calculées pour l'échantillonnage de 2012 (faune morte et faune vivante) et l'échantillonnage de 2009 (faune vivante, données issues du rapport de 2011).....	92
Tableau 21 : Espèces majeures (> 5%) de la station Carteau.....	93
Tableau 22 : Indice de Renkonen pour la station Carteau.	94
Tableau 23 : Récapitulatif des statuts écologiques attribués aux stations LR-PACA et Corse en 2009 (FI2009, fraction 150-500µm, conditions de référence de 2009) et en 2012 (FI2012, fraction 125-500µm, conditions de référence de 2012).....	102

Liste des annexes

Annexe 1 : Analyse détaillée des stations dont les réplicats montrent des densités de foraminifères différentes.

Annexe 2 : Influence de la densité absolue de foraminifères benthiques sur les indices de diversité.

Annexe 3 : Données brutes de comptage des foraminifères vivants des stations LR-PACA et Corse (voir abréviations des stations en Tableau 1), fractions 125-150µm (code « 125 ») et 150-500µm (code « 150 »).

Annexe 4 : Densités relatives des espèces 35 espèces majeures dont la densité relative est supérieure à 10% dans au moins un des échantillons (150-500µm) des stations de LR-PACA.

Annexe 5 : Dendrogramme de l'indice de similarité de Morisita pour les densités relatives (pourcentages) de faune totale de la fraction 150-500µm pour tous les échantillons analysés (3 réplicats par station) pour la zone LR-PACA d'une part et la zone Corse d'autre part.

Annexe 6 : Rappel de la littérature sur les espèces tolérantes identifiées en 2009.

Annexe 7 : Densités relatives des espèces tolérantes (liste mise à jour en 2012) dans la fraction 150-500µm pour les 3 réplicats pour chaque station des zones LR-PACA et Corse.

Annexe 8 : Densités standardisées des espèces tolérantes de la zone LR-PACA puis Corse (liste mise à jour en 2012) dans la fraction 150-500µm et 125-150µm (seuls les échantillons où les 2 fractions ont été analysées sont présentés). NB : l'échelle est différente en fonction de l'espèce considérée.

Introduction

En 2009, le laboratoire UMR CNRS 6112 LPG-BIAF avait réalisé à la demande de l'Agence de l'Eau Méditerranée et Corse une étude des faunes de foraminifères aux stations étudiées dans le cadre de la Directive Cadre Eau (DCE). Au cours de cette étude, nous avons analysé les faunes vivantes dans le sédiment superficiel, leur distribution verticale dans le sédiment, ainsi que les faunes mortes (niveau 3-4cm). Le but était de développer un indice biotique basé sur les faunes de foraminifères permettant d'évaluer la qualité des fonds benthiques en milieu marin côtier.

Les principales conclusions de ce rapport étaient les suivantes :

- 1) il n'est pas nécessaire d'analyser les faunes vivantes le long de la colonne sédimentaire pour notre zone d'étude. En effet, l'analyse du centimètre superficiel permettait d'avoir une bonne image des faunes présentes à la station tant au niveau des indices de diversité que de la composition des assemblages ;
- 2) nous avons développé un indice biotique qui permet de classer la qualité de l'écosystème à partir du pourcentage d'espèces tolérantes à des phénomènes d'eutrophisation ; dans cet indice, nous apportons une correction pour la granulométrie du sédiment ;
- 3) l'étude de la faune morte du niveau sédimentaire 3-4cm a montré, selon les stations, soit des conditions écologiques inchangées (pas de changement d'assemblage), soit une certaine dégradation du milieu (diminution des espèces épiphytes ou sensibles et augmentation des espèces tolérantes). Cependant, en l'absence de datation du sédiment, il était impossible de savoir si le niveau 3-4cm analysé représente du sédiment de l'année en cours, de l'année passée ou d'il y a 50 ans. L'interprétation de la différence entre les faunes mortes et les faunes vivantes était donc relativement limitée.

L'étude de la campagne de prélèvement de 2012 que nous présentons dans ce rapport a pour but d'appliquer l'indice foraminifère développé lors de la campagne de 2009 sur les mêmes masses d'eau (LR-PACA et Corse) et d'étudier la faune morte à plusieurs stations avec l'appui de datations du sédiment pour explorer l'utilité des faunes mortes pour la définition des conditions de références.

D'après les conclusions de l'étude en 2009 et suite aux recommandations données par le groupe d'experts FOBIMO (Schönfeld et al., 2012) spécialisés dans l'utilisation des foraminifères dans les études de bio-monitoring (dont C. Barras et F. Jorissen font partie), nous avons proposé à l'AE RMC un protocole légèrement différent. Nous avons étudié uniquement le centimètre superficiel de sédiment pour 3 répliquats par station et nous avons étudié la fraction 125-150µm en plus de la fraction 150-500µm. En effet, en 2009, notre étude se limitait aux foraminifères de la fraction 150-500µm qui comprend les individus adultes de la majorité des espèces présentes. Cependant, le groupe FOBIMO a recommandé d'étudier la fraction supérieure à 125µm car celle-ci permettrait de prendre également en compte quelques espèces opportunistes de petite taille. L'étude de répliquats nous permettra d'avoir une idée de la variation spatiale à petite échelle et d'avoir une meilleure représentation des conditions environnementales à chaque station.

Dans ce rapport, nous allons donc :

- 1) comparer les données obtenues pour la fraction 125-500 μ m et 150-500 μ m afin de déterminer si l'information donnée par la fraction fine (125-150 μ m) permet d'obtenir une interprétation plus précise des conditions à la station. En effet, ajouter l'étude de cette fraction fine rallonge le temps de traitement de l'échantillon et donc le coût de l'analyse. Il est donc primordial de déterminer son intérêt ;
- 2) comparer les répliquats d'une même station pour étudier la variabilité à petite échelle spatiale ;
- 3) appliquer l'indice foraminifères développé à partir de la campagne de 2009 sur les faunes de foraminifères vivants (fraction 150-500 μ m) de la campagne 2012
- 4) adapter cet indice aux données de la fraction 125-500 μ m ;
- 5) comparer la classification obtenue pour les stations entre 2009 et 2012 grâce à cet indice foraminifères. Nous pourrions ainsi identifier les stations qui ont vu leur qualité s'améliorer ou se dégrader ;
- 6) étudier les variations de la faune morte au cours du temps pour 3 stations.

Ce rapport se divise en 4 grandes parties :

PARTIE A : Étude des faunes vivantes de la campagne DCE 2012 en région
Languedoc, Provence-Alpes-Côte d'azur et Corse

PARTIE B : Indice foraminifère (FI) et statut écologique (EQ)

PARTIE C : Étude de l'évolution historique des faunes de foraminifères

PARTIE D : Résumé, recommandations et perspectives

PARTIE A :

ETUDE DES FAUNES VIVANTES DE LA CAMPAGNE DCE 2012 EN REGION LANGUEDOC, PROVENCE-ALPES-COTES D'AZUR ET CORSE

Matériels & méthodes

Les échantillons sédimentaires utilisés pour l'étude des foraminifères ont été prélevés tout le long de la côte méditerranéenne française, en mars-avril 2012, à bord du navire l'Europe : 25 stations en LR-PACA et 11 en Corse (Figure 1). Le Tableau 1 récapitule les noms des stations, leurs localisations, leurs profondeurs d'eau et les masses d'eau qu'elles caractérisent. Le sédiment superficiel a été échantillonné à l'aide d'un sous-carottage dans un carottier-boîte Reineck (diamètre interne des sous-carottes = 7,10cm).

Par rapport à l'étude de 2009, les stations Cerbère, Agde Ouest, Marseille Jetée, Marseille Grande Rade, Ile de Levant et Monaco, pour la région LR-PACA, n'ont pas été échantillonnées lors de la campagne océanographique de 2012. En ce qui concerne la Corse, les stations Porto-Vecchio et Santa Manza n'ont pas été échantillonnées en 2012 contrairement à la campagne de 2009 ; par contre, la station Ajaccio Nord a été ajoutée.

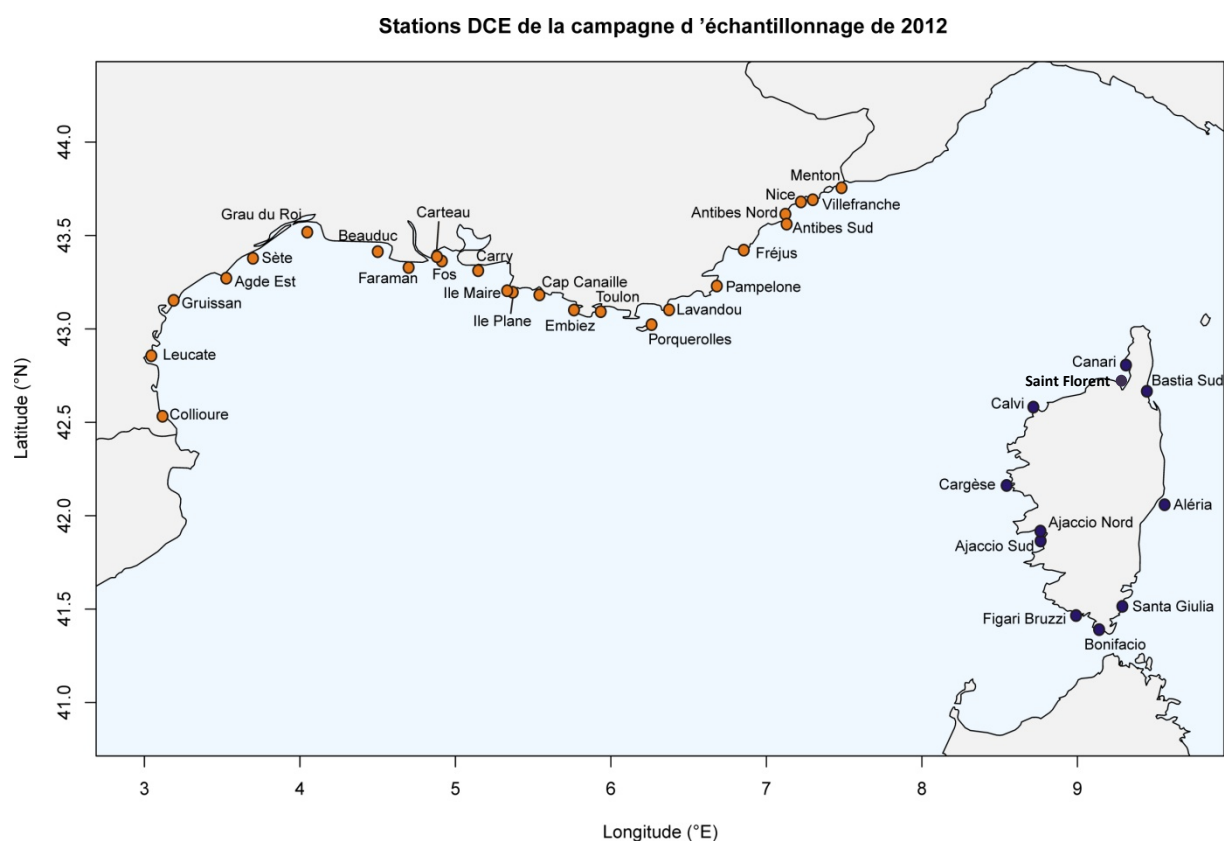


Figure 1 : Carte montrant la position géographique des sites étudiés en LR-PACA et en Corse.

Zone	Code Masse d'eau	Nom Masse d'eau	Nom station	Abrév.	Latitude (degré déc.)	Longitude (degré déc.)	Profondeur (m)
LR-Paca	FRDC01	Espagne_Racou plage	Collioure	Colli	42.531993	3.089476	23
LR-Paca	FRDC02a	Racou plage_Embouchure de l.Aude	Leucate	Leuc	42.855833	3.058317	22
LR-Paca	FRDC02a	Racou plage_Embouchure de l.Aude	Gruissan	Gruis	43.152421	3.201952	20
LR-Paca	FRDC02c	Cap Agde	Agde Est	AgdE	43.270892	3.540481	22
LR-Paca	FRDC02e	Sète - Frontignan	Sète	Sete	43.377447	3.711956	20
LR-Paca	FRDC02f	Frontignan - Pointe de l.Espiguette	Grau du Roi	Grau	43.517358	4.061095	14,5
LR-Paca	FRDT21	Delta du Rhône	Beauduc	Bduc	43.413226	4.514416	13
LR-Paca	FRDT21	Delta du Rhône	Faraman	Fara	43.328008	4.713091	11,9
LR-Paca	FRDC04	Golfe de Fos	Carteau	Cart	43.386447	4.894846	10
LR-Paca	FRDC04	Golfe de Fos	Fos	Fos	43.362500	4.926730	18
LR-Paca	FRDC05	Cote bleue	Carry	Carry	43.311362	5.160359	41
LR-Paca	FRDC07a	Iles marseille_Cortiou	Ile Plane	Plane	43.195724	5.382787	34
LR-Paca	FRDC07a	Iles marseille_Cortiou	Ile Maire	Maire	43.203967	5.346696	41
LR-Paca	FRDC07b	Cap croisette_Bec aigle	Cap Canaille	Ccan	43.181619	5.554004	71
LR-Paca	FRDC07e	Illet pierre plane_Point Gaou	Ile Embiez	Embi	43.100558	5.776678	32
LR-Paca	FRDC07g	Cepet_Carqueiranne	Toulon Grande Rade	Toul	43.093495	5.948250	29
LR-Paca	FRDC07h	Iles du soleil	Porquerolles	Porq	43.022370	6.275321	45
LR-Paca	FRDC07h	Iles du soleil	Lavandou	Lav	43.101433	6.387933	36
LR-Paca	FRDC08a	Pointe des Issambres - Ouest Fréjus	Pampelone	Pamp	43.229138	6.695107	43
LR-Paca	FRDC08d	Ouest frejus_Pointe galere	Fréjus (St Raphael)	Frej	43.421149	6.868306	38,5
LR-Paca	FRDC09a	Cap antibes_Sud port antibes	Antibes Sud	AntibS	43.560524	7.144063	30,5
LR-Paca	FRDC09b	Sud port antibes_Port commerce nice	Antibes Nord	AntibN	43.613667	7.136085	17,9
LR-Paca	FRDC09b	Sud port antibes_Port commerce nice	Nice ville	Nice	43.679355	7.235973	13
LR-Paca	FRDC09d	Rade Villefranche	Villefranche	Vfran	43.690873	7.312268	52
LR-Paca	FRDC10c	Monte Carlo - Frontiere italienne	Menton	Ment	43.754987	7.494845	53
Corse	FREC01ab	Pointe palazzu_Sud nonza	Calvi (Revellata)	Calvi	42.580868	8.730683	43
Corse	FREC01c	Golfe de Saint-Florent	St Florent	Sflor	42.708635	9.294151	36
Corse	FREC01d	Canari	Canari	Cana	42.805891	9.326275	34
Corse	FREC02c	Littoral bastiais	Bastia Sud 2	Bast	42.665594	9.460653	30
Corse	FREC02d	Plaine orientale	Aléria (Tavignano)	Aleri	42.058271	9.574686	44
Corse	FREC03ad	Littoral S-E corse	Santa Giulia	Sgiul	41.514283	9.303084	36
Corse	FREC03f	Goulet de Bonifacio	Bonifacio	Bonif	41.389671	9.153603	20
Corse	FREC03eg	Littoral S-O corse	Figari Bruzzi	Fbruz	41.465132	9.005235	39
Corse	FREC04b	Golfe d'Ajaccio	Ajaccio Sud	Ajac	41.864312	8.777199	37
Corse	FREC04b	Golfe d'Ajaccio	Ajaccio Nord	AjacN	41.917125	8.776156	65
Corse	FREC04ac	Pointe sentosa_Pointe palazzu	Cargèse	Carg	42.161517	8.558767	60

Tableau 1 : Stations échantillonnées lors de la campagne DCE 2012.

Autant que possible, pour chaque station, les répliquats ont été prélevés à partir de différents tirs de carottier Reineck. Uniquement pour les répliquats suivants, qui ont été prélevé au sein d'un même carottier, ceci n'a pas été le cas : Collioure b et c, Agde Est a et b, Grau du Roi b et c, Ile Maire c et d, Ile Embiez c et d.

Une fois à bord, les boîtes du carottier Reineck ont été sous-carottées et le premier centimètre de sédiment a été prélevé à l'aide d'une spatule. Parfois, le sous-carottage n'a pas pu être réalisé (par exemple, présence de cailloux empêchant le sous-carottage), et il était uniquement possible de prélever à la cuillère approximativement le centimètre supérieur de la totalité de la boîte Reineck. Le sédiment ainsi prélevé a été ensuite conservé dans un mélange à 2g/l de Rose Bengale (ce qui permet de reconnaître les individus vivants) et d'éthanol à 95% (pour conserver l'échantillon).

Pour l'étude de la faune morte, 5 stations ont été échantillonnées (Ajaccio Nord, Antibes Sud, Canari, Carreau, Villefranche). Les carottes ont été découpées en 4 tranches d'un demi-centimètre entre 0 et 2cm (0-0,5, 0,5-1, 1-1,5 et 1,5-2cm), 4 tranches d'un centimètre entre 2 et 6cm (2-3, 3-4, 4-5 et 5-6cm) puis en tranches de deux centimètres d'épaisseur jusqu'au niveau le plus profond de la carotte (maximum de 18cm). Les tranches de 0 à 10cm ont été mises dans le mélange Rose Bengale plus éthanol tandis que les tranches plus profondes ont été mises directement dans des sacs zip-lock. Pour ces cinq stations, une carotte supplémentaire a été prélevée pour la datation du sédiment au ^{210}Pb au laboratoire EPOC (UMR CNRS 5805) par S. Schmidt. Ces carottes ont été découpées par pas de 1cm de la surface jusqu'au centimètre le plus profond.

Au LPG-BIAF (Université d'Angers), chaque échantillon a été tamisé pour séparer 4 fractions granulométriques (>500 μm , 150-500 μm , 125-150 μm et 63-125 μm). Les fractions 125-150 μm et 150-500 μm ont été utilisées pour l'étude des faunes de foraminifères. Les études classiques sur les foraminifères sont effectuées sur différentes fractions. Le plus souvent on trouve les fractions >63 μm , >125 μm , >150 μm et >250 μm . Pour l'étude des échantillons de la campagne de 2009, nous avons étudié uniquement la fraction 150-500 μm pour limiter le temps de tri, qui augmente de façon significative quand on inclut des sédiments plus fins. Pour la campagne de 2012, nous avons décidé d'analyser les fractions 125-150 μm et 150-500 μm . Ceci, suite aux recommandations du groupe FOBIMO, formé de spécialistes dans les études de bio-monitoring basées sur l'analyse des foraminifères (Schönfeld et al., 2012). En effet, ils considèrent que l'étude de cette fraction permet de prendre en compte des espèces opportunistes de petite taille qui pourraient être omises en étudiant uniquement la fraction >150 μm . La limite supérieure a été fixée à 500 μm , car la fraction >500 μm ne contient que très peu de foraminifères vivants, tandis qu'une grande quantité de débris végétaux et coquillés y complique et rallonge fortement le temps d'analyse. Au final, nous pourrions comparer les données de la campagne 2009 et 2012 en ne considérant que la fraction 150-500 μm . Nous pourrions également étudier l'importance de l'analyse de la fraction plus fine (125-150 μm), en comparant les paramètres faunistiques et les assemblages entre les fractions 125-500 μm et 150-500 μm pour les échantillons de la campagne 2012.

Étude de la faune vivante

Pour le premier réplikat de chaque station, 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. Seuls les individus montrant un protoplasme coloré par le Rose Bengale ont été considérés comme vivants. Pour les réplikats 2 et 3, selon l'expérimentateur, les échantillons ont été traités de la même manière que le réplikat 1, ou bien les foraminifères vivants ont été identifiés directement dans l'échantillon, sous loupe binoculaire. Au total, les faunes de foraminifères du premier centimètre de sédiment (0-1cm) de 35 stations (25 en LR-PACA et 10 en Corse) ont été analysées pour un total de 105 échantillons (3 réplikats par station, 75 pour LR-PACA et 30 pour la Corse). La fraction 150-500 μm a été analysée pour les 105 échantillons. La fraction 125-150 μm a été analysée pour 47 échantillons en LR-PACA (au moins 1 réplikat pour chaque station, 3 réplikats ont été analysés pour 11 stations de LR-PACA) et pour les 3 réplikats des 10 stations de Corse.

Pour chacune des stations (3 réplikats) et pour chaque fraction de sédiment considérée (soit 125-500 μm , soit 150-500 μm), nous avons calculé la densité de la faune totale (standardisée pour un volume de 50 cm^3), la richesse spécifique (nombre d'espèces), plusieurs indices de biodiversité et le

pourcentage 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 :

$$H = -\sum \left(\left(\frac{n_i}{N} \right) \times \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right) \quad (\text{Equation 1})$$

$$J = \frac{H}{\ln(S)} \quad (\text{Equation 2})$$

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'Equitabilité (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).

Les densités de foraminifères étant très différentes entre les stations, nous avons également calculé (en utilisant le logiciel PAST, Hammer et Harper, 2005) le nombre d'espèces attendues pour l'analyse d'un sous-échantillon de 50 individus issus de la population totale de tous les individus (ES50). Le concept de cet indice (expected number of species, ES) a tout d'abord été proposé par Sanders (1968) mais son calcul a été modifié par Hurlbert (1971) selon l'équation suivante :

$$ES_{50} = 1 - \sum_{i=1}^s \frac{(N - N_i)!(N - 50)!}{(N - N_i - 50)!N!}$$

où N est la densité totale d'individus à la station considérée, N_i est l'abondance de l'espèce i à la station considérée, et s est le nombre d'espèce à cette station. L'ES50 n'a pas été calculé lorsque la densité absolue standardisée pour 50cm³ était inférieure à 50 individus.

Afin de comparer de manière statistique les données obtenues pour les fractions 125-500µm et 150-500µm, nous avons utilisé un test paramétrique ou non paramétrique pour comparer 2 échantillons appariés en fonction de la normalité des données (test de Shapiro-Wilk qui est particulièrement adapté aux échantillons de petite taille ($n < 50$)). 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 $p < 0,05$).

Pour la comparaison statistique entre les stations situées à l'ouest et à l'est, la limite se situant entre les stations Fos et Carry, nous avons de nouveau testé la normalité des données. En fonction du résultat de ce test, nous avons appliqué le test paramétrique de Student ou le test non paramétrique

de Mann et Whitney pour des échantillons indépendants (une différence significative étant identifiée pour $p < 0,05$).

Paramètres environnementaux

Zone Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur

Dans le cadre de la DCE, les prélèvements sont effectués dans la zone des 1 mille de la côte, sans tenir compte de la morphologie sous-marine. Comme lors de la campagne 2009, cette stratégie d'échantillonnage appliquée aux côtes LR-PACA induit une différence très nette en profondeur d'eau entre les stations à l'ouest (17m en moyenne) et à l'est (37m en moyenne), la limite se situant entre les stations Fos et Carry (Figure 2).

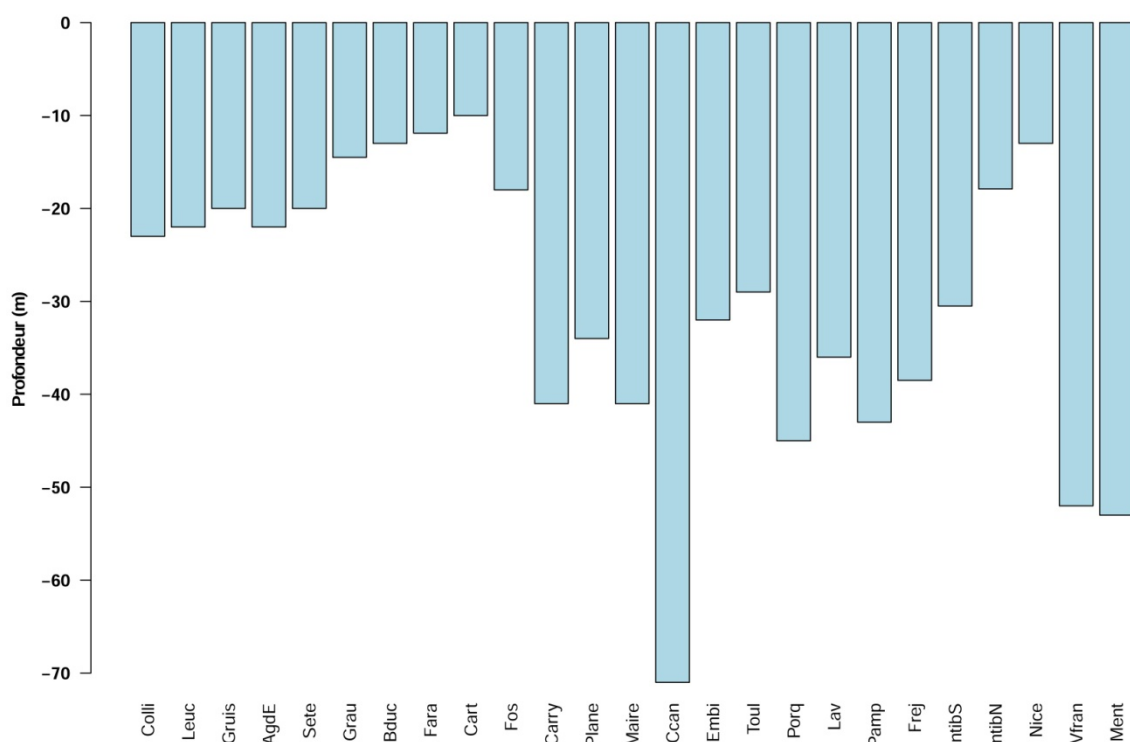


Figure 2 : Profondeur (m) des stations de la côte LR-PACA.

La granulométrie et le pourcentage de matière organique contenue dans le sédiment ont été analysés par le Laboratoire d'Ecogéochimie des Environnements Benthiques de Banyuls-sur-Mer (UMR 8222 LECOB, Céline Labrune). Ces paramètres, partiellement liés à la profondeur d'eau des stations, sont très importants car ils déterminent en grande partie la distribution des faunes de foraminifères. Pour cette campagne 2012, nous avons souhaité réaliser des analyses granulométriques sur le sédiment des mêmes boîtes Reineck que celles utilisées pour l'analyse des foraminifères. En effet, pour une station donnée, en tout, 6 tirs de bennes Van Veen et 3 tirs de

carottier Reineck sont réalisés. Selon la dérive du bateau et la variabilité spatiale à la station, la granulométrie du sédiment peut parfois varier notablement lors de l'échantillonnage. Sachant que notre indice biotique basé sur les faunes de foraminifères tient compte du pourcentage de fraction fine ($<63\mu\text{m}$), il nous semblait indispensable d'avoir une évaluation précise de ce paramètre à chaque station. De manière générale, un seul prélèvement a été réalisé par station pour l'analyse granulométrique, à l'exception des stations ile Embiez et Fréjus, où 2 prélèvements ont été réalisés du fait d'une forte variabilité du type de sédiment observé entre les différentes boîtes Reineck.

Comme observé en 2009 le long des côtes LR-PACA, les stations à l'ouest de Carry présentent une faible proportion de sables $>250\mu\text{m}$ (Figure 3), à l'exception de la station 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. Cap Canaille, Antibes Nord et Sud, Nice, Menton). De façon paradoxale, il existe donc une corrélation positive entre le pourcentage de particules $>250\mu\text{m}$ et la profondeur d'eau pour l'ensemble de la zone d'étude (Tableau 2). Il existe également une corrélation négative entre le pourcentage de sables fins ($63-250\mu\text{m}$) et la profondeur d'eau. Enfin, les stations proches de l'embouchure du Rhône présentent une plus forte proportion de particules $<125\mu\text{m}$, ce qui est compatible avec la dynamique du panache du fleuve.

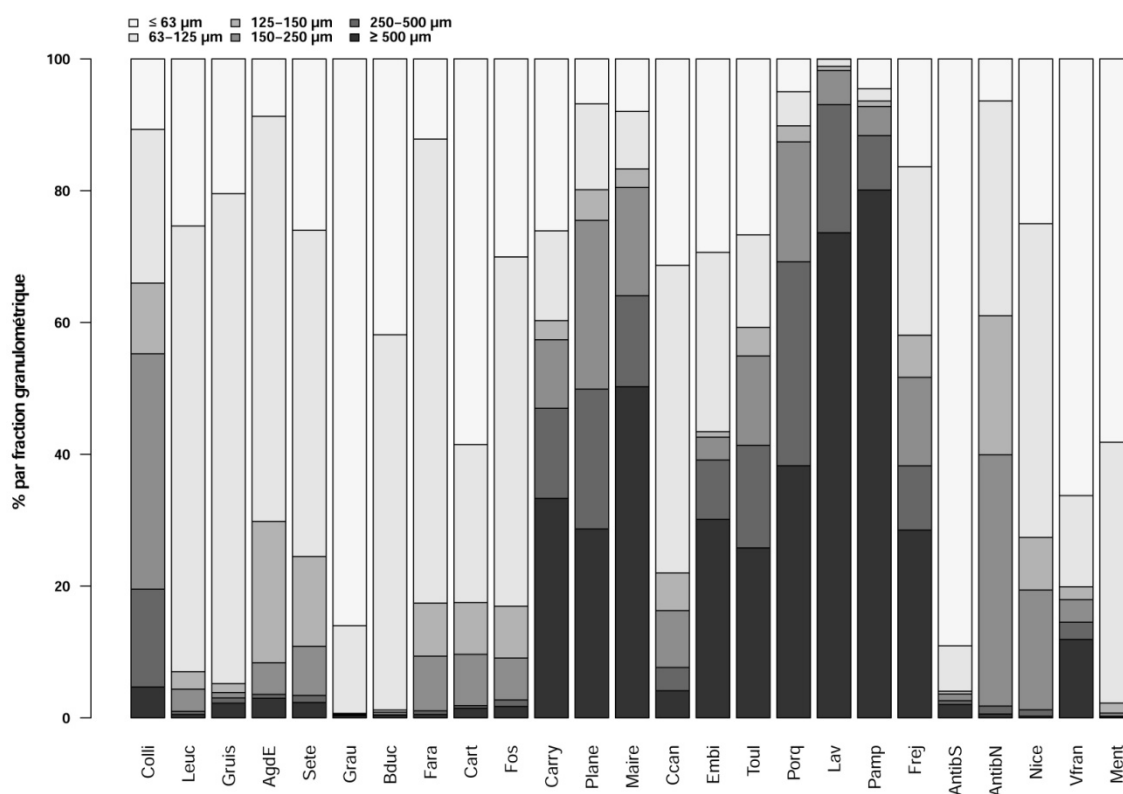


Figure 3 : Analyse granulométrique des stations de la côte LR-PACA.

	Profondeur	Morg	<63µm	63-250µm	>250µm
Profondeur		0.000	0.879	0.000	0.000
Morg	0.51		0.265	0.000	0.000
<63µm	-0.02	0.14		0.002	0.000
63-250µm	-0.44	-0.64	-0.36		0.000
>250µm	0.42	0.46	-0.52	-0.61	

Tableau 2 : 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.

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 (Figure 4).

Les teneurs en matière organique des stations entre Collioure et Faraman sont caractérisées par des valeurs relativement faibles (entre 1,4 et 2,4%). Il n'existe pas de corrélation positive entre le pourcentage de matière organique et la fraction fine du sédiment (Tableau 2) comme cela a été observé dans d'autres zones d'études (e.g. Jorissen, 1987, 1988 ; Fontanier et al., 2008a). Au contraire, il existe une corrélation positive avec la fraction de sables moyens à grossiers (Tableau 2). La présence d'importantes quantités de 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.

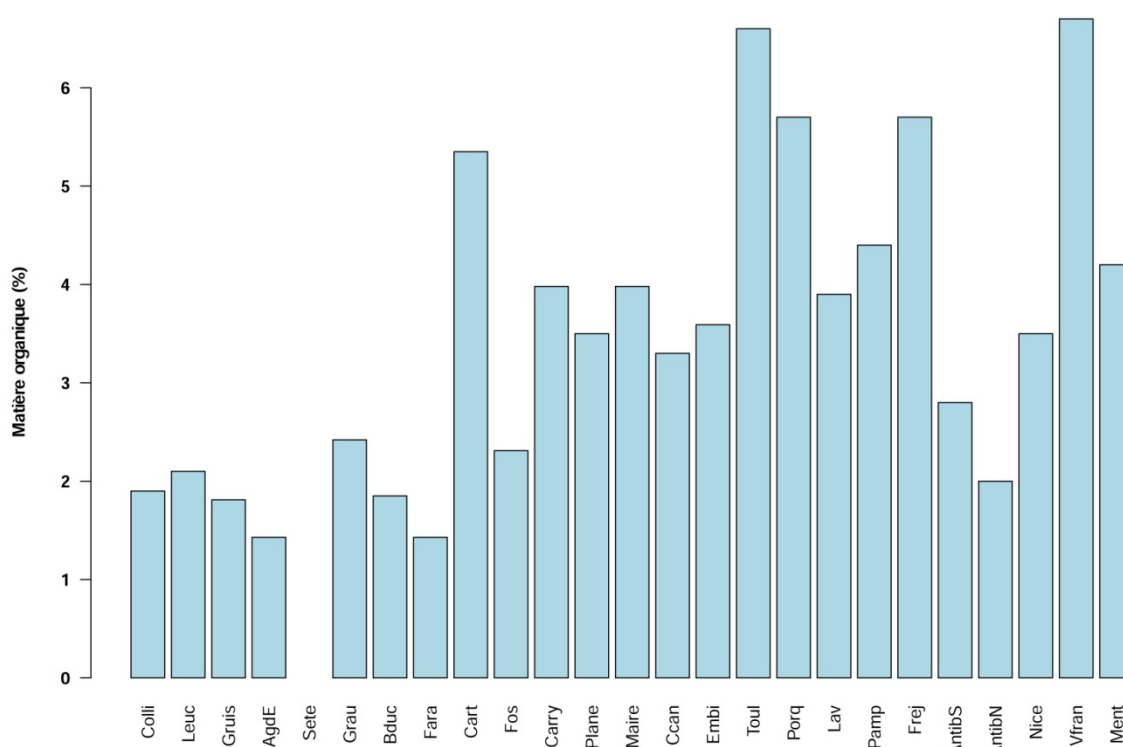


Figure 4 : Matière organique (%) des stations de la côte LR-PACA.

Finalement, les caractéristiques environnementales 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.

Zone Corse

La profondeur d'eau des stations de Corse varie entre 20 et 65m (Figure 5). De nouveau, les profondeurs sont assez variées en fonction de la localisation de la station. De même, l'analyse granulométrique des sédiments montre une grande variabilité avec des stations caractérisées en majorité par du sable moyen à grossier (e.g. Ajaccio Sud, Cargèse) et des stations à sédiment plutôt vaseux (e.g. Ajaccio Nord, Bastia Sud) (Figure 6). Le nombre de données disponibles pour le contenu en matière organique dans les stations de Corse est faible (Figure 7).

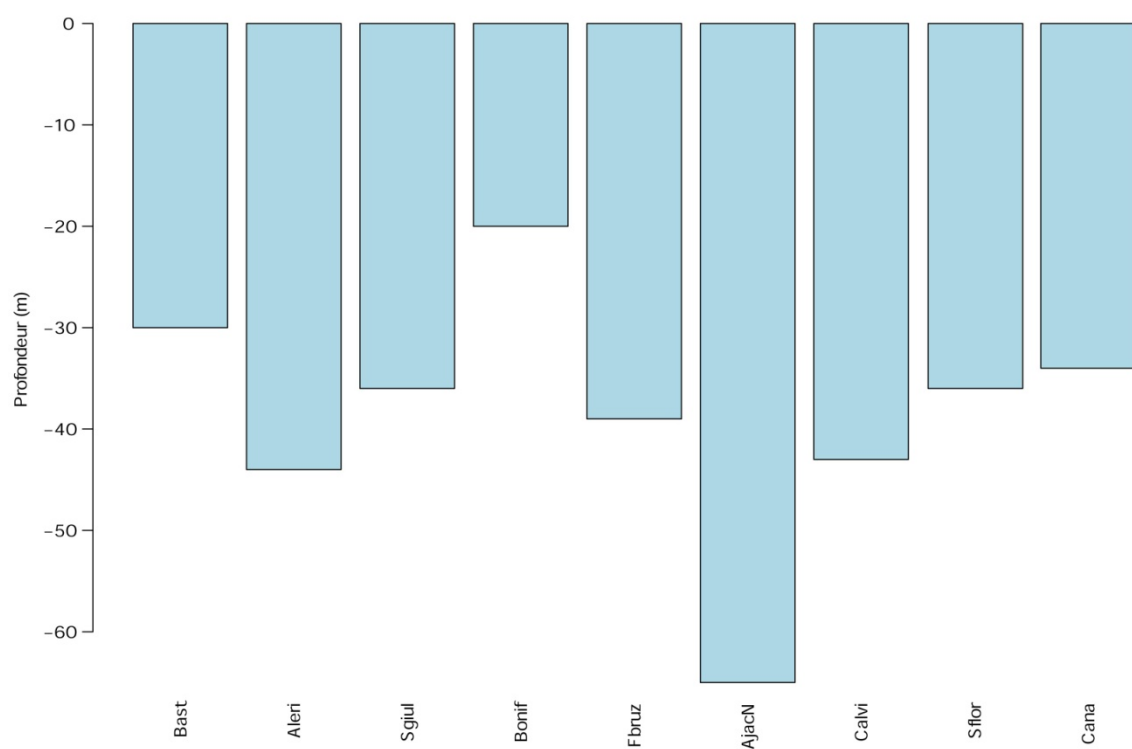


Figure 5 : Profondeur (m) des stations de Corse.

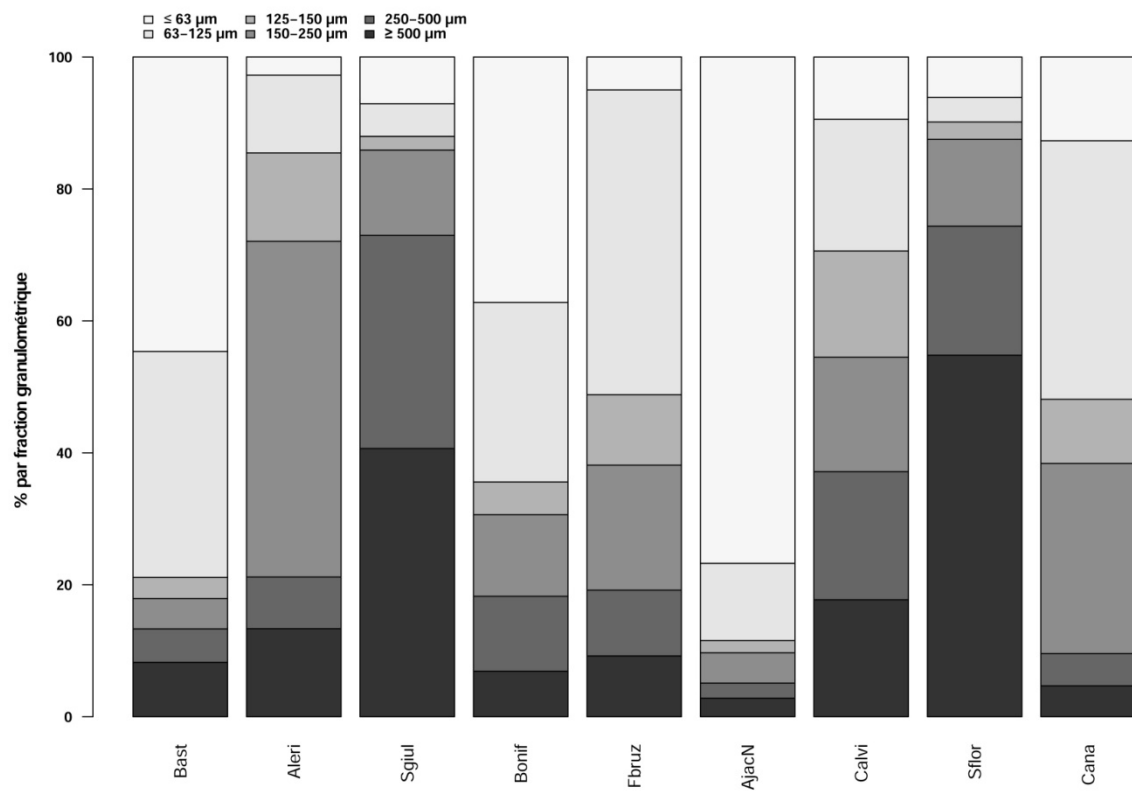


Figure 6 : Analyse granulométrique des stations de Corse.

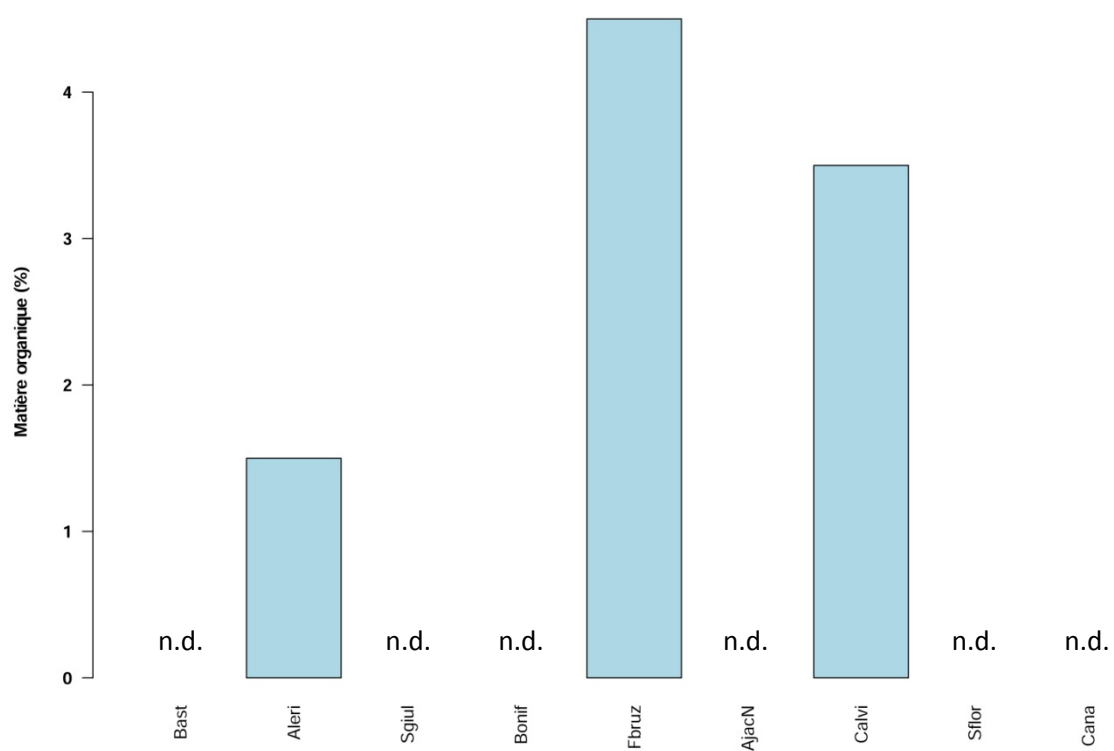


Figure 7 : Matière organique (%) des stations de Corse (n.d. pour donnée non disponible).

Résultats pour la zone LR-PACA

Au total, dans la zone géographique de LR-PACA, 25 stations ont été étudiées. Pour chacune de ces stations, 3 répliquats ont été analysés pour la fraction 150-500 μ m et au minimum 1 réplikat a été analysé pour la fraction 125-150 μ m. Pour 11 de ces 25 stations, la fraction fine (125-150 μ m) a été analysée pour les 3 répliquats (Carteau, Cap Canaille, Fos, Fréjus, Lavandou, Leucate, Menton, Nice, Pampelone, Sète, Villefranche).

Densités et indices de diversité (fraction 150-500 μ m)

Densités 150-500 μ m

Les densités des faunes de foraminifères vivants pour la fraction 150-500 μ m (zone d'étude LR-PACA) varient de 1 à 1267 par 50cm³, valeurs trouvées aux stations Nice ville et Grau du Roi respectivement, avec une moyenne de 254 (\pm 229) individus par 50cm³ (Figure 8).

Il y a 4 échantillons en tout qui présentent des **densités inférieures à 20 individus/50cm³ (correspondant à une vingtaine d'individus comptés en fonction de la taille de l'échantillon)** : Nice a et c (1 et 2 individus comptés) et Porquerolles a et c (7 et 8 individus comptés). **Ces échantillons seront retirés dans la base de données car nous considérons que des pourcentages d'espèces indicatrices basés sur des densités inférieures à 20 individus/50cm³ ne sont pas significatives.**

De manière générale, les 3 répliquats d'une même station peuvent parfois présenter des densités standardisées relativement équivalentes comme c'est le cas pour Beauduc, Ile Maire ou Antibes Nord. Dans d'autres cas, **les densités des répliquats sont souvent très hétérogènes** (e.g. Grau du Roi, Fréjus, Antibes Sud). L'Annexe 1 propose une analyse plus détaillée des stations où les répliquats montrent des densités très différentes. **Cette différence peut soit être due à un biais d'échantillonnage (i.e. lessivage du carottier), soit à une variabilité spatiale de la faune au niveau de la station (échelle métrique). Cette observation démontre qu'il est indispensable 1) d'étudier au moins 3 répliquats à chaque station afin de tenir compte de cette variabilité et 2) d'utiliser un engin d'échantillonnage de bonne qualité qui permet d'éviter au maximum le problème de lessivage et donc de limiter l'influence des biais d'échantillonnage.**

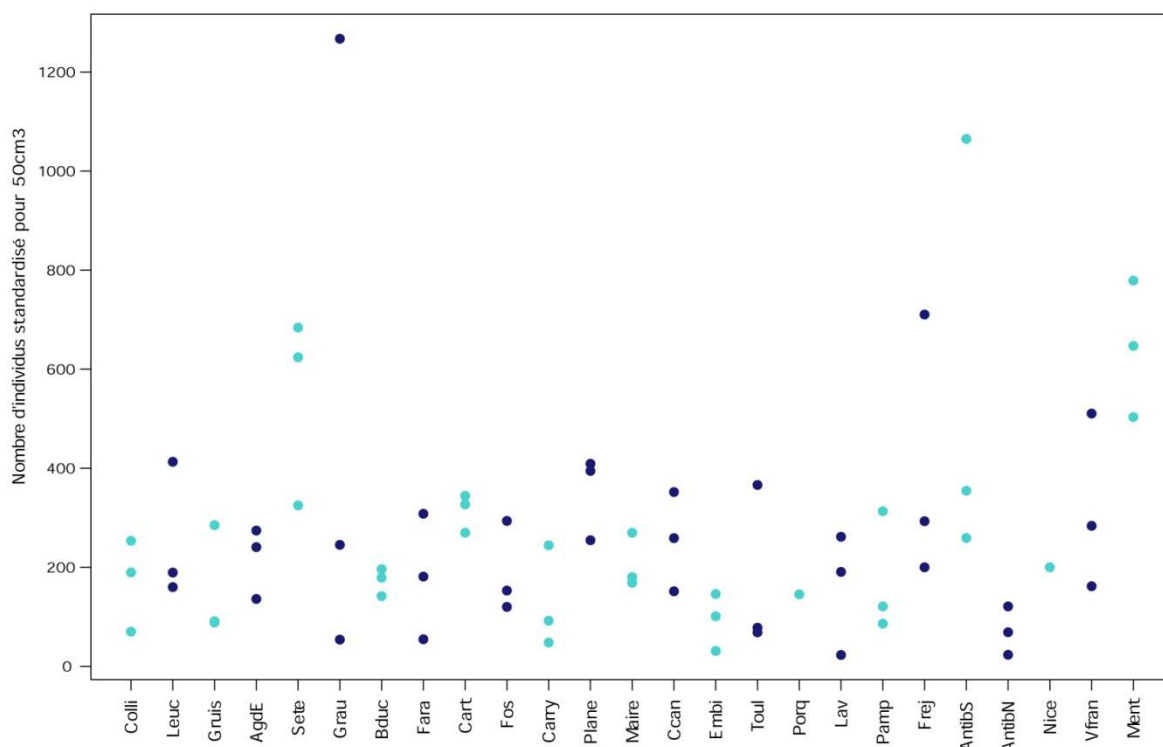


Figure 8 : Densité de foraminifères vivants (nombre d'individus standardisé pour 50 cm³) le long du transect Ouest-Est de LR-PACA (intervalle 0-1cm, fraction 150-500µm, 3 réplicats par station).

Richesse spécifique 150-500 µm

Sur les 71 échantillons retenus pour la fraction 150-500µm (sans considérer Nice a et c et Porquerolles a et c), la richesse spécifique est de 36 ± 18 espèces (Figure 9). Les échantillons présentant les richesses spécifiques les plus faibles (hormis Nice a et c et Porquerolles a et c) sont Lavandou a (9 espèces, pour une densité faible, de 23 individus /50cm³) et les réplicats a et b de la station Faraman (9 espèces), qui présentent des densités bien plus élevées (181 et 55 individus /50cm³ respectivement). Les échantillons qui présentent les richesses spécifiques les plus importantes sont Antibes Sud b (80 espèces), les 3 réplicats de Menton (79, 74 et 77 pour a, b et c respectivement), les 3 réplicats de Cap Canaille (73, 65 et 72 pour a, b et c respectivement) ainsi que Villefranche b (65 espèces).

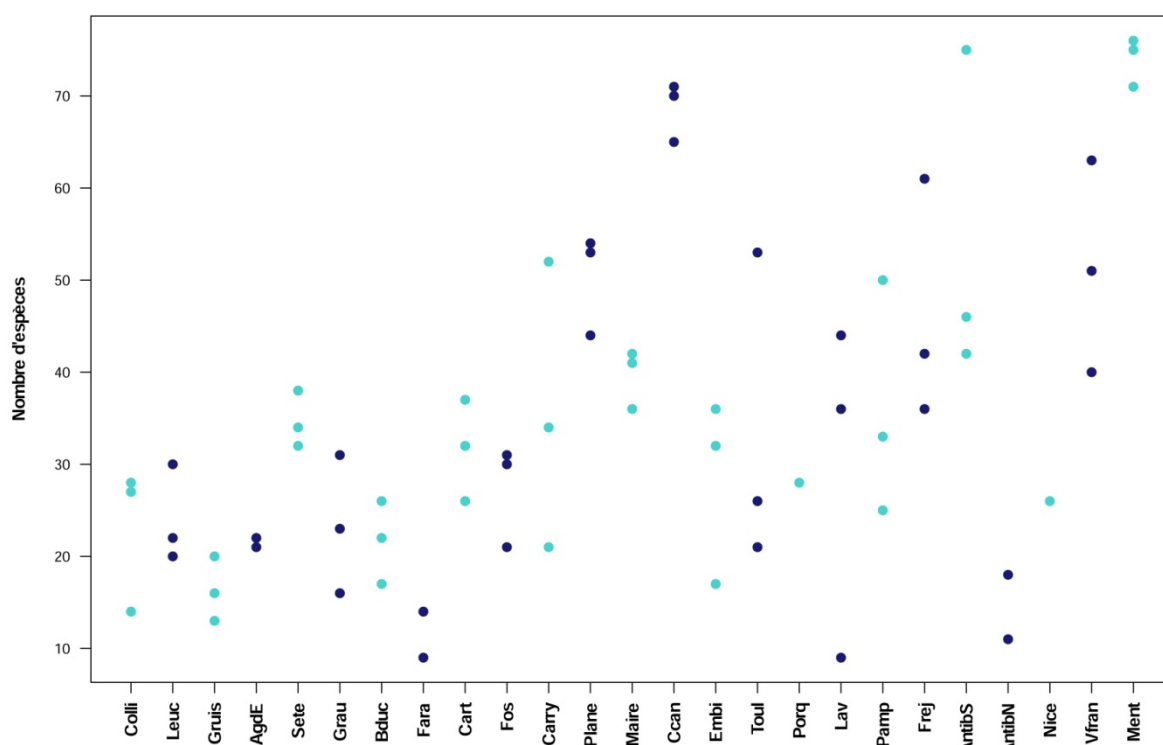


Figure 9 : Richesse spécifique le long du transect Ouest-Est de LR-PACA (intervalle 0-1cm, fraction 150-500µm, 3 réplicats par station).

Indices de diversité 150-500µm

Shannon

En moyenne, l'indice de Shannon est de 2.8 ± 0.6 (sans considérer Nice Ville a et c et Porquerolles a et c) (Figure 10a). Les 3 réplicats de la station Faraman présentent des indices de Shannon parmi les plus faibles enregistrés dans la zone d'étude LR-PACA (1,5-1,7). Les stations Gruissan, Collioure et Agde Est ont toutes au moins 1 réplicat dont la valeur de l'indice est inférieure à 2 (2 réplicats pour Agde Est). L'indice de Shannon est le plus élevé pour les 3 réplicats des stations Cap Canaille et Menton. Pour ces échantillons, les richesses spécifiques sont supérieures à 65 espèces. De manière générale, les stations situées à l'ouest semblent avoir un indice de diversité relativement plus faible que les indices des stations à l'est, la limite entre ces 2 zones étant autour de la station de Fos.

Équitabilité

On observe également un décalage entre les stations Est et Ouest avec des valeurs d'équitabilité plus faibles à l'ouest qu'à l'est (Figure 10b). Cette tendance est légèrement masquée par une plus grande variabilité de l'équitabilité des stations à l'ouest. Les stations de l'ouest sont plus souvent dominées par un nombre restreint d'espèces.

ES50

Seuls les réplicats avec un nombre d'individus supérieur ou égal à 50 sont considérés pour le calcul de l'ES50 (ne sont pas considérées les stations Carry b, Embiez d, Porquerolles a et c, Lavandou a,

Antibes Nord c, Nice Ville a et c) (Figure 10c). Cet indice qui corrige pour le nombre d'individus considérés (Annexe 2) permet de mettre en évidence une diversité relativement faible à Faraman et la diversité la plus élevée à Cap Canaille. Comme pour les autres indices de diversité, il existe une nette différence entre l'ES50 des stations à l'ouest et à l'est (limite entre Fos et Carry). Cette différence s'observe également clairement entre les deux panaches de courbes de raréfaction des groupes Est et Ouest (Figure 12). Il y a nettement moins d'espèces présentes dans les stations de l'ouest par rapport à l'est, sans distinction du nombre de foraminifères présent dans l'échantillon.

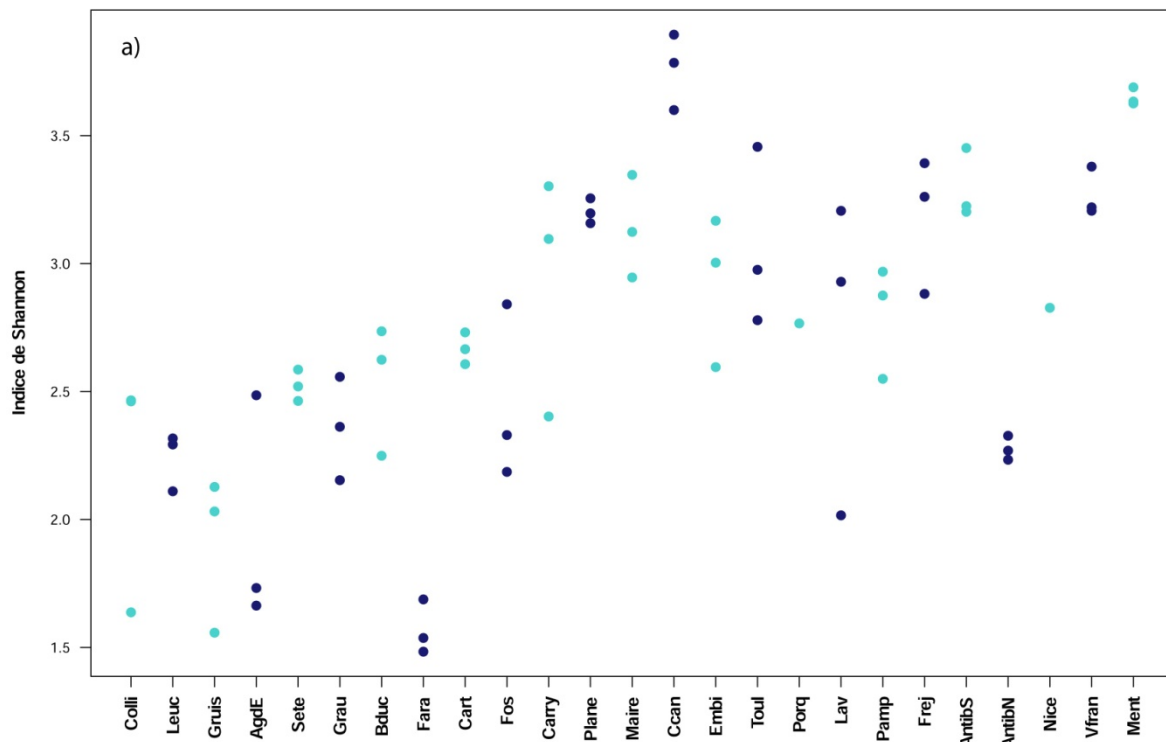


Figure 10 : Indices de diversité le long du transect Ouest-Est de LR-PACA (intervalle 0-1cm, fraction 150-500µm, 3 réplicats par station): a) Shannon, b) équitabilité, et c) ES50 (uniquement pour les échantillons avec un nombre d'individus ≥ 50).

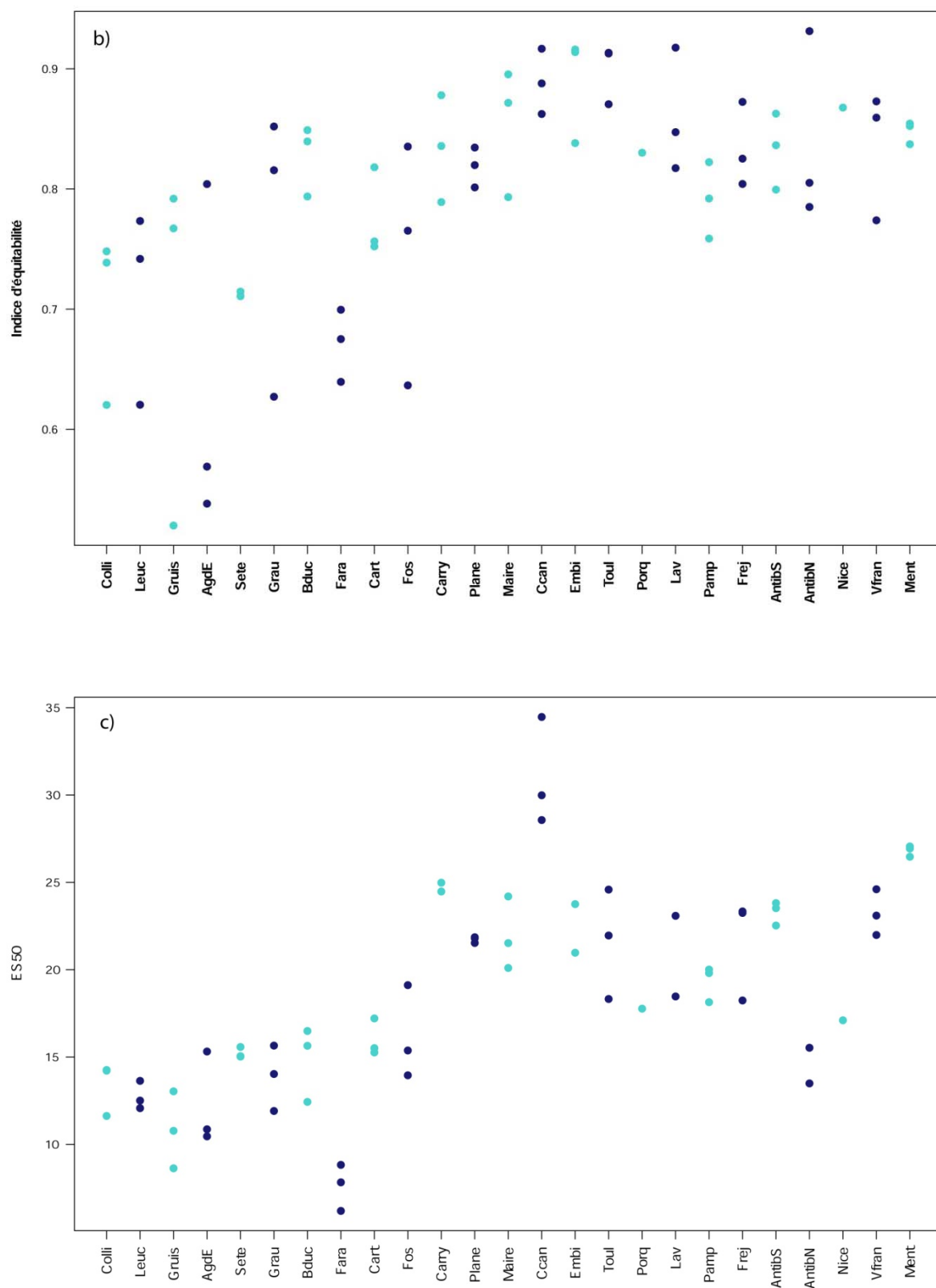


Figure 11 (suite)

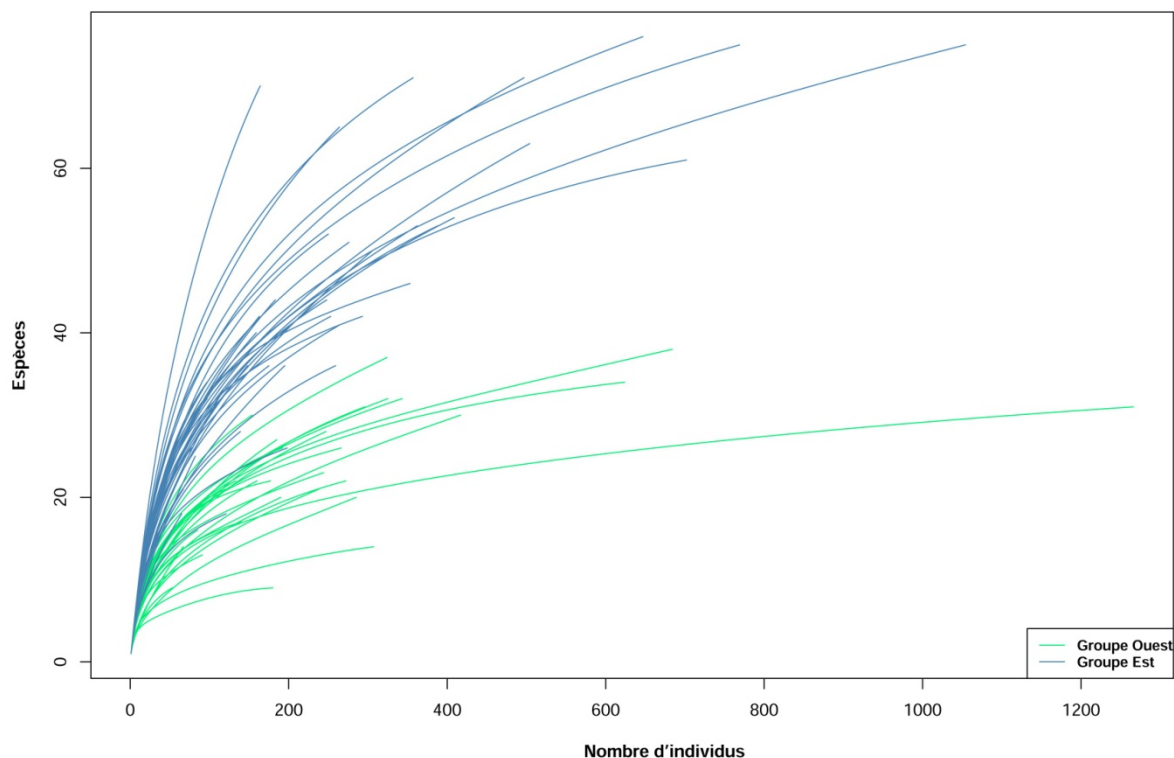


Figure 12 : Courbes de raréfaction pour les stations de la zone LR-PACA (intervalle 0-1cm, fraction 150-500 μ m, 3 réplicats par station, nombre d'individus \geq 50) pour le groupe des stations à l'ouest (vert) et à l'est (bleu), la limite se positionnant entre Fos et Carry.

De manière générale, lorsqu'on compare les indices de diversité, il existe une différence significative (test t, $p < 0,05$) entre le groupe de stations à l'ouest et à l'est (limite entre Fos et Carry), quel que soit l'indice considéré (Tableau 3). L'indice de corrélation de Pearson montre une corrélation positive entre les indices de diversité et la longitude.

	Shannon	Equitabilité	ES50
Groupe Ouest	2,24 \pm 0,40	0,72 \pm 0,09	13,31 \pm 2,95
Groupe Est	3,08 \pm 0,44	0,85 \pm 0,05	21,71 \pm 4,78
Pearson	0,61	0,59	0,58
t.test	t = -8.3485	t = -6.8031	t = -9.1301
	df = 65.195	df = 39.088	df = 67.352
	p-value = 6.875e-12	p-value = 3.954e-08	p-value = 2.139e-13

Tableau 3 : Différence des valeurs d'indices de diversité entre le groupe de stations à l'ouest (de Collioure à Fos, 10 stations) et à l'est (de Carry à Menton, 15 stations).

Composition des assemblages de foraminifères (150-500µm)

Espèces majeures

Toutes les données brutes de comptage des foraminifères sont disponibles en Annexe 3 de ce rapport. Les espèces majeures, c'est-à-dire les espèces qui présentent une densité relative supérieure à 10% de la densité totale dans au moins 1 échantillon de la base de données des stations de LR-PACA sont au nombre de 35 dans la fraction 150-500µm. En Annexe 4 sont présentées les graphiques des densités relatives de ces espèces dans les différentes stations. Comme c'était le cas pour les échantillons de la campagne 2009, l'espèce *Eggerella scabra* montre une forte densité dans beaucoup de stations (Figure 13). Elle est présente à plus de 10% dans la moitié des échantillons (37 échantillons correspondant à 16 stations différentes). Elle est cependant totalement absente à 12 échantillons (7 stations, Figure 13). Au contraire, l'espèce *Elphidium crispum* est quasiment absente à toutes les stations de la côte LR-PACA (présence dans 6 échantillons correspondant à 4 stations). Cette espèce représente 30% de la faune totale dans 1 réplicat de la station Grau du Roi avec 377 individus par 50cm³ (Figure 13). Certaines espèces telles que *Ammoscalaria pseudospiralis*, *Asterigerinata mamilla*, *Astrononion stelligerum*, *Cancris auriculus*, *Fissurina orbignyana*, *Neoconorbina terquemi* et *Rosalina bradyi* sont peu fréquentes dans les stations à l'ouest et présentes en quantité non négligeable dans les stations à l'est. Au contraire, les espèces *Nonion scaphum* et *Nonionella turgida* se situent plus particulièrement dans les stations à l'ouest de la côte LR-PACA. Enfin, d'autres espèces telles que *Ammonia beccarii f. beccarii*, *Buccella granulata*, *Lagenammina difflugiformis*, *Quinqueloculina aspera*, *Q. costata* et *Reophax fusiformis* sont présentes tout le long du transect Ouest-Est (Annexe 4).

Comparaison des assemblages des répliquats entre les stations (150-500µm)

L'indice de similarité de Morisita calculé sur la base des densités absolues standardisées de la fraction 150-500µm de la faune totale de tous les échantillons (Figure 14) montre dans la majorité des cas des assemblages relativement similaires entre les répliquats d'une même station (e.g. Cap Canaille, Antibes Sud, Carry). Certaines stations semblent présenter un répliquat dont la faune diffère légèrement des 2 autres répliquats (e.g. Leucate, Fos, Gruissan). Ainsi, ce répliquat présente un assemblage plus similaire à d'autres stations qu'aux répliquats de la station dont il est issu. Il reste cependant dans le même cluster général. Par contre, le répliquat a de Carteau est clairement différent des répliquats b et c et les trois répliquats de la station Antibes Nord semble présenter des assemblages bien différents. Néanmoins, les indices de similarité basés sur les densités relatives donnent des résultats très comparables (Annexe 5).

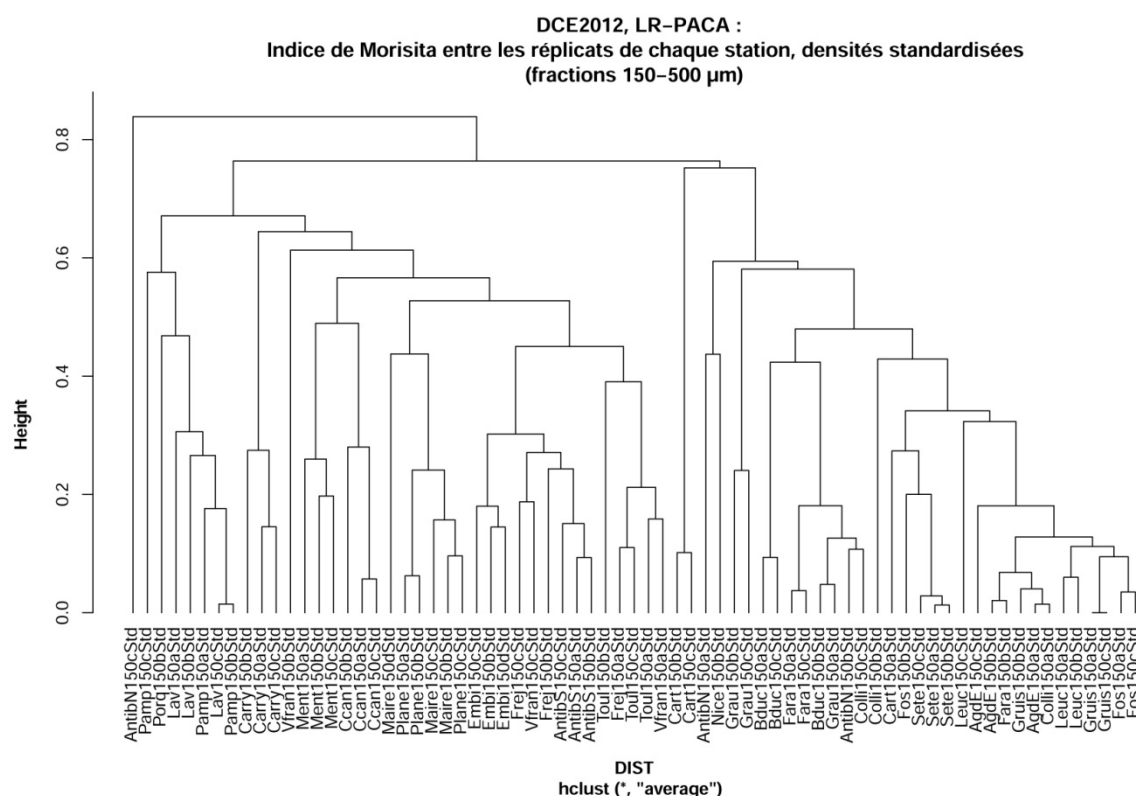


Figure 14 : Dendrogramme de l'indice de similarité de Morisita pour les densités absolues standardisées de faune totale de la fraction 150-500µm pour tous les échantillons analysés (3 répliquats par station).

Groupes d'espèces indicatrices (fraction 150-500µm)

Groupes par structure du test

La Figure 15 présente le pourcentage des 3 groupes de foraminifères : hyalins, porcelanés et agglutinés. Les foraminifères à test organique ne sont pas considérés dans l'étude, suivant les recommandations de Schönfeld et al. (2012) pour les études de bio-monitoring basées sur les faunes de foraminifères. Certaines stations sont dominées par les foraminifères à tests agglutinés (e.g.



Lors de la campagne DCE de 2009, un total de 10 espèces avait été identifié comme étant des espèces tolérantes à des conditions de stress, notamment des conditions de forts apports de matière organique et/ou de faible oxygénation : ***Bulimina spp.*** (e.g. *B. marginata*, *B. aculeata*, *B. costata*), ***Cancris auriculus***, ***Rectuvigerina phlegeri***, ***Nonion scaphum***, ***Nonion depressulum***, ***Nonionella turgida***, ***N. stella***, ***Pseudoeponides falsobeccarii***, ***Valvulineria bradyana***, ***Leptohalysis scottii*** (voir Annexe 6 pour la bibliographie ayant permis d'identifier ces espèces dans le groupe des espèces tolérantes).

- Diverses espèces de *Bolivina* ont été identifiées en Méditerranée dans des environnements mésotrophes à eutrophes (Barmawidjaja et al., 1992 ; Jorissen et al., 1995 ; De Stigter et al., 1998 ; De Rijk et al., 2000 ; Schmiedl et al., 2000 ; Duijnste, 2001). Ces espèces s'adaptent très rapidement à de forts apports de matière organique et à de faibles conditions d'oxygénation (Alavi, 1988 ;

Barmawidjaja et al., 1992 ; Jorissen et al., 1992 ; Gooday, 1994 ; Bernhard et Sen Gupta, 1999). Plusieurs auteurs s'accordent à qualifier les espèces *B. dilatata* et *B. spathulata* comme opportunistes (Jorissen et al., 1992 ; Schmiedl et al., 1997 ; Alve, 2003 ; Fontanier, 2003 ; Mendes et al., 2004) de par leur capacité à répondre à des apports épisodiques de phytodétritus par des événements massifs de reproduction et/ou par un taux de croissance très rapide. Ces espèces se trouvent en grande majorité dans la fraction 125-150 µm.

- 2) les espèces du genre ***Cassidulina*** et ***Cassidulinoides*** : *Cassidulina carinata*, *Cassidulina oblonga*, *Cassidulinoides bradyi*

L'espèce *Cassidulina carinata* est documentée comme étant abondante dans la zone circalittorale et dans des sédiments argileux (Sgarrella et Bara, 1985 ; Jorissen, 1987 ; Sgarrella et Moncharmont Zei, 1993 ; Coppa et al., 1994 ; Bergamin et Di Bella, 1997 ; Frezza et al., 2009). Comme pour *Bolivina* spp. et les autres espèces classées dans le groupe des espèces tolérantes, *Cassidulina* spp. serait une espèce commune dans les environnements peu oxygénés (Jorissen, 1987 ; Bergamin et al., 1999 ; Schmiedl et al., 2003) et répondrait rapidement aux apports de matière organique (Hayward et al., 2002 ; Fontanier et al., 2003). *Cassidulina carinata* a d'ailleurs été observée en association avec les espèces opportunistes *Bolivina dilatata* et *Nonionella iridea* dans le Golfe de Gascogne (Duchemin et al., 2008). L'espèce *Cassidulinoides bradyi* a été observée associée aux sapropels de Méditerranée, montrant ainsi une capacité à résister à des épisodes d'hypoxie, voire d'anoxie (Jorissen, 1999).

- 3) Pour les échantillons de 2012, certains individus appartenant aux genres ***Nonion***, ***Nonionella*** et ***Valvulineria*** n'ont pas pu être identifiés jusqu'au niveau de l'espèce. Compte-tenu de la littérature sur ces 3 genres (Annexe 6), nous avons inclus ces espèces dans le groupe des espèces tolérantes.

Au final, la liste mise à jour pour l'étude de 2012 des espèces tolérantes indicatrices de stress environnemental comprend 7 genres et 4 espèces (Tableau 4) :

<i>Bolivina dilatata</i> *	<i>Leptohalysis scottii</i>
<i>Bolivina pseudoplicata</i> *	<i>Nonion depressulum</i>
<i>Bolivina pygmaea</i> *	<i>Nonion scaphum</i>
<i>Bolivina spathulata</i> *	<i>Nonion</i> sp.*
<i>Bolivina striatula</i> *	<i>Nonionella stella</i>
<i>Bulimina aculeata</i>	<i>Nonionella turgida</i>
<i>Bulimina costata</i>	<i>Nonionella</i> sp.*
<i>Bulimina marginata</i>	<i>Pseudoeponides falsobeccarii</i>
<i>Cancris auriculus</i>	<i>Rectuvigerina phegeri</i>
<i>Cassidulina carinata</i> *	<i>Valvulineria bradyana</i>
<i>Cassidulina oblonga</i> *	<i>Valvulineria</i> sp.*
<i>Cassidulinoides bradyi</i> *	

Tableau 4 : Liste des espèces tolérantes indicatrices de stress environnemental. Les espèces absentes dans les échantillons de la campagne 2009 et qui ont été identifiées dans les échantillons de 2012 sont indiqués par un astérisque.

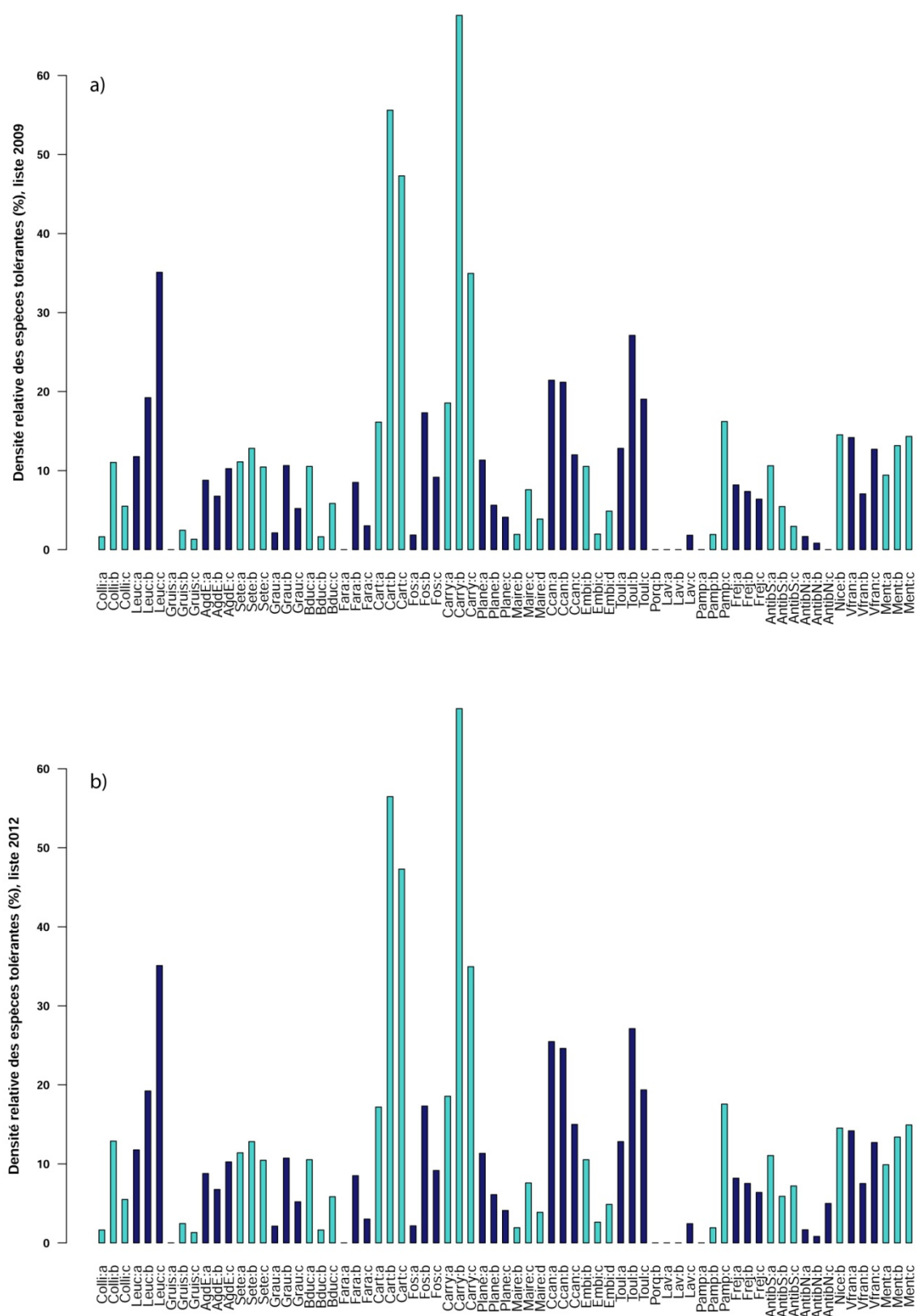


Figure 16 : Densités relatives des espèces tolérantes dans les différents répliquats des stations de LR-PACA (transect Ouest-Est) dans la fraction 150-500 μ m : a) basée sur la liste des espèces établies après la campagne de 2009 (panneau du haut) et b) liste des espèces mise à jour en 2012 (panneau du bas).

L'ajout des taxa *Bolivina* spp., *Cassidulina* spp., *Nonion* sp., *Nonionella* spp. et *Valvulineria* sp. dans la nouvelle liste des espèces tolérantes (de 2012) ne change que faiblement le pourcentage des espèces tolérantes par rapport à la liste de 2009 (Figure 16). Dans la fraction 150-500µm, les échantillons où ces espèces rajoutées sont les plus présentes sont Antibes Nord c (5%), Cap Canaille (4,0, 3,4 et 3,0% dans les réplicats a, b et c respectivement), et Antibes Sud c (4,3%).

En Annexe 7 sont présentées les densités relatives (fraction 150-500µm) des espèces tolérantes pour chaque station et pour chaque réplicat. Ce groupe est totalement absent dans les échantillons Gruissan a, Faraman a, Porquerolles b, Lavandou a et b et Pampelone a. Au contraire, il présente des pourcentages élevés aux stations Carry et Carreau (40,4% et 40,3% en moyenne, respectivement, liste mise à jour). Il n'y a pas de différence significative entre le groupe des stations à l'ouest et à l'est pour ce paramètre (Mann et Whitney, $p=0,87$).

Espèces épiphytes

La liste des espèces épiphytes, c'est-à-dire vivant fixées sur des algues, n'a que peu changé entre la campagne de 2009 et 2012. *Cibicidella variabilis* et *Glauvulinella* spp. n'avaient pas été identifiées en 2009 et présentent un mode de vie épiphyte. Ces taxons ont donc été ajoutés à la liste. De manière générale, ce mode de vie peut être élargi au niveau du genre car il ne changera pas en fonction de l'espèce considérée au sein d'un même genre (e.g. *Cibicides lobatulus* : toutes les espèces du genre *Cibicides* sont épiphytes). Il faut bien noter que cette remarque n'est pas automatiquement valable pour les espèces tolérantes ou sensibles. Le Tableau 5 propose donc une mise à jour de la liste du groupe des espèces épiphytes (10 genres). La présence de ces espèces indique 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 ; Mojtabid 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.

Genre (toutes les espèces de ce genre)
<i>Asterigerinata</i>
<i>Cibicides</i>
<i>Cibicidella</i>
<i>Gavelinopsis</i>
<i>Hanzawaia</i>
<i>Neoconorbina</i>
<i>Planorbulina</i>
<i>Reussella</i>
<i>Rosalina</i>
<i>Spirillina</i>

Tableau 5 : Liste des espèces ayant un mode de vie épiphyte.

La Figure 17 illustre très clairement la différence significative (Mann et Whitney, $p < 0,05$) entre les stations à l'ouest et à l'est en ce qui concerne les densités relatives des espèces épiphytes : en moyenne 2,6% à l'ouest et 23,6% à l'est. Cette observation est aussi valable pour les densités absolues. Dans l'est de la côte LR-PACA, seules les stations Antibes Nord et Nice présentent des pourcentages inférieurs à 1%. Ces espèces épiphytes peuvent représenter plus de 40% de la faune totale dans certains répliquats des stations Toulon Grande Rade, Lavandou et Pampelone.

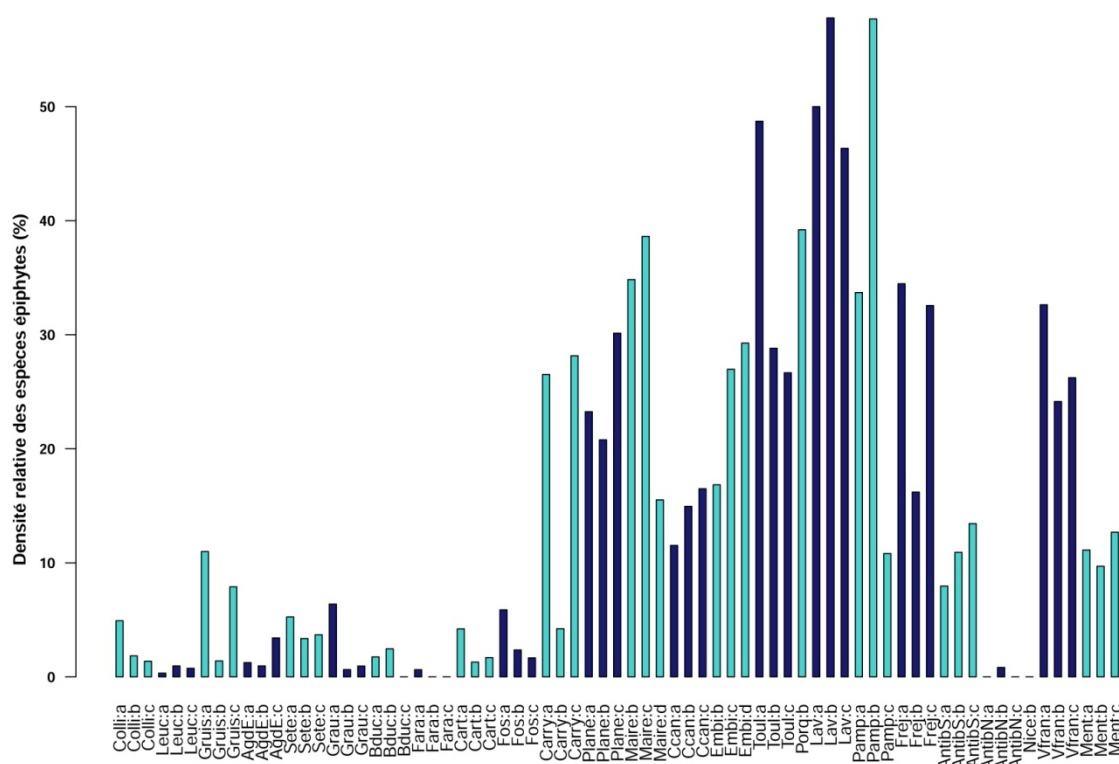


Figure 17 : Densités relatives des espèces épiphytes dans les différents répliquats des stations de LR-PACA (transect Ouest-Est) dans la fraction 150-500µm.

Espèces sensibles

Les espèces dites sensibles sont celles qui verront leur densité relative diminuer dans l'échantillon en cas d'enrichissement organique ou d'envasement de la station. Ce groupe d'espèces indicatrices est constitué :

- 1) de **toutes les espèces épiphytes** (cf. partie précédente),
- 2) la **majorité des espèces à test porcelané**. 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 ; Donnici 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. **Il faut cependant faire une exception pour l'espèce porcelanée *Quinqueloculina seminula*** qui peut se comporter comme une espèce opportuniste dans certaines conditions. Par exemple, elle a été identifiée comme étant l'une des premières espèces à recoloniser l'écosystème

benthique après un écoulement gravitaire dans le canyon de Whittard (Duros et al., 2011), après un important dépôt de cendre en Mer de Chine méridionale (Hess et Kuhnt, 1996).

- 3) de **plusieurs 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, il est présent dans les sites avec un pourcentage de matière organique légèrement élevé mais il 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).
- 4) l'espèce *Buccella granulata* (et *Buccella* sp.) qui a été identifiée comme une espèce sensible à l'enrichissement organique dans plusieurs études en Méditerranée (Jorissen, 1987 ; Donnici et Serandrei, 2002 ; Hyams-Kaphzan et al., 2008 ; Elshanawany, 2011).

Dans les stations de LR-PACA, le pourcentage d'espèces sensibles varie de 4 à 75% (Figure 18). Il existe une différence significative entre les stations à l'est et à l'ouest avec des pourcentages plus importants pour les stations de l'est (Mann et Whitney, $p < 0,05$). Cette différence est largement due aux espèces épiphytes qui sont beaucoup plus présentes à l'est de la côte.

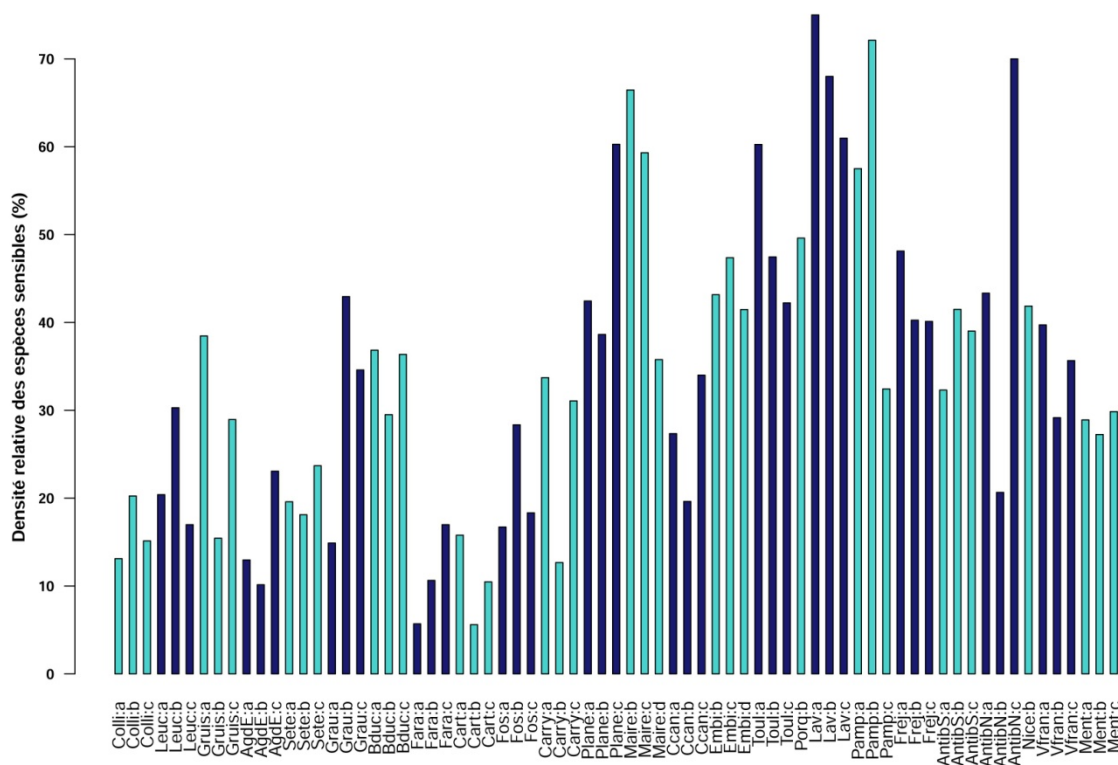


Figure 18 : Densités relatives des espèces sensibles dans les différents réplicats des stations de LR-PACA (transect Ouest-Est) dans la fraction 150-500µm.

Comparaison des paramètres faunistiques entre les fractions 125-500 et 150-500µm

Comparaison des densités entre 125-500µm et 150-500µm

Afin de déterminer l'importance de l'étude de la fraction fine 125-150µm, nous avons calculé la proportion entre le nombre de foraminifères trouvés dans cette fraction et celui trouvé dans l'échantillon global 125-500µm, pour tous les 47 répliquats où les 2 fractions ont été étudiées (Figure 19). La proportion de la fraction 125-150µm est en moyenne de $24 \pm 11\%$ pour les 45 échantillons considérés et elle varie de 5% pour Antibes Nord a à 48% pour Faraman b (NB : les répliquats a et c de Nice Ville n'ont pas été considérés car les densités totales sont inférieures à 20 individus.). Cela signifie qu'en moyenne **76% de la faune (125-500µm) est contenu dans la fraction 150-500µm**. La fraction fine représente moins d'un tiers de la faune totale pour 80% des échantillons analysés (35 échantillons sur 45). Pour les échantillons Beauduc a, Carteau a, Leucate a et c, Antibes Sud b, Gruissan b, Lavandou b, Villefranche a et c et Faraman b, cette proportion est supérieure à un tiers.

Si l'on compare les 11 stations où les 3 répliquats ont été analysés pour les 2 fractions, la part de la fraction fine sur la fraction totale analysée est en générale similaire au sein d'une station, excepté pour Menton où elle est faible pour les répliquats a et b (7%) et relativement élevé pour le répliquat c (33%).

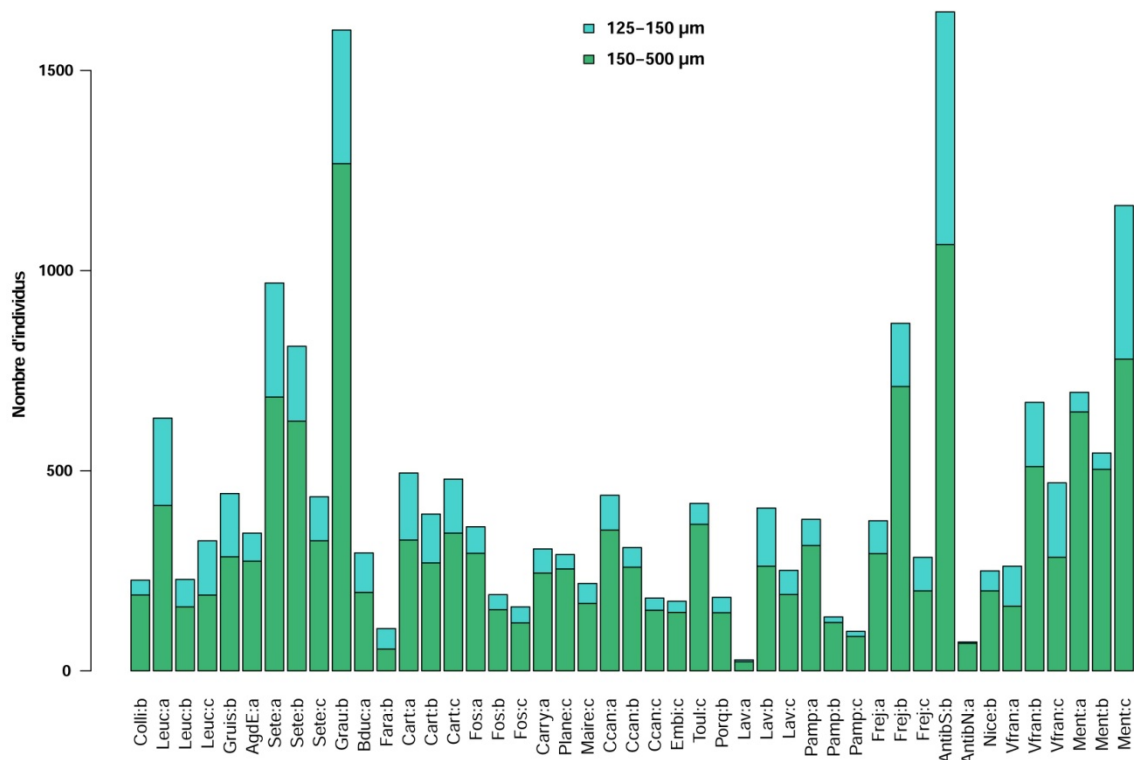


Figure 19 : Densité de foraminifères vivants (nombre d'individus standardisé pour 50 cm³) dans la fraction 125-150 et 150-500µm pour les répliquats où les 2 fractions ont été analysées.

Comparaison des richesses spécifiques entre 125-500 et 150-500 μm

Sur les 45 échantillons analysés pour la fraction 125-150 μm et 150-500 μm (sans considérer Nice a et c), il y a en moyenne 8 ± 4 espèces supplémentaires identifiées dans la fraction 125-150 μm (Figure 20). Un maximum de 17 espèces supplémentaires a été relevé pour Antibes Sud b et Villefranche a et un minimum d'une espèce supplémentaire pour Antibes Nord a, Faraman b et Pampelone b.

En moyenne, $84 \pm 7\%$ des espèces identifiées dans chaque échantillon se retrouvent dans la fraction 150-500 μm . Au minimum, la fraction fine comprend 3% d'espèces nouvelles (Pampelone b) par rapport à la fraction 150-500 μm alors qu'au maximum, elle en comprend 30% (Leucate c).

Généralement, la variabilité entre les réplicats d'une même station est similaire entre les fractions 150-500 μm et 125-500 μm .

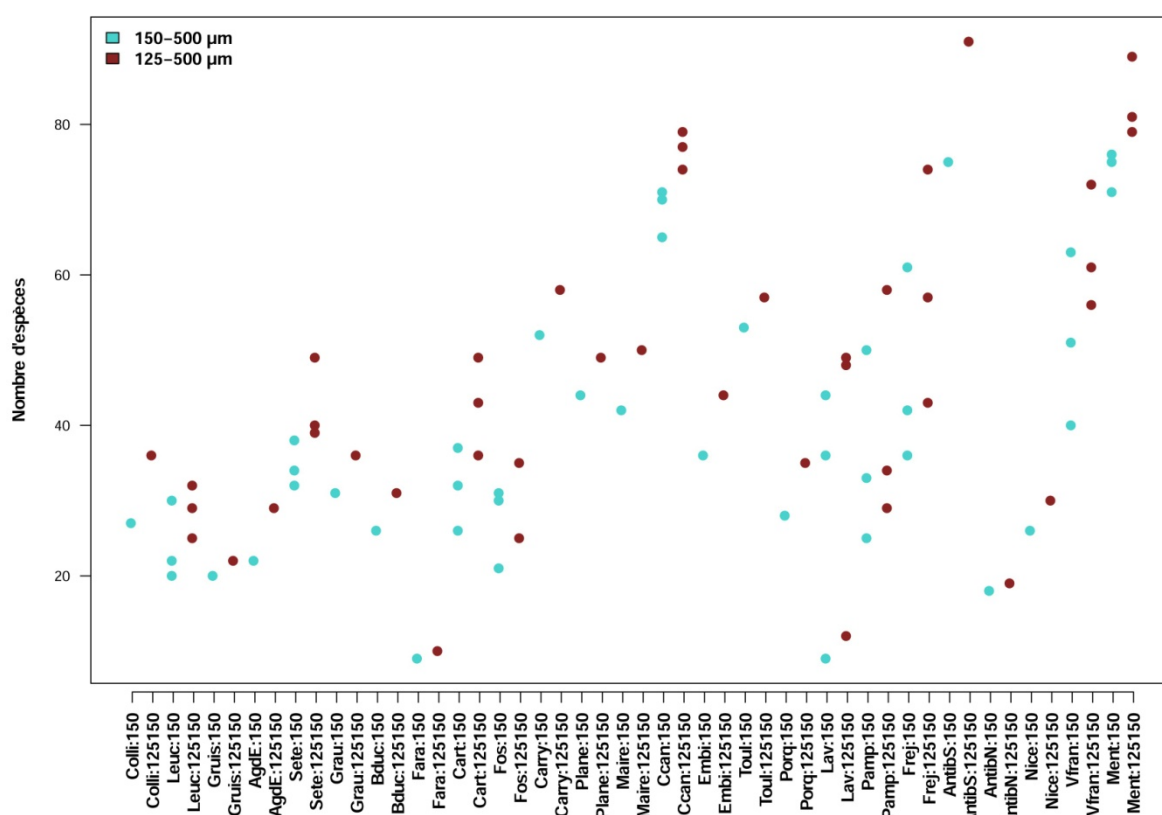


Figure 20 : Richesse spécifique pour la fraction 150-500 μm (en bleu) et 125-500 μm (en rouge) pour les réplicats où les 2 fractions ont été analysées.

Comparaison des indices de diversité entre 125-500 μm et 150-500 μm

Afin de comparer les valeurs obtenues entre les fractions 125-500 μm et 150-500 μm , nous avons calculé le test de Shapiro-Wilk pour déterminer si les données de chacune des 2 fractions suivent une loi normale. En fonction du résultat de ce test, nous avons appliqué le t-test de Student ou le test de Wilcoxon pour échantillons appariés. Toutes les analyses montrent qu'il existe une différence significative ($p < 0,05$) pour les différents indices de diversité (Shannon, Equitabilité et ES50) entre les fractions 125-500 μm et 150-500 μm .

Pour l'indice de diversité de Shannon et l'ES50, les valeurs sont très légèrement plus élevées pour la fraction 125-500µm que pour la fraction 150-500µm (Figure 21), excepté pour les stations Leucate, Gruissan et Faraman (uniquement pour l'ES50). Pour l'équitabilité, nous n'observons pas la même tendance (Figure 21). En effet, il y a plusieurs stations qui montrent des valeurs d'équitabilité moins forte pour la fraction 125-500µm ce qui pourrait signifier que la fraction 125-150µm contiendrait une ou plusieurs espèces en plus forte densité (moins bon équilibre des densités entre les espèces).

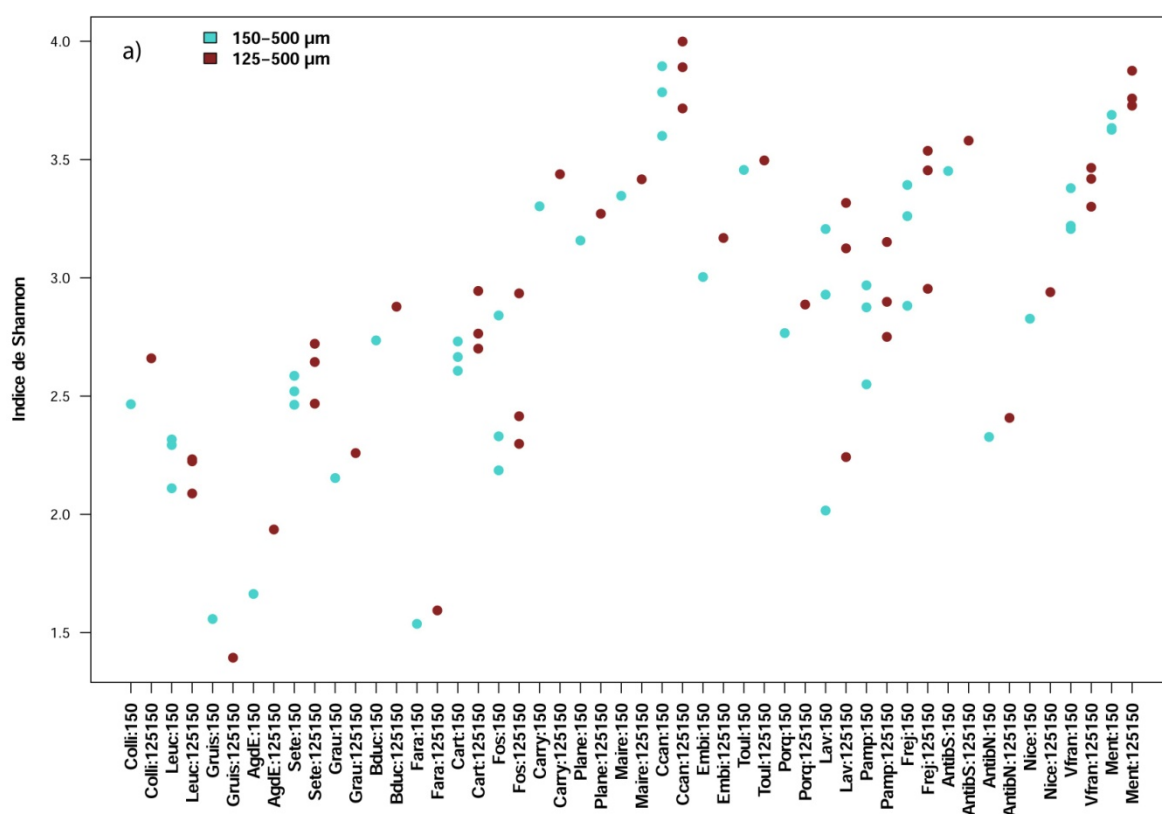


Figure 21 : Indices de diversité pour la fraction 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les répliqués où les 2 fractions ont été analysées : a) Shannon, b) équitabilité, et c) ES50.

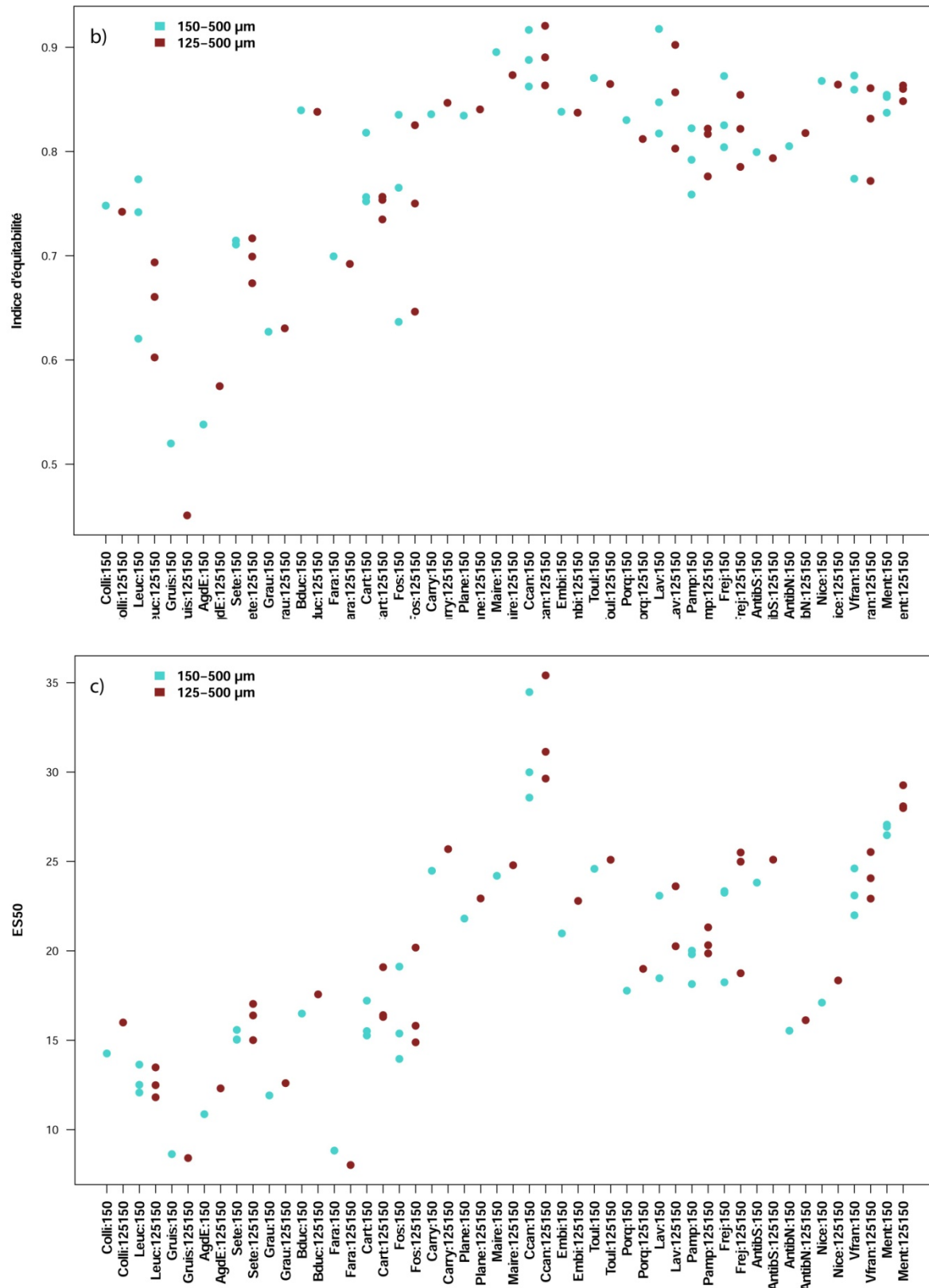


Figure 22 (suite)

Comparaison des assemblages entre les fractions 125-500µm et 150-500µm

Si l'on considère la fraction 125-500µm, 32 des 34 espèces majeures identifiées (densité >10% dans au moins un échantillon, fraction 125-500µm considérée) sont les mêmes que les espèces majeures identifiées en considérant uniquement la fraction 150-500µm. Les espèces *Spirillina vivipara* et *Quinqueloculina* cf. *laevigata* sont uniquement majeures quand la fraction 125-500µm est considérée, tandis que les espèces *Astrononion stelligerum*, *Cibicides lobatulus* et *Valvulineria bradyana* sont uniquement majeures quand la fraction 150-500µm est considérée.

Les tests-t (échantillons appariés suivant une loi normale) appliqués aux densités relatives des 34 espèces majeures (fraction 125-500µm considérée) montrent toutefois une différence significative entre la fraction 125-500µm et 150-500µm ($p < 0,05$) pour 13 espèces au total dont des espèces classées comme espèces tolérantes (e.g. *Cancris auriculus*, *Nonion depressulum*, *Nonion scaphum*, *Nonionella turgida*, *pseudoeponides falsobeccarii* et *Rectuvigerina phlegeri*).

Comparaison des groupes par structure de test entre 125-500µm et 150-500µm

Il existe une différence significative ($p < 0,05$) pour les densités relatives des foraminifères hyalins et agglutinés entre la fraction 125-500µm et 150-500µm. Par contre, cette différence n'est pas significative pour le groupe des foraminifères porcelanés. D'après la Figure 23, la fraction fine (125-150µm) contient une proportion plus importante de foraminifères à test hyalin. Compte-tenu du fait que les espèces indicatrices (tolérantes, sensibles et épiphytes) sont des espèces hyalines, cette observation pourrait avoir une influence sur le pourcentage des espèces indicatrices en fonction de la fraction analysée (cf. chapitres suivants).

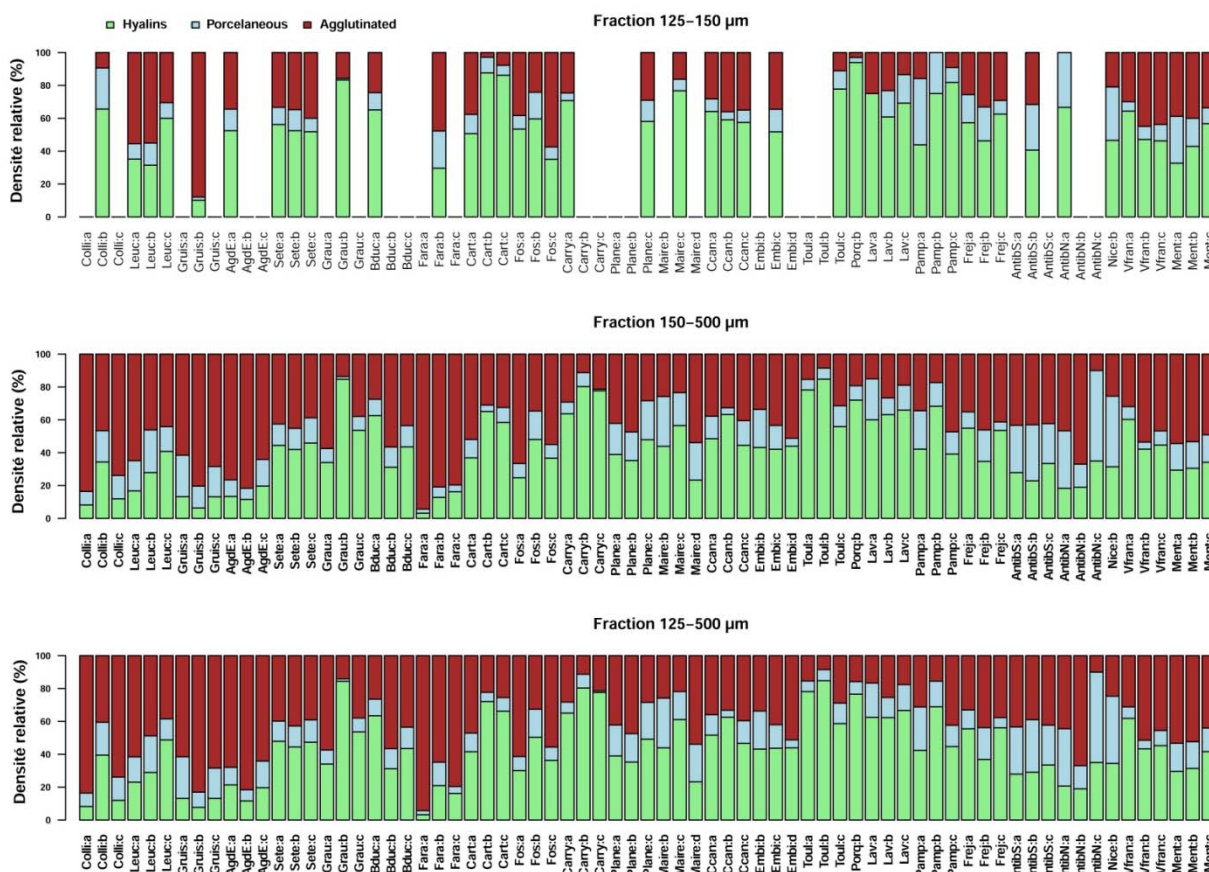


Figure 23 : Pourcentages des trois principaux groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés, agglutinés) dans les faunes vivantes dans la fraction 125-500µm et 150-500µm pour les échantillons où les 2 fractions ont été analysées.

Comparaison des espèces tolérantes entre 125-500µm et 150-500µm

Il existe une différence significative entre les densités relatives ou absolues des espèces tolérantes entre la fraction 125-500µm et 150-500µm ($p < 0,05$). Cette différence reste globalement faible pour toutes les stations sauf pour les échantillons Agde Est a, Beauduc a, Faraman b, Fos a, Embiez c, Fréjus c, Antibes Sud b, Antibes Nord a et Villefranche c où le pourcentage d'espèces tolérantes augmente de plus de la moitié entre la fraction 125-500µm et la fraction 150-500µm (Figure 24). Il est important de noter que pour toutes les stations, le pourcentage d'espèces tolérantes dans la fraction 125-500µm est toujours supérieur ou égal à celui trouvé dans la fraction 150-500µm, excepté pour les stations Villefranche a et Menton a (différence inférieure à 1%).

D'après ces résultats, il paraît important de prendre en compte la fraction 125-150µm en plus de la fraction 150-500µm lors de l'analyse des foraminifères car nous risquons autrement de sous-estimer grandement le pourcentage d'espèces tolérantes aux stations étudiées.

L'Annexe 8 présente les densités standardisées de chacune des espèces tolérantes dans les fractions 125-150µm et 150-500µm. Certaines espèces sont particulièrement sujettes à se retrouver dans la fraction fine. C'est le cas par exemple de *Bolivina* spp., *Bulimina aculeata*, *Cassidulina carinata*, *Cassidulinoides bradyi*, *Leptohalysis scottii*, *Nonion depressulum*, *Nonionella* spp. ou encore *Rectuvigerina phlegeri*. En particulier, les espèces *Cassidulinoides bradyi* et *Bolivina pygmaea* sont

présentes uniquement dans des échantillons de fraction 125-150µm. Par contre, ces deux espèces ne représentent jamais plus de 2% de la faune totale (125-500µm). Au contraire, les espèces *Cancris auriculus*, *Nonion scaphum*, *Pseudoeponides falsobeccarii* ou *Valvulinaria bradyana* se retrouvent principalement dans la fraction plus large (150-500µm).

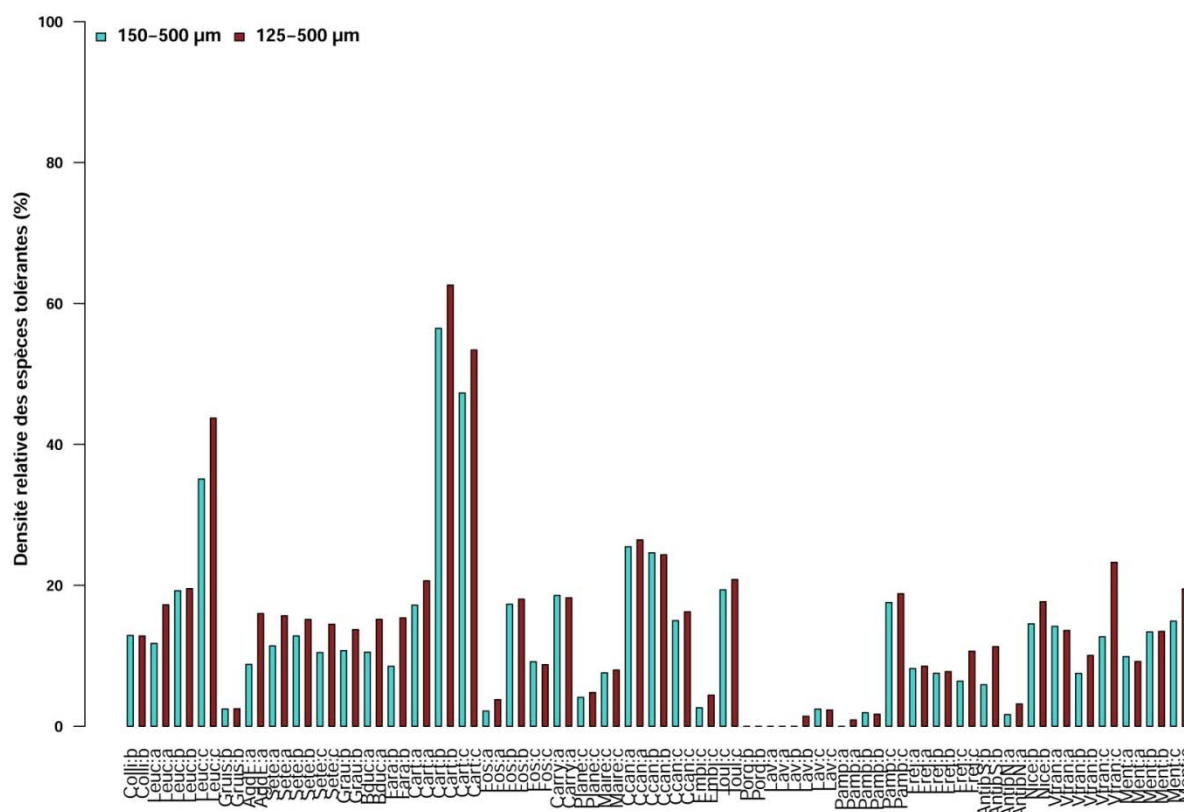


Figure 24 : Densités relatives des espèces tolérantes dans la fraction 150-500 µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les échantillons où les 2 fractions ont été analysées.

Comparaison des espèces épiphytes entre 125-500µm et 150-500µm

Il existe une différence significative entre le pourcentage d'espèces épiphytes entre la fraction 125-500µm et 150-500µm ($p < 0,05$). Le pourcentage est supérieur dans la fraction 125-500µm par rapport à la fraction 150-500µm pour 17 échantillons (provenant de 13 stations différentes) et il est inférieur pour 6 échantillons (provenant de 5 stations différentes). Cependant, d'après la Figure 25, les tendances sont les mêmes quel que soit la fraction considérée : les espèces épiphytes sont peu représentées dans les stations à l'ouest de Carry et présentent de forts pourcentages à l'est de cette limite excepté pour les stations Antibes Nord et Nice dans lesquelles les espèces épiphytes sont totalement absentes dans les 2 fractions.

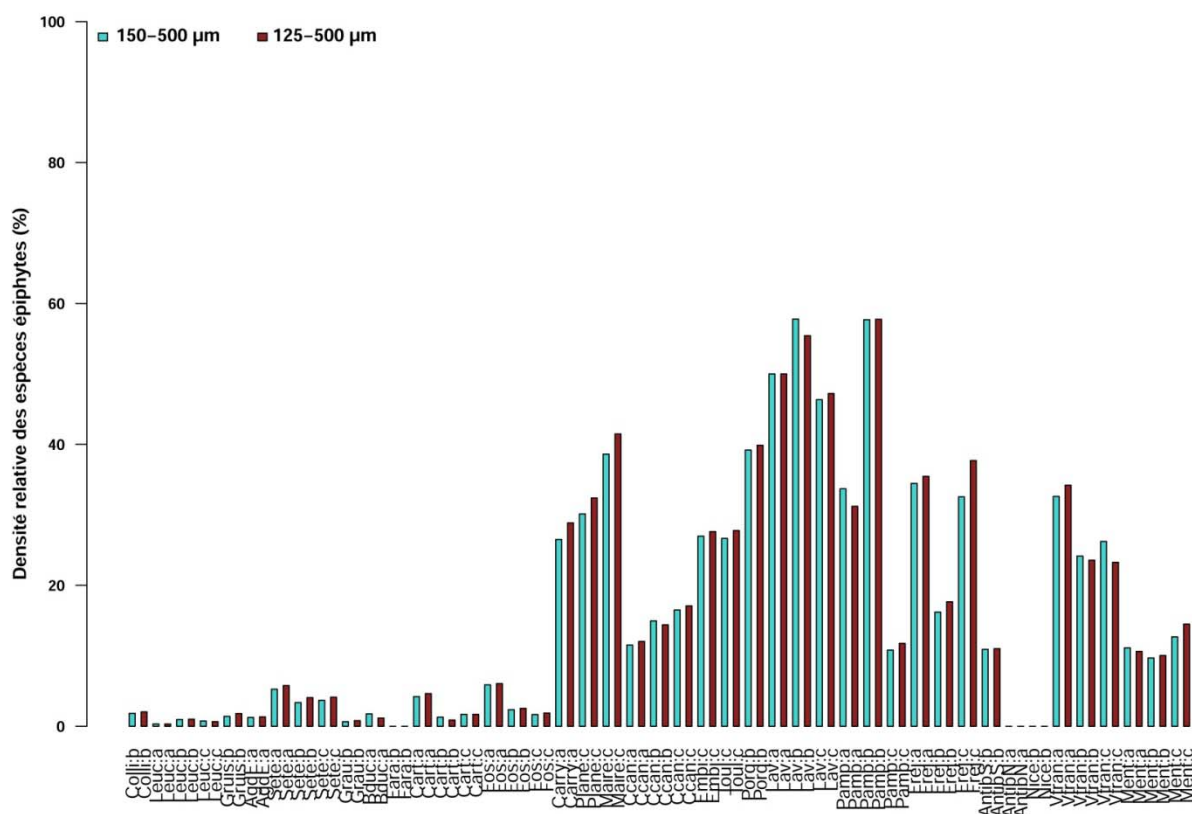


Figure 25 : Densités relatives des espèces épiphytes dans la fraction 150-500µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les échantillons où les 2 fractions ont été analysées.

Comparaison des espèces sensibles entre 125-500µm et 150-500µm

Il n'existe pas de différence significative entre la fraction 125-500µm et 150-500µm pour le pourcentage d'espèces sensibles. En fonction des stations, soit la fraction 125-150µm ne représente qu'une très faible proportion du nombre total d'individus dans la fraction 125-500µm, soit la proportion d'individus sensibles de la fraction 125-150µm n'est pas très différente dans la fraction 150-500 µm (Figure 26).

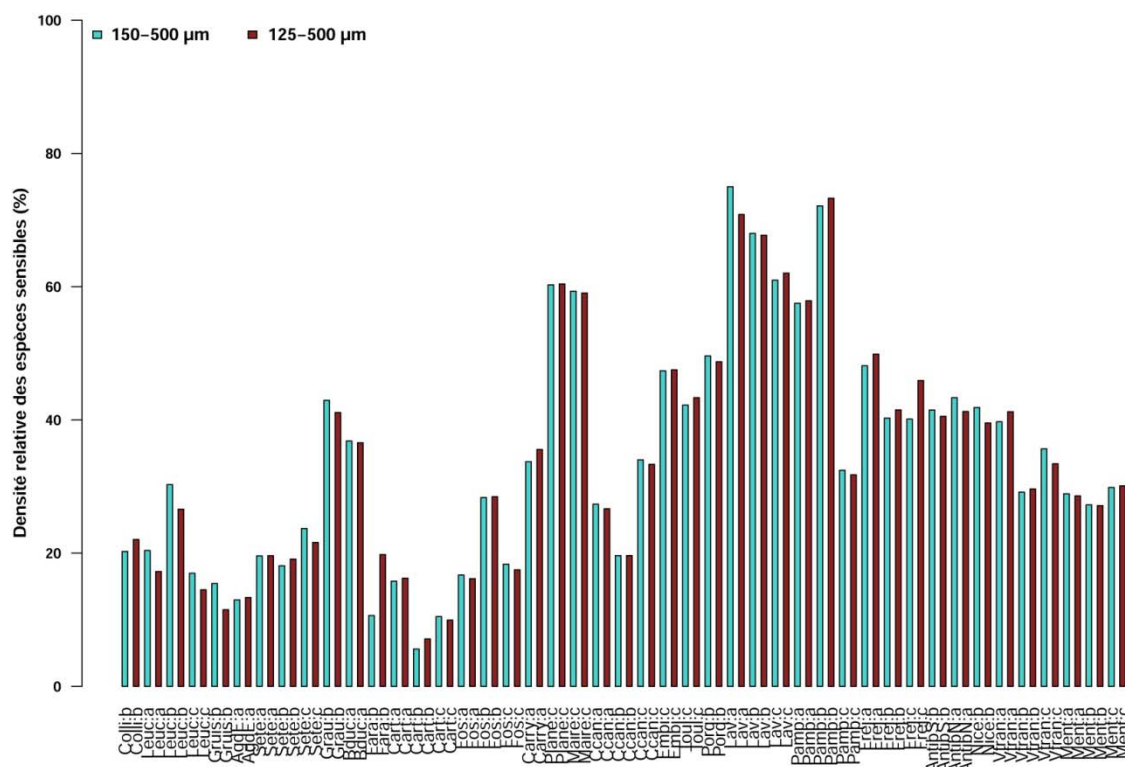


Figure 26 : Densités relatives des espèces sensibles dans la fraction 150-500µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les échantillons où les 2 fractions ont été analysées.

En conclusion, la comparaison des différents paramètres faunistiques calculés pour la fraction 125-500µm et 150-500µm montre qu'il existe une différence significative pour plusieurs d'entre eux. En particulier, le pourcentage des espèces tolérantes est significativement plus important lorsque la fraction 125-500µm est considérée. Notre indice foraminifère étant basé sur ce paramètre, il nous paraît indispensable d'étudier la fraction 125-150µm en plus de la fraction 150-500µm. Ainsi, il sera possible d'établir au mieux l'état écologique d'une station.

Après une description des résultats obtenus pour les stations de la zone Corse, nous étudierons comment l'intégration de la fraction 125-150µm influence les valeurs de l'indice foraminifères et le statut écologique attribué aux différentes stations.

Résultats de la zone Corse

Densité et richesse spécifique

Pour chacune des 11 stations de la zone Corse, 3 réplicats ont été analysés pour la fraction 125-150µm et la fraction 150-500µm. Un réplicat de la station Canari n'a pas pu être échantillonné.

Les densités des faunes de foraminifères vivants de la zone d'étude Corse varient de 3 à 694 par 50cm³ pour la fraction 150-500µm et de 5 à 804 pour la fraction 125-500µm, valeurs trouvées aux stations Cargèse b et Bastia b respectivement (Figure 27). Ce sont les 3 réplicats de la station Bastia qui montrent les plus fortes densités.

Comme c'était le cas pour 4 échantillons de la zone LR-PACA, il y a 6 échantillons en zone Corse qui présentent des densités inférieures à 20 individus/50cm³ : Ajaccio b (5 individus comptés), Aleria c (17 individus comptés), Canari a (16 individus comptés) et les 3 réplicats de Cargèse (4 à 12 individus comptés). Ces échantillons ont été retirés de la base de données car nous considérons que les calculs de paramètres faunistiques basés sur des densités inférieures à 20 individus/50cm³ ne sont pas fiables.

Le nombre de foraminifères vivants appartenant à la fraction 125-150µm représente en moyenne 17% du nombre total de foraminifères de la fraction 125-500µm, un maximum de 34% a été identifié pour Aléria a (Figure 27). Pour Santa Guilia a, aucun foraminifère vivant n'a été trouvé dans la fraction fine.

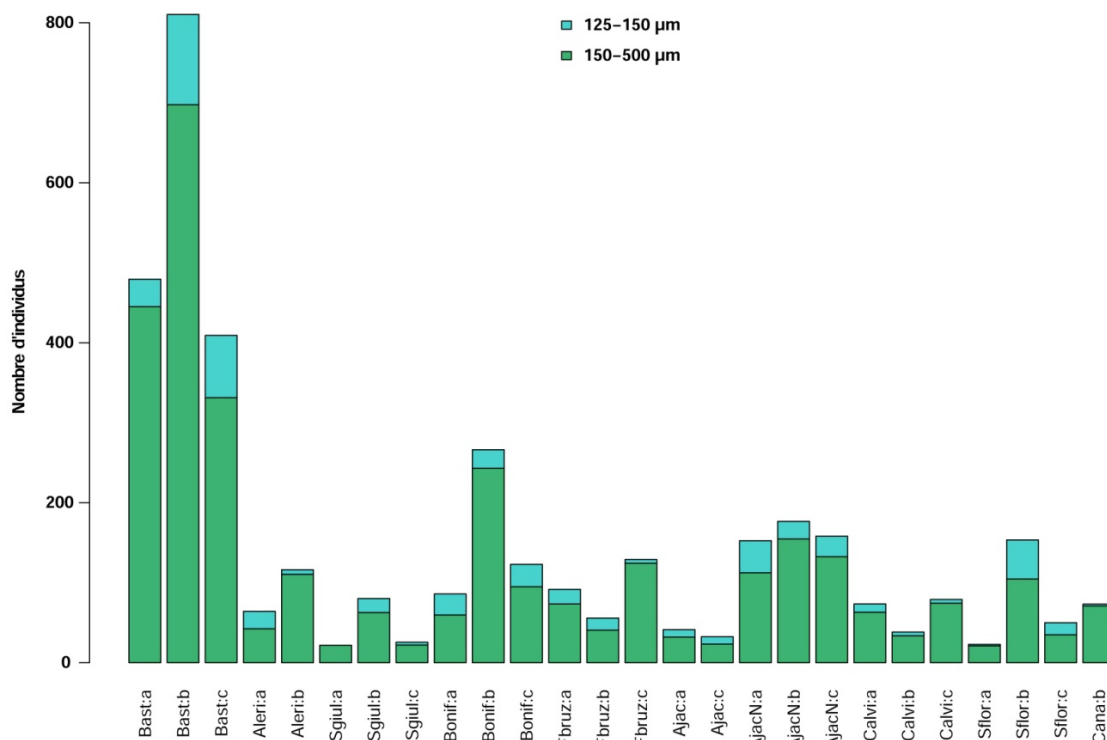


Figure 27 : Densité de foraminifères vivants (nombre d'individus standardisé pour 50 cm³) de la zone Corse dans les fractions 125-150 et 150-500µm. Seuls les réplicats où la densité totale de la fraction 150-500µm est supérieure à 20 individus par 50cm³ sont représentés.

Le nombre d'espèces identifié par échantillon dans la fraction 150-500µm varie de 8 (Santa Giulia c) à 33 (Bonifacio b, Calvi c) avec une moyenne de 21 espèces (les échantillons présentant des densités inférieures à 20 individus par 50cm³ ne sont pas considérés) (Figure 28). Ces valeurs sont généralement plus faibles que celles trouvées pour les stations de la zone LR-PACA où le nombre moyen d'espèces identifié était de 38. En moyenne, l'analyse de la fraction 125-500µm permet l'identification d'environ 3 espèces supplémentaires par rapport à la richesse spécifique observée dans la fraction 150-500µm.

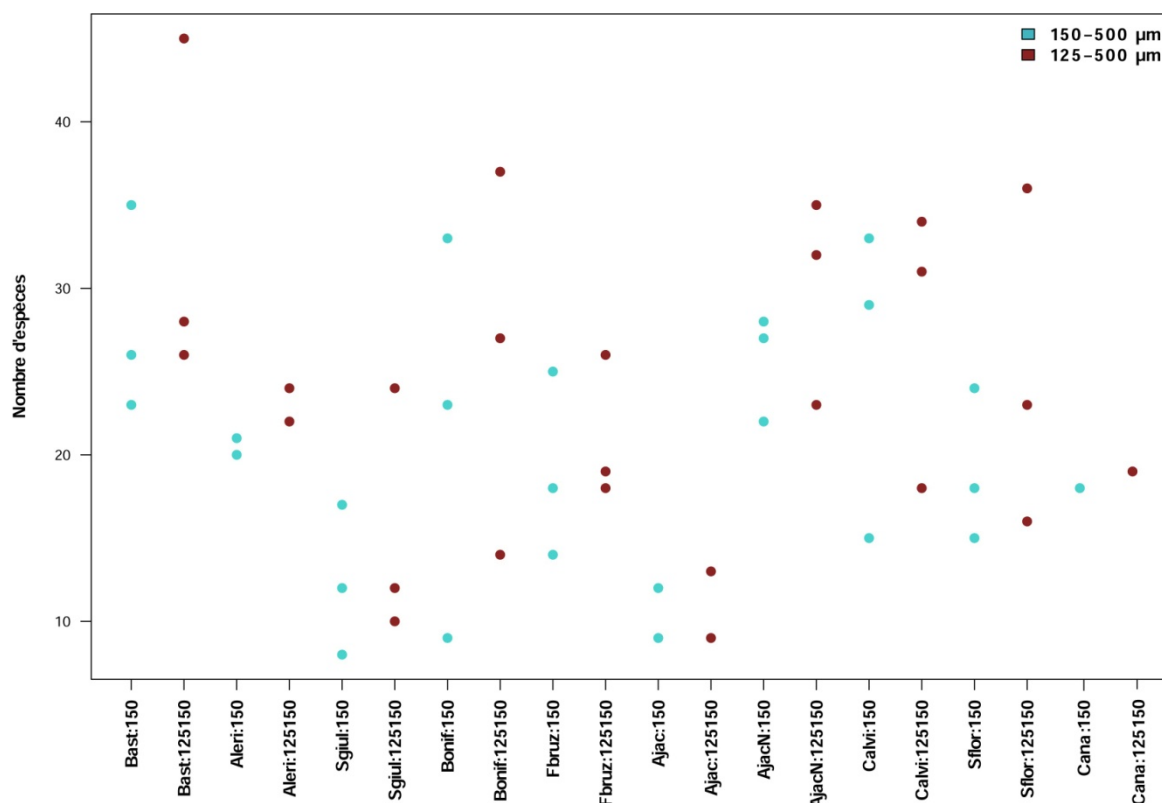


Figure 28 : Richesse spécifique pour la fraction 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les réplicats de la zone Corse.

Indices de diversité

Les indices de diversité de Shannon, Equitabilité et ES50 montrent des valeurs relativement similaires pour les stations de Corse, excepté la station de Calvi qui présente des valeurs plus élevées d'ES50 (21 espèces pour 50 individus analysés pour la fraction 150-500µm), ainsi que certains réplicats des stations Bastia et Bonifacio (Figure 29).

La station Calvi est caractérisée par des densités relativement faible (maximum de 75 individus/50cm³) mais une forte richesse spécifique, d'où un indice ES50 élevé. Les réplicats a et b présentent des pourcentages assez élevés de *Reophax fusiformis* (25,4%) et *Quinqueloculina seminula* (10,3%) respectivement, mais le reste de la faune est équitablement équilibrée entre les différentes espèces.

La station Bastia montre un nombre d'espèce élevé. Cependant, les indices de diversité présentent des valeurs relativement faibles par rapport au reste de la zone d'étude, que l'on considère la fraction 125-500µm ou 150-500µm. Par exemple, les valeurs pour la fraction 150-500µm sont de 1,8 pour l'indice de Shannon, 0,5 pour l'Équitabilité et 9 pour l'ES50 pour une moyenne de 28 espèces identifiées. En effet, cette station est largement dominée par 3 espèces que sont *Eggerella scabra*, *Ammonia beccarii* f. *beccarii* et *Ammoscalaria pseudospiralis*.

Le réplicat a de la station Bonifacio présente des indices de diversité plus faibles que les 2 autres réplicats. Ces faibles valeurs sont la conséquence d'une large dominance de l'espèce *Eggerella scabra* qui représente 65% de la densité totale dans la fraction 125-150µm et 73% dans la fraction 150-500µm.

Pour la zone Corse, la différence entre les valeurs des indices obtenues pour la fraction 125-500µm et 150-500µm, sont significativement différentes pour l'indice de Shannon et l'ES50 et ne sont pas significativement différentes pour l'Équitabilité.

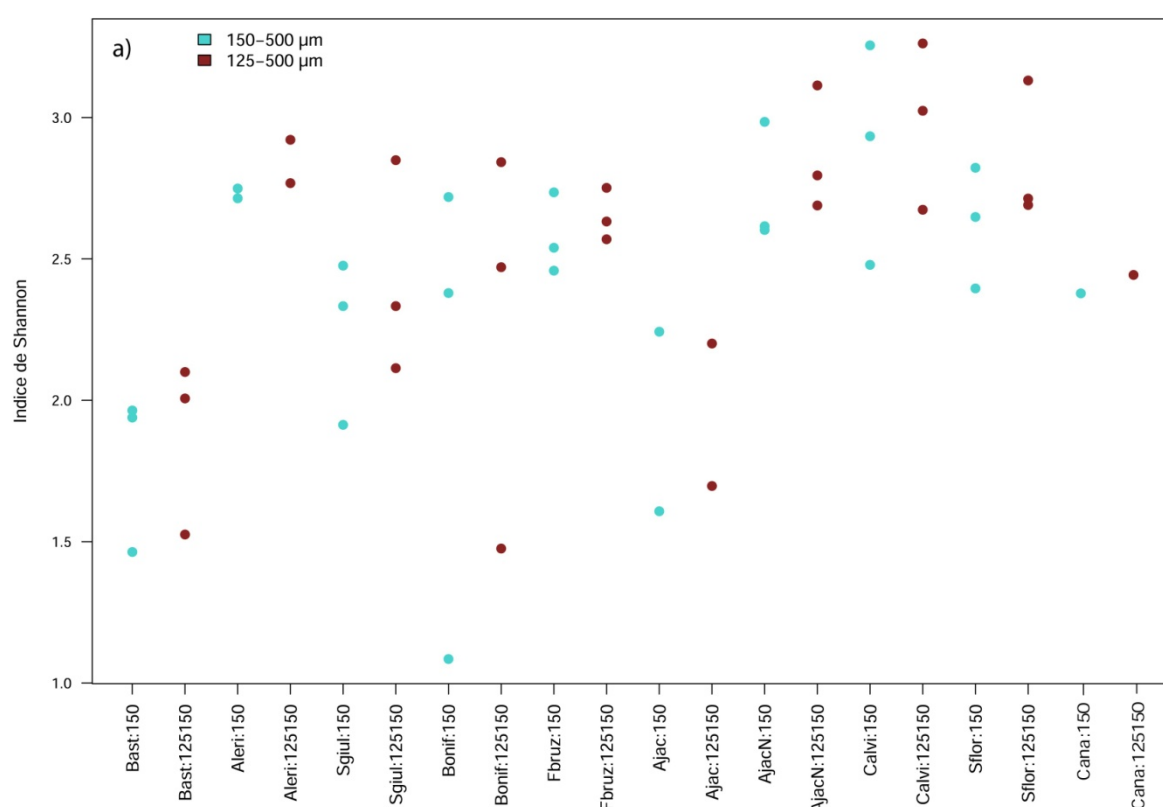


Figure 29 : Indices de diversité pour la fraction 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les réplicats de la zone Corse : a) Shannon, b) équitabilité, et c) ES50 (uniquement pour les échantillons avec un nombre d'individus ≥ 50).

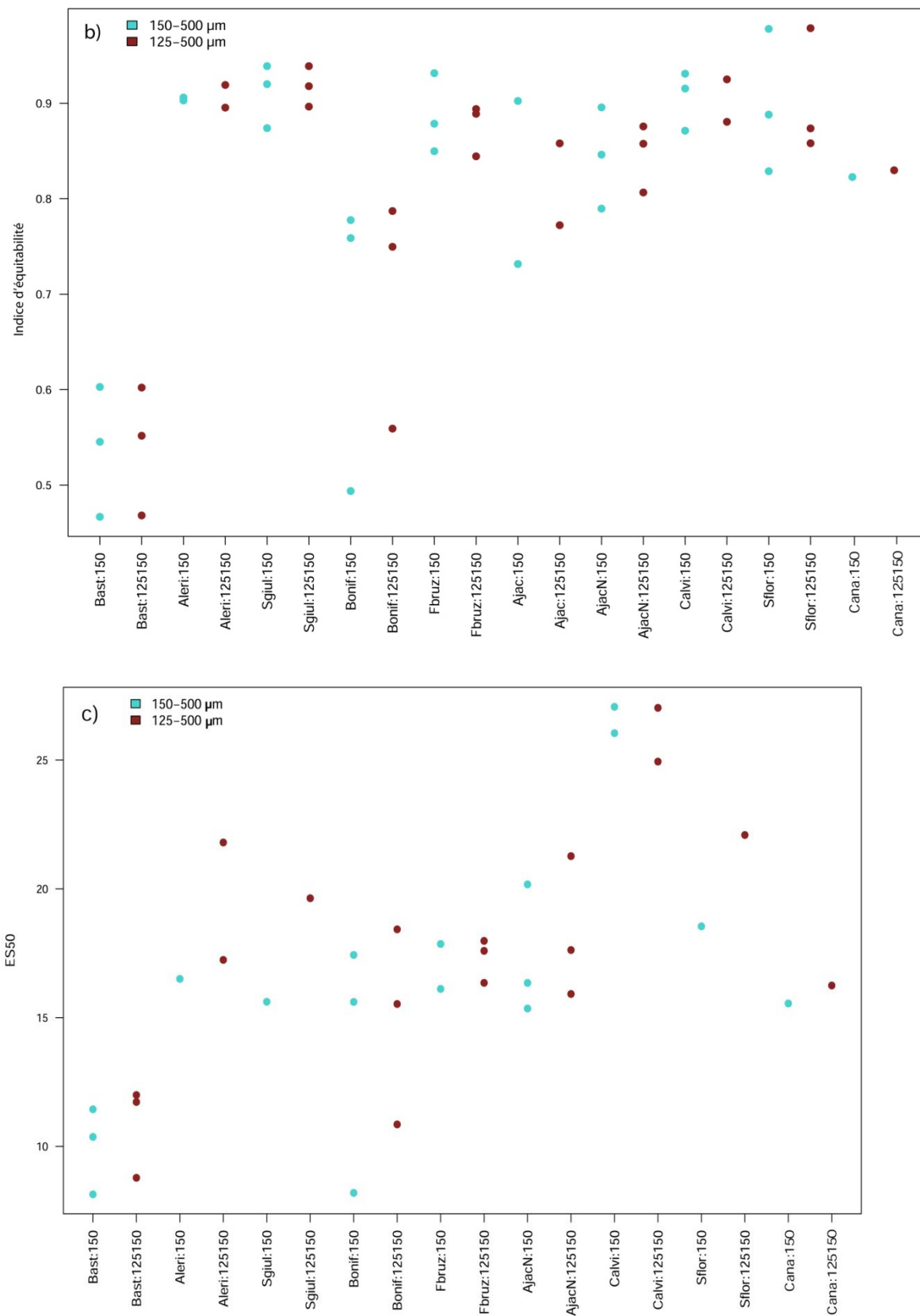


Figure 30 (suite)

Composition des assemblages de foraminifères

La composition faunistique est relativement comparable entre les réplicats des stations Ajaccio, Ajaccio Nord, Bastia et Figari-Bruzzi, que l'on considère les densités relatives ou absolues (Figure 31, Annexe 5). Au contraire, pour d'autres stations, les réplicats semblent avoir des compositions faunistiques différentes, comme par exemple pour Bonifacio ou Saint Florent.

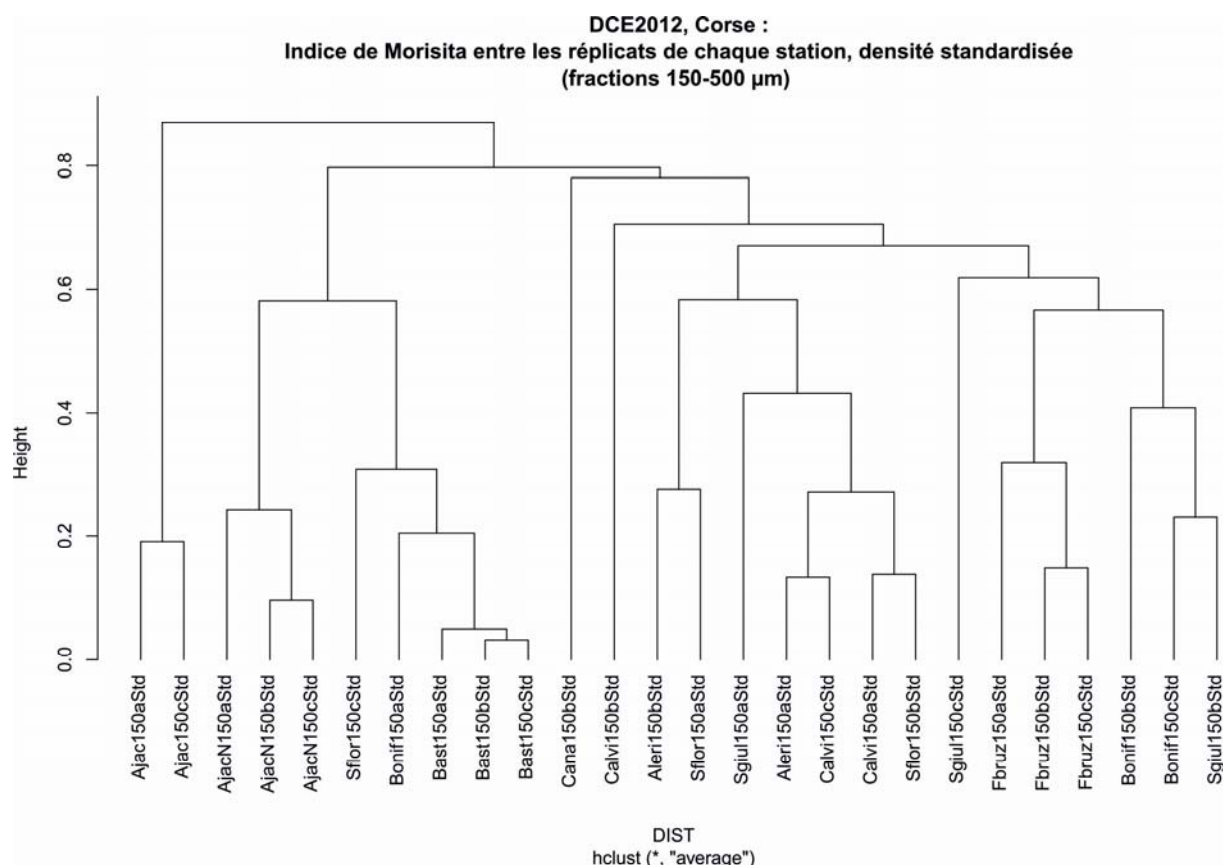


Figure 31 : Dendrogramme de l'indice de similarité de Morisita pour les densités absolues standardisées de la faune totale de la fraction 150-500µm pour tous les échantillons analysés (3 réplicats par station).

Les espèces majeures supérieures à 10% dans au moins un des échantillons de la zone Corse sont au nombre de 49 si l'on considère la fraction 150-500µm et de 55 si l'on considère la fraction 125-500µm. Un total de 46 espèces sont communes aux deux fractions mentionnées.

Groupes par structure du test

Les différents réplicats de Bastia et Ajaccio Nord sont très comparables au sein de chaque station et présentent de très faibles pourcentages d'espèces porcelanées (Figure 32). Au contraire, les réplicats b et c de Bonifacio, Ajaccio c, Calvi b, Saint Florent a ainsi que Canari b sont dominés par les espèces porcelanées. Ce n'est pas le cas de tous les réplicats de ces stations. Pour plusieurs stations, il existe donc une certaine disparité entre les réplicats. Enfin, les réplicats b et c de Santa Giulia et les 3

réplicats de Figari Bruzzi sont dominés par les espèces à test hyalins. Il y a une différence significative pour chacun de ces trois groupes entre les pourcentages dans la fraction 125-500µm et 150-500µm (Wilcoxon, $p < 0,05$).

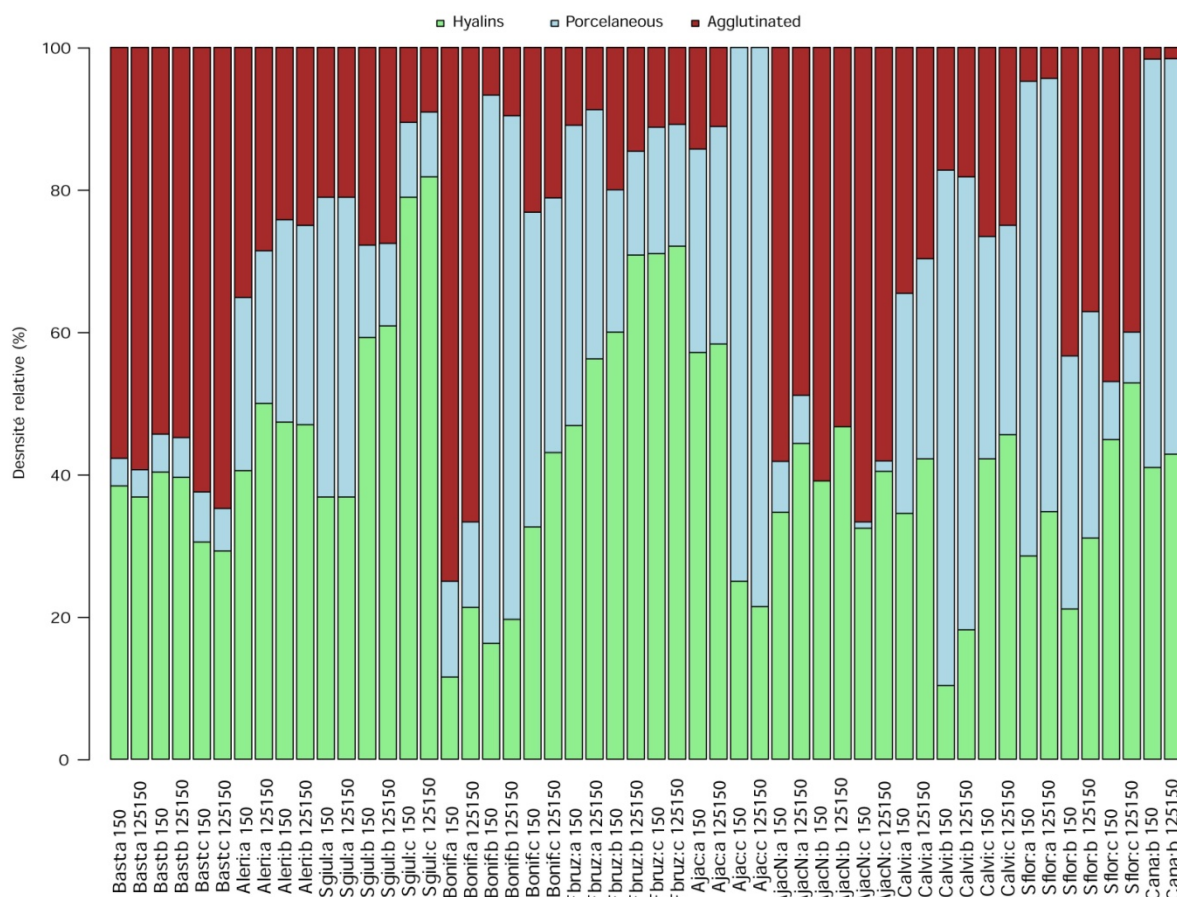


Figure 32 : Pourcentages des trois principaux groupes de foraminifères (hyalins, porcelanés, agglutinés) dans les faunes vivantes dans les fractions 125-500 et 150-500µm pour les échantillons de la zone Corse.

Espèces tolérantes

Les espèces tolérantes (liste mise à jour pour cette campagne de 2012) représentent seulement une faible proportion de la faune totale aux stations corses, excepté pour la station Ajaccio Nord, où leur pourcentage est supérieur à 20% (Figure 33). La Figure 33 permet également de mettre en évidence que la proportion des espèces tolérantes est souvent plus élevée dans la fraction 125-500µm que dans la fraction 150-500µm (différence statistiquement significative : Wilcoxon, $p < 0,05$). C'est le cas en particulier pour les stations Ajaccio Nord, Saint Florent et Canari où le pourcentage augmente nettement. Pour d'autres stations, on observe la tendance inverse avec une diminution du pourcentage d'espèces tolérantes quand on prend en compte la fraction 125-500µm (e.g. Ajaccio). Ces résultats confirment qu'il est nécessaire, pour le calcul de l'indice foraminifères, de prendre en

considération la fraction 125-500µm de manière à avoir une image de la faune de la station la plus proche de la réalité et pouvoir évaluer au mieux la qualité de l'écosystème.

La distribution des densités relatives de chacune des espèces tolérantes de la fraction 150-500µm dans les 3 réplicats des différentes stations de Corse est présentée en Annexe 7. Les densités standardisées de ces espèces tolérantes sont présentées en Annexe 8 pour les fractions 125-150µm et 150-500µm.

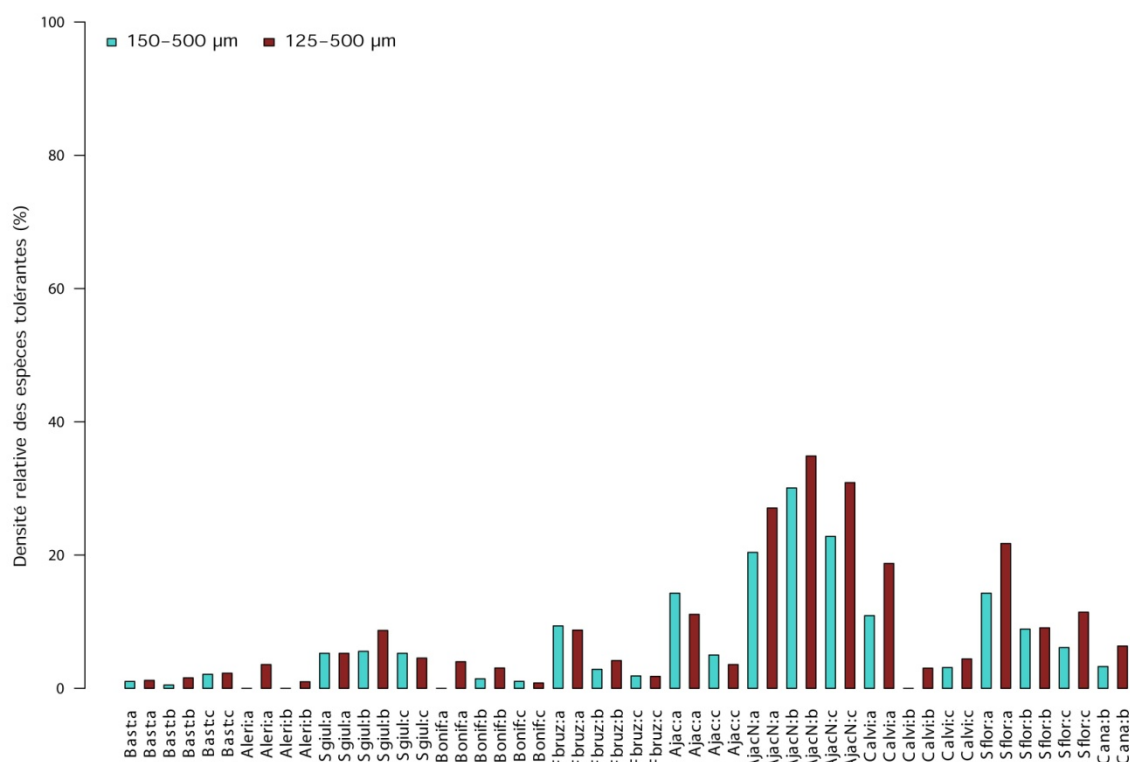


Figure 33 : Densités relatives des espèces tolérantes dans les fractions 150-500µm (en bleu) et 125-500µm (en rouge) pour les stations de Corse.

Espèces épiphytes

Le pourcentage d'espèces épiphytes varie entre 2 et 41% de la faune totale dans la fraction 150-500µm (Figure 34). Ces espèces sont relativement peu présentes à la station Bastia. Par contre, ce groupe est bien représenté dans les échantillons Aléria b, Santa Giulia b et c, Bonifacio c, Figari Bruzzi b et c, Ajaccio a, Calvi c, Saint Florent c et Canari b. Il y a une différence claire entre les réplicats d'une même station pour plusieurs d'entre elles, notamment à Santa Giulia, Saint Florent ou encore Calvi. De plus, il existe une différence statistiquement significative entre les fractions 125-500µm et 150-500µm pour ce groupe d'espèces (Wilcoxon, $p < 0,05$).

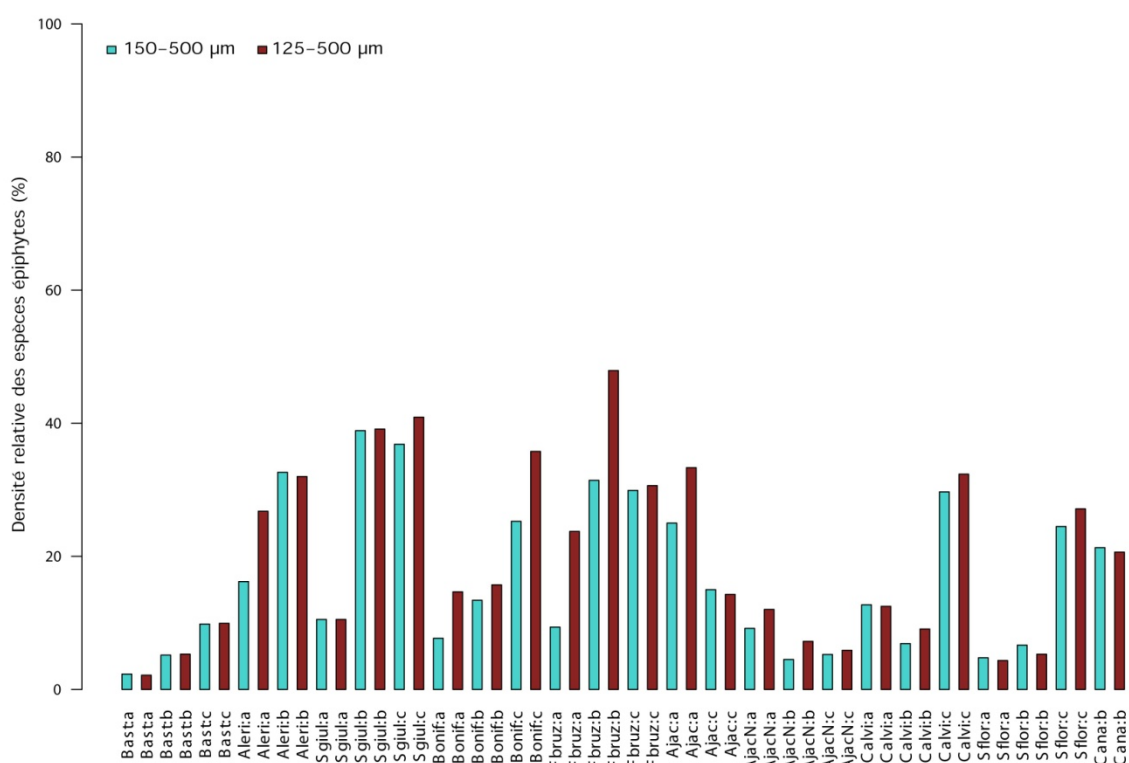


Figure 34 : Densités relatives des espèces épiphytes dans la fraction 150-500µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les stations de Corse.

Espèces sensibles

Les espèces sensibles constituent une très large proportion de la faune (supérieur à 40%) pour la plupart des stations (Figure 35). Ceci n'est cependant pas le cas pour les stations Bastia et Ajaccio Nord où le pourcentage des espèces sensibles est inférieur à 20% dans chacun des répliquats. Les stations Bonifacio, Ajaccio, Calvi ou Saint Florent ont un répliquat dont le pourcentage diffère des deux autres répliquats.

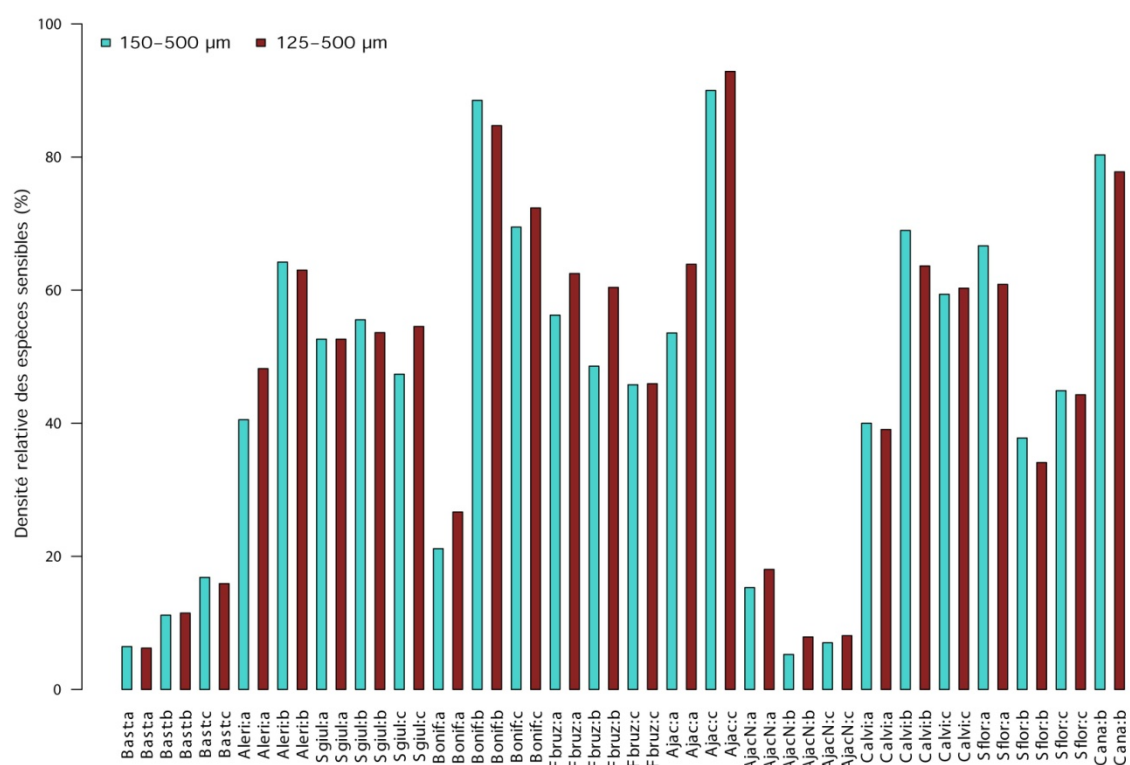


Figure 35 : Densités relatives des espèces sensibles dans la fraction 150-500µm (en bleu) et dans la fraction 125-500µm (en rouge) pour les stations de Corse.

PARTIE B :

INDICE FORAMINIFERE (FI) ET STATUT ECOLOGIQUE (EQ)

Indice foraminifères et statut écologique

Dans un premier temps, nous souhaitons comparer les données de l'indice foraminifères (FI) tel qu'il avait été défini lors de l'étude précédente (campagne d'échantillonnage de 2009, rapport de 2011) afin de pouvoir comparer les valeurs de la campagne de 2009 et de 2012 et les statuts écologiques correspondants en utilisant rigoureusement la même méthode. Dans ce cas, uniquement les données de la fraction 150-500µm seront utilisées.

Dans un second temps, nous avons recalculé l'indice foraminifères de manière à ce qu'il puisse être utilisé pour des données de la fraction 125-500µm (calcul de nouvelles conditions de références). Nous avons alors pu comparer, pour les échantillons de la campagne de prélèvement de 2012, les valeurs de FI et les statuts écologiques obtenus entre **l'indice FI₂₀₀₉ (fraction 150-500µm)** et **l'indice FI₂₀₁₂ (fraction 125-500µm)** basé sur les nouvelles conditions de références.

Nous avons dans un dernier temps comparé les statuts écologiques obtenus lors de la campagne de 2009 (FI₂₀₀₉, fraction 150-500µm) avec ceux obtenus lors de la campagne de 2012 avec la nouvelle définition de l'indice (FI₂₀₁₂, fraction 125-500µm).

Dans toute cette partie, nous avons traité simultanément les données de LR-PACA et de Corse. Il faut également noter que les espèces tolérantes considérées correspondent à la liste mise à jour à partir des données de la campagne 2012, sachant que ces nouvelles espèces identifiées en 2012 n'étaient pas présentes dans les échantillons de la campagne de 2009.

Pour la définition des statuts écologiques, nous avons appliqué les limites proposées lors de l'étude de 2009. L'état écologique de la station est qualifié de très bon état (1, bleu) lorsque FI inférieur à 4, de bon état (2, vert) lorsque FI est compris entre 4 et 16, d'état moyen (3, jaune) lorsque FI est compris entre 16 et 36, d'état médiocre (4, orange) lorsque FI est compris entre 36 et 64, et de mauvais état (5, rouge) lorsque FI est supérieur à 64.

Indice foraminifères basé sur les faunes de la fraction 150-500µm (FI₂₀₀₉)

Calcul de FI₂₀₀₉ pour la fraction 150-500µm

L'indice foraminifères tel que développé en 2009 (**FI₂₀₀₉, 150-500 µm**) compare le pourcentage des espèces tolérantes de la station au pourcentage d'espèces tolérantes théoriques auquel on pourrait s'attendre dans des conditions de référence, ces conditions de références étant définies en fonction de la granulométrie de la station. En effet, plus le sédiment est vaseux, plus on peut s'attendre à ce que le pourcentage d'espèces tolérantes soit naturellement plus élevé. Au contraire, sur un substrat sableux, il devrait être naturellement très faible. Les conditions de référence avaient été déterminées à partir de 8 stations montrant les plus faibles pourcentages d'espèces tolérantes. La formule de calcul est la suivante :

$$FI_x = \frac{(\%ET_x - \%ET_{ref})}{(100 - \%ET_{ref})} \times 100 \quad (\text{Equation 3})$$

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 l'équation de la courbe de référence de 2009 (Equation 4) et le pourcentage de particules fines ($< 63\mu m$) 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.

$$\%ET_{ref2009} = \exp^{(0,0302 \times (\%<63\mu m) + 0,1496) - 1} \quad (\text{Equation 4})$$

La Figure 36 montre, pour la campagne DCE 2012, les valeurs de FI_{2009} obtenues suivant les équations 3 et 4. Comme c'était le cas pour la campagne de 2009, certains échantillons ont une valeur de FI négative. C'est le cas lorsque le pourcentage d'espèces tolérantes est inférieur à celui proposé par les conditions de références théoriques. Les stations Carteau et Carry ont les valeurs de FI_{2009} les plus élevées. En fonction des stations, les réplicats peuvent montrer de fortes différences, ce qui est en l'occurrence le cas pour les stations Carry et Carteau.

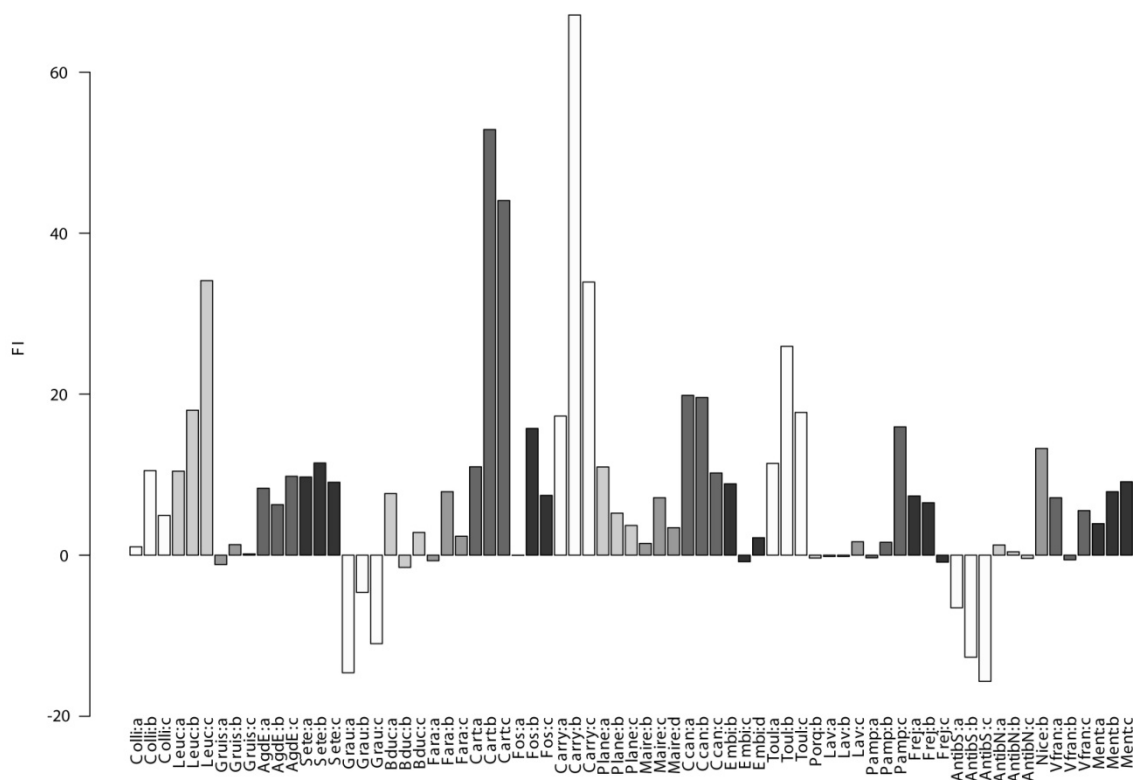


Figure 36 : Valeurs de FI_{2009} calculé à partir des données de la fraction 150-500 μm pour tous les réplicats des stations LR-PACA (panneau du haut) et Corse (panneau du bas) de la campagne 2012. Attention, l'échelle n'est pas la même entre les 2 panneaux.

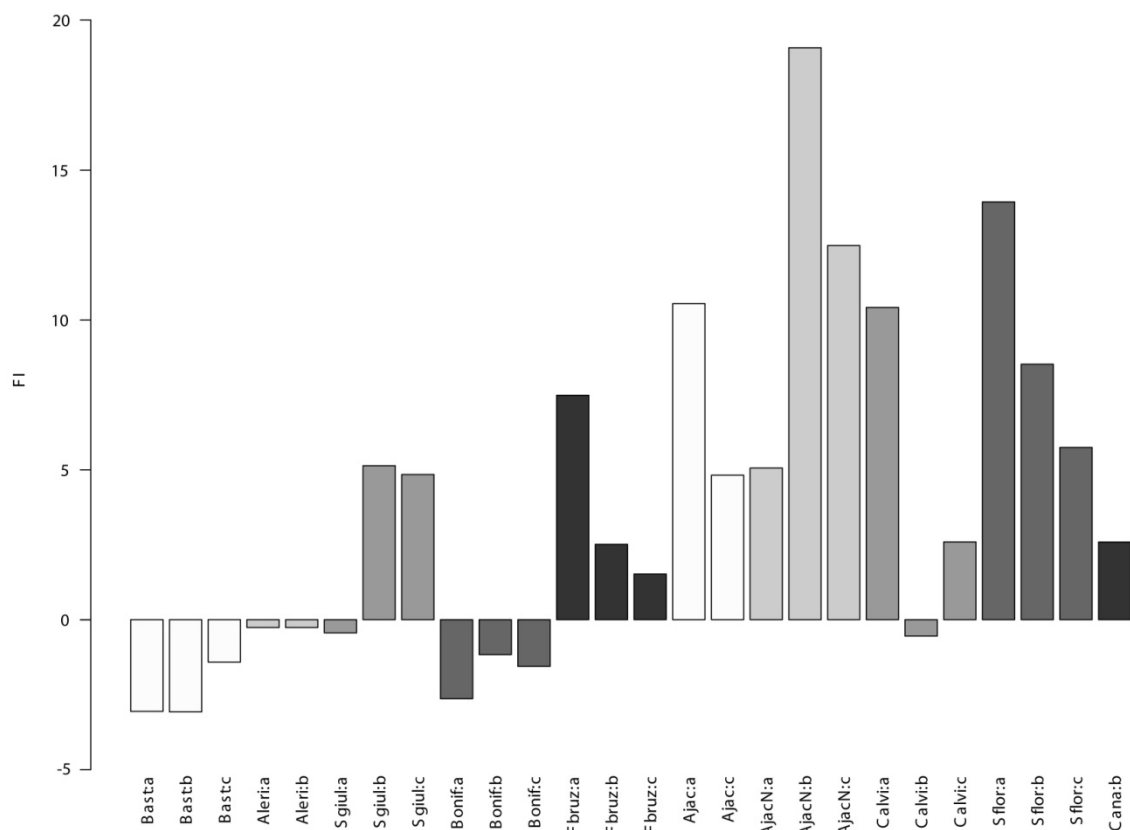


Figure 37 (suite)

Dans le Tableau 6, nous pouvons voir que le statut écologique attribué à chaque réplikat est bon ou très bon pour 19 stations de la zone LR-PACA et pour 9 stations de Corse. Pour les stations Cap Canaille, Leucate, Toulon et Ajaccio Nord, un ou deux réplikats démontrent un état moyen alors que le(s) autre(s) indiquent un bon état. Les résultats données par les réplikats des stations Carry, Carteau et Pampelone sont plus hétérogènes, avec un écart de 2 classes entre les réplikats.

Pour les 6 stations mentionnées ci-dessus, les différentes classes écologiques issues des différents réplikats engendrent des conséquences importantes pour les organismes responsables qui devront mettre en place ou non des travaux pour que la station soit classée en bon état. **Le cas de ces stations confirme la nécessité d'analyser au moins 3 réplikats par station pour pouvoir assigner un état écologique à une station.**

Par la suite, nous avons calculé la moyenne des FI des réplikats d'une station et déduit le statut écologique de la station à partir de cette valeur moyenne de FI (Tableau 7 et Tableau 9).

Méthode FI2009 appliquée aux données 2012

Zone	Station	Réplicat	FI2009	EQ (FI2009)	Zone	Station	Réplicat	FI2009	EQ (FI2009)
LR-Paca	AgdE	a	8.3	2	LR-Paca	Maire	a	1.5	1
LR-Paca	AgdE	b	6.3	2	LR-Paca	Maire	b	7.1	2
LR-Paca	AgdE	c	9.8	2	LR-Paca	Maire	c	3.4	1
LR-Paca	AntibN	a	1.3	1	LR-Paca	Ment	a	4.4	2
LR-Paca	AntibN	b	0.4	1	LR-Paca	Ment	b	8.1	2
LR-Paca	AntibN	c	4.6	2	LR-Paca	Ment	c	9.8	2
LR-Paca	AntibS	a	-6.0	1	LR-Paca	Nice	b	13.3	2
LR-Paca	AntibS	b	-12.2	1	LR-Paca	Pamp	a	-0.3	1
LR-Paca	AntibS	c	-10.6	1	LR-Paca	Pamp	b	1.6	1
LR-Paca	Bduc	a	7.7	2	LR-Paca	Pamp	c	17.3	3
LR-Paca	Bduc	b	-1.5	1	LR-Paca	Plane	a	11.0	2
LR-Paca	Bduc	c	2.8	1	LR-Paca	Plane	b	5.7	2
LR-Paca	Carry	a	17.3	3	LR-Paca	Plane	c	3.7	1
LR-Paca	Carry	b	67.1	5	LR-Paca	Porq	a	-0.4	1
LR-Paca	Carry	c	33.9	3	LR-Paca	Sete	a	10.0	2
LR-Paca	Cart	a	12.1	2	LR-Paca	Sete	b	11.5	2
LR-Paca	Cart	b	53.8	4	LR-Paca	Sete	c	9.1	2
LR-Paca	Cart	c	44.1	4	LR-Paca	Toul	a	11.4	2
LR-Paca	Ccan	a	24.0	3	LR-Paca	Toul	b	25.9	3
LR-Paca	Ccan	b	23.1	3	LR-Paca	Toul	c	18.1	3
LR-Paca	Ccan	c	13.3	2	LR-Paca	Vfran	a	7.1	2
LR-Paca	Colli	a	1.0	1	LR-Paca	Vfran	b	-0.1	1
LR-Paca	Colli	b	12.4	2	LR-Paca	Vfran	c	5.5	2
LR-Paca	Colli	c	4.9	2	Corse	Ajac	a	14.1	2
LR-Paca	Embi	a	8.9	2	Corse	Ajac	c	4.8	2
LR-Paca	Embi	b	-0.1	1	Corse	AjacN	a	10.8	2
LR-Paca	Embi	c	2.2	1	Corse	AjacN	b	21.6	3
LR-Paca	Fara	a	-0.7	1	Corse	AjacN	c	13.5	2
LR-Paca	Fara	b	7.9	2	Corse	Aleri	a	-0.3	1
LR-Paca	Fara	c	2.4	1	Corse	Aleri	b	-0.3	1
LR-Paca	Fos	a	0.3	1	Corse	Bast	a	-2.5	1
LR-Paca	Fos	b	15.7	2	Corse	Bast	b	-3.1	1
LR-Paca	Fos	c	7.4	2	Corse	Bast	c	-1.4	1
LR-Paca	Frej	a	7.4	2	Corse	Bonif	a	-2.6	1
LR-Paca	Frej	b	6.7	2	Corse	Bonif	b	-1.2	1
LR-Paca	Frej	c	-0.9	1	Corse	Bonif	c	-1.6	1
LR-Paca	Grau	a	-14.6	1	Corse	Calvi	a	10.4	2
LR-Paca	Grau	b	-4.5	1	Corse	Calvi	b	-0.5	1
LR-Paca	Grau	c	-11.0	1	Corse	Calvi	c	2.6	1
LR-Paca	Gruis	a	-1.2	1	Corse	Cana	b	2.6	1
LR-Paca	Gruis	b	1.3	1	Corse	Fbruz	a	9.1	2
LR-Paca	Gruis	c	0.2	1	Corse	Fbruz	b	2.5	1
LR-Paca	Lav	a	-0.2	1	Corse	Fbruz	c	1.5	1
LR-Paca	Lav	b	-0.2	1	Corse	Sflor	a	13.9	2
LR-Paca	Lav	c	2.3	1	Corse	Sflor	b	8.5	2
LR-Paca	Leuc	a	10.4	2	Corse	Sflor	c	5.7	2
LR-Paca	Leuc	b	18.0	3	Corse	Sgiul	a	4.8	2
LR-Paca	Leuc	c	34.1	3	Corse	Sgiul	b	5.1	2
					Corse	Sgiul	c	4.8	2

Tableau 6 : FI₂₀₀₉ (150-500µm, référence de 2009) et statuts écologiques (EQ) correspondant pour tous les répliquats de la campagne DCE 2012 en LR-PACA et en Corse.

Pourcentages d'espèces tolérantes vs fraction fine de sédiment (<63µm)

La Figure 38 illustre la distribution des répliqués des stations de LR-PACA en fonction de la granulométrie (<63µm) et du pourcentage des espèces tolérantes. Elle permet de mettre en évidence que les stations présentant les plus forts pourcentages d'espèces tolérantes ne sont pas spécialement caractérisées par des sédiments vaseux. Elle permet aussi d'illustrer le fait que notre indice n'est pas influencé par le fait que les conditions environnementales sont naturellement différentes entre la côte est (points bleus) et ouest (points verts) des régions LR-PACA.

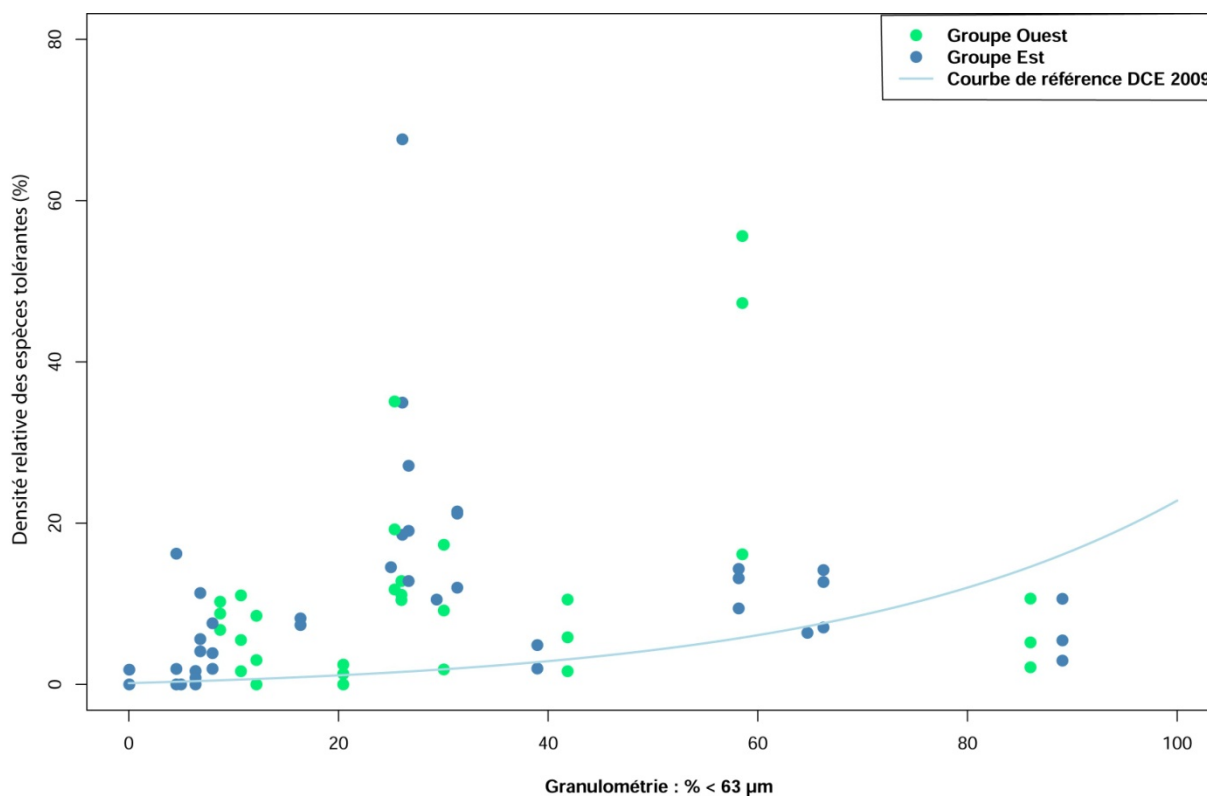


Figure 38 : Pourcentage des espèces tolérantes de la fraction 150-500µm en fonction du pourcentage d'argiles et silts (<63µm) pour tous les répliqués des stations de LR-PACA, en vert pour les stations à l'ouest et en bleu pour les stations à l'est, la limite se situant entre Fos et Carry.

Comparaison de l'indice FI₂₀₀₉ entre les campagnes 2009 et 2012

Dans ce paragraphe, nous souhaitons comparer les statuts écologiques entre les campagnes DCE 2009 et 2012 basés sur l'analyse à la fraction 150-500µm et les conditions de référence définies pour la DCE 2009 (Tableau 7).

Pour la zone LR-PACA, 14 stations ne changent pas de statut écologique entre 2009 et 2012. Treize de ces stations étaient classées en bon ou très bon et le sont restées, tandis que la station Toulon Grande Rade est classée en état moyen. Quatre stations de LR-PACA voient leur statut écologique s'améliorer. En particulier, les stations Fos et Menton passent d'un statut moyen à bon. Enfin, 7 stations voient leur statut écologique se dégrader. En particulier, la station Cap Canaille change de 2

classes, passant d'un statut très bon à moyen (voir chapitre « Comparaison des EQ de la campagne 2009 et de la campagne 2012 » pour une analyse plus détaillée de cette station). Les stations Carry et Carteau, déjà classées en état moyen en 2009 sont désormais classées en état médiocre en 2012.

Pour la zone Corse, 3 stations sur les 8 stations communes entre les campagnes 2009 et 2012 diminuent d'une classe écologique en 2012 mais toutes les stations restent en bon ou très bon état.

Pour avoir une analyse plus détaillée des stations qui voient leur statut écologique changer entre 2009 et 2012, merci de se reporter au chapitre « Comparaison des EQ de la campagne 2009 et de la campagne 2012 ».

Méthode FI2009 appliquée aux données 2009 et 2012

Zone	Station	FI2009 campagne 2009	FI2009 campagne 2012	EQ campagne 2009	EQ campagne 2012	Différence des EQ 2009 et 2012
LR-Paca	AgdE	1.9	8.1	1	2	-1
LR-Paca	AgdW	1.2	-	1	-	-
LR-Paca	AntibN	-0.2	2.1	1	1	0
LR-Paca	AntibS	-1.8	-9.6	1	1	0
LR-Paca	Bduc	2.9	3.0	1	1	0
LR-Paca	Carry	33.7	39.4	3	4	-1
LR-Paca	Cart	25.9	36.6	3	4	-1
LR-Paca	Ccan	-0.4	20.1	1	3	-2
LR-Paca	Cerb	1.6	-	1	-	-
LR-Paca	Colli	2.4	6.1	1	2	-1
LR-Paca	Embi	3.4	3.6	1	1	0
LR-Paca	Fara	-0.4	3.2	1	1	0
LR-Paca	Fos	16.9	7.8	3	2	1
LR-Paca	Fréj	1.9	4.4	1	2	-1
LR-Paca	Grau	-1.1	-10.0	1	1	0
LR-Paca	Gruis	8.2	0.1	2	1	1
LR-Paca	Lav	0.8	0.7	1	1	0
LR-Paca	Leuc	45.7	20.8	4	3	1
LR-Paca	Levan	4.7	-	2	-	-
LR-Paca	Maire	10.8	4.0	2	2	0
LR-Paca	Ment	20.6	7.4	3	2	1
LR-Paca	Mjet	37.0	-	4	-	-
LR-Paca	Monac	14.9	-	2	-	-
LR-Paca	Mrade	-	-	-	-	-
LR-Paca	Nice	-0.7	13.3	1	2	-1
LR-Paca	Pamp	7.9	6.2	2	2	0
LR-Paca	Plane	8.6	6.8	2	2	0
LR-Paca	Porq	-0.6	-0.4	1	1	0
LR-Paca	Sete	4.7	10.2	2	2	0
LR-Paca	Toul	18.9	18.5	3	3	0
LR-Paca	Vfran	6.2	4.2	2	2	0
Corse	Ajac	-4.5	9.5	1	2	-1
Corse	AjacN	-	15.3	-	2	-
Corse	Aleri	-0.5	-0.3	1	1	0
Corse	Bast	0.1	-2.3	1	1	0
Corse	Bonif	-5.1	-1.8	1	1	0
Corse	Calvi	0.5	4.2	1	2	-1
Corse	Cana	-4.1	2.6	1	1	0
Corse	Carg	9.0	-	2	-	-
Corse	Fbruz	0.3	4.4	1	2	-1
Corse	Pvecc	-5.4	-	1	-	-
Corse	Sflor	-	9.4	-	2	-
Corse	Sgiul	4.2	4.9	2	2	0
Corse	Smanz	5.2	-	2	-	-

Tableau 7 : Comparaison entre le FI₂₀₀₉ (150-500µm, conditions de référence de 2009, moyenne des FI des réplicats pour la campagne 2012) et statuts écologiques (EQ) correspondant des stations LR-PACA et Corse pour les campagnes de 2009 et 2012.

Indice foraminifères basé sur les faunes de la fraction 125-500µm (FI₂₀₁₂)

Définition des conditions de références pour la fraction 125-500µm

Nous avons vu précédemment dans ce rapport que le pourcentage des espèces tolérantes est significativement plus élevé dans la fraction 125-500µm que dans la fraction 150-500µm. Il semble donc fort préférable de calculer l'indice foraminifères à partir des données faunistiques de la fraction 125-500µm. Or, nous ne pouvons pas utiliser les conditions de références ayant été définie en 2009 (Equation 4) puisque ce travail était basé sur la fraction 150-500µm. Nous avons donc calculé des nouvelles conditions de références à partir des données de la fraction 125-500µm de la zone LR-PACA.

La Figure 39 présente tous les répliquats des stations LR-PACA dont les fractions 125-150µm et 150-500µm ont été analysées en fonction de la granulométrie du sédiment à la station (%<63µm). À partir de ce graphique, nous avons sélectionné 11 échantillons provenant de 11 stations différentes. Celles-ci sont réparties tout le long de la gamme de granulométrie et présentent les pourcentages d'espèces tolérantes les plus faibles. Les répliquats utilisés comme références sont : Lavandou a, Porquerolles b, Faraman a, Gruissan a, Fos a, Embiez c, Beauduc a, Menton a, Villefranche a, Grau du Roi c, Antibes Sud a. Ces échantillons nous ont permis de définir des conditions de références à partir d'un modèle linéaire (contrairement à 2009 où un modèle exponentiel était mieux adapté) (Equation 5).

$$\%ET_{ref2012} = 0,095 \times (\% < 63\mu m) \quad (\text{Equation 5})$$

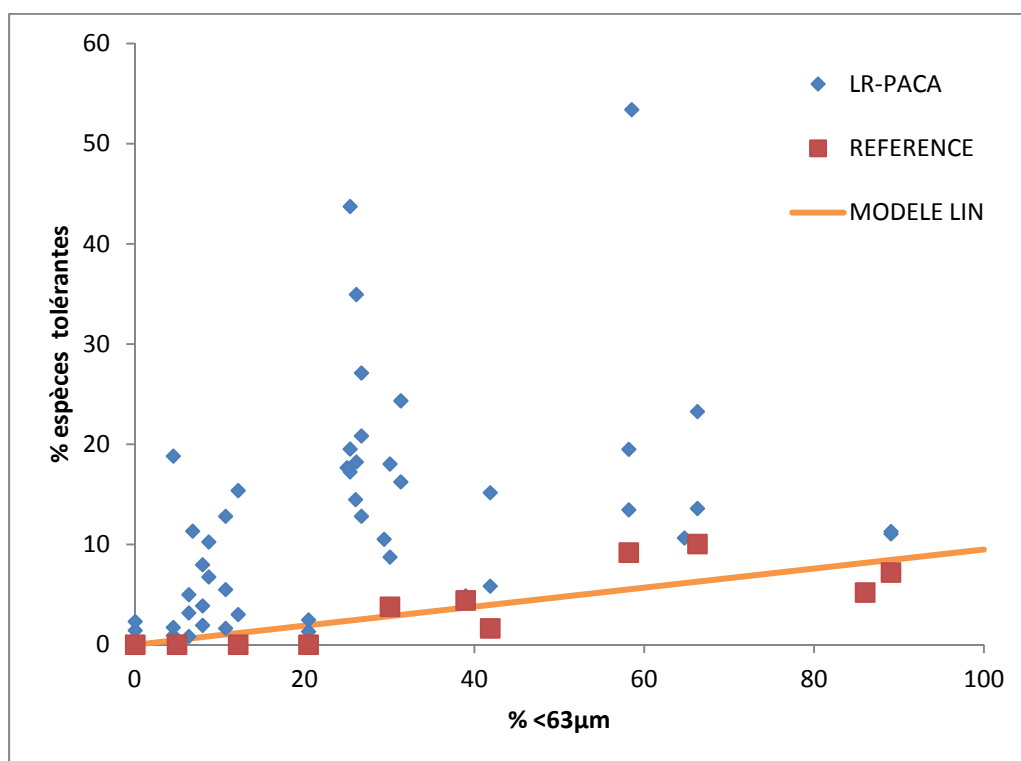


Figure 39 : Définition des conditions de références à partir des données de tous les répliquats de LR-PACA où les fractions 125-150µm et 150-500µm ont été analysées.

Calcul de FI_{2012} pour la fraction 125-500 μ m

À partir des conditions de références déterminées sur les données 2012 de la fraction 125-500 μ m, nous avons calculé l'indice foraminifères pour les stations de LR-PACA (FI_{2012}) suivant l'équation 3 :

$$FI_x = \frac{(\%ET_x - \%ET_{ref})}{(100 - \%ET_{ref})} \times 100 \quad (\text{Equation 3})$$

Si l'on compare ces valeurs de **FI_{2012} (fraction 125-500 μ m**, conditions de référence définies en 2012) aux valeurs de **FI_{2009}** calculés sur les mêmes échantillons mais en prenant en compte la fraction 150-500 μ m et les conditions de référence définies en 2009, nous pouvons remarquer que le FI_{2012} a tendance à donner des valeurs légèrement plus élevées que FI_{2009} (Figure 40), ce qui est logique, puisque les espèces tolérantes sont mieux représentées. C'est le cas pour 70% des échantillons analysés (tous les réplicats dont la fraction 125-500 μ m a été analysée, LR-PACA et Corse) pour lesquels le FI_{2012} est supérieur de 3,6 unités en moyenne par rapport au FI_{2009} .

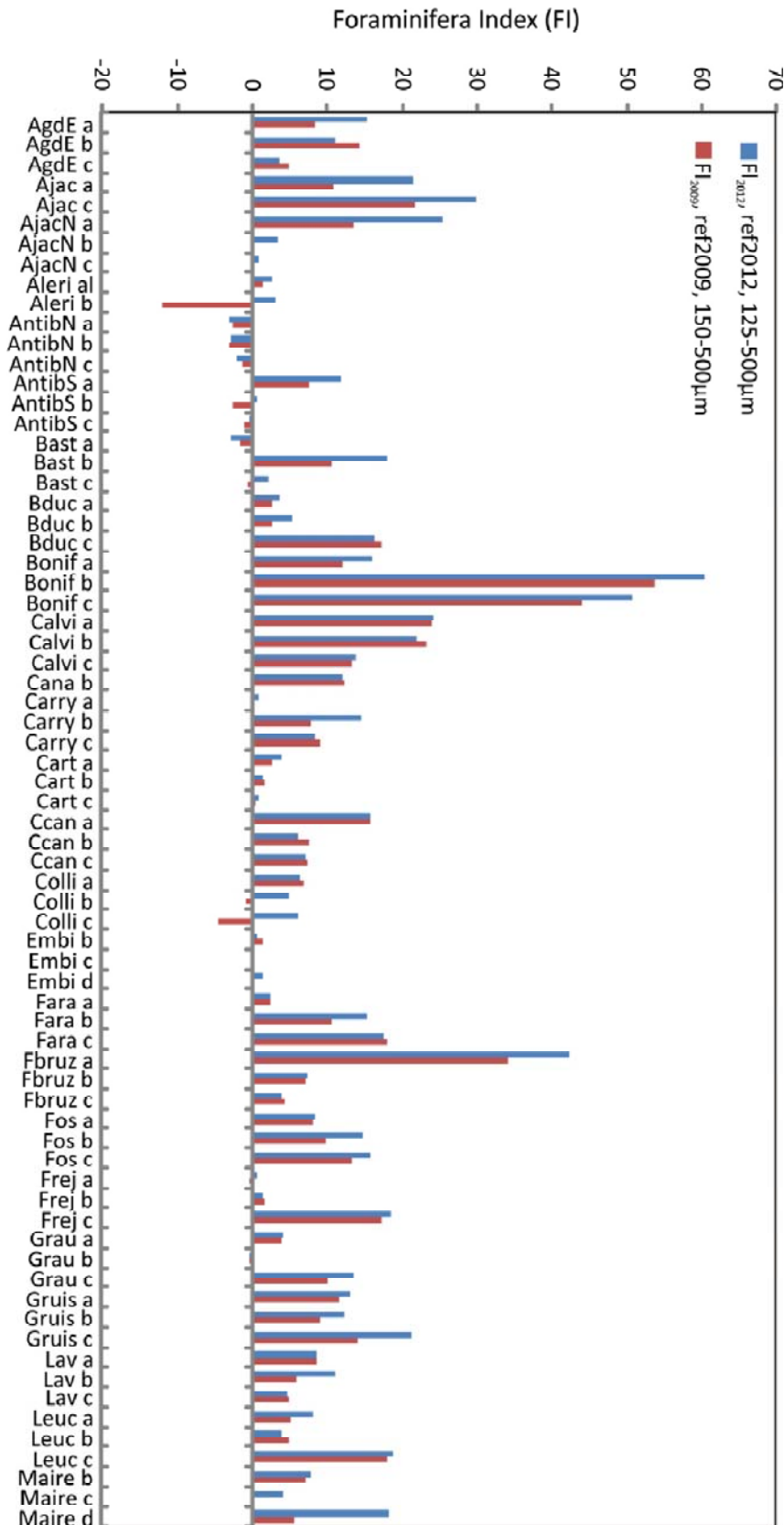


Figure 40 : Comparaison des valeurs de FI calculés pour les données de la campagne de 2012, soit en utilisant les données de la fraction 125-500µm et les nouvelles références de 2012 (FI₂₀₁₂, bleu), soit en utilisant les données de la fraction 150-500µm et les références définies en 2009 (FI₂₀₀₉, rouge).

Comparaison des indices FI_{2009} et FI_{2012} pour la campagne 2012

À partir des conditions de références déterminées sur la base des données 2012 pour la fraction 125-500 μ m, nous avons calculé l'indice foraminifères pour les stations de LR-PACA (FI_{2012}) suivant l'équation 3.

Nous avons comparé, pour les échantillons de la campagne de prélèvement de 2012, les valeurs de FI et les statuts écologiques obtenus entre l'indice FI_{2009} (fraction 150-500 μ m, conditions de références définies lors de la campagne 2009) et l'indice FI_{2012} (fraction 125-500 μ m) basé sur les nouvelles conditions de références (Tableau 8, Figure 40). Pour cette comparaison, nous avons uniquement considéré les échantillons pour lesquels la fraction 125-150 μ m et 150-500 μ m ont été analysées.

Les valeurs de FI_{2012} sont généralement plus élevées que les valeurs de FI_{2009} calculés sur les mêmes échantillons (Tableau 8). C'est le cas pour 27 des 35 stations analysées (LR-PACA et Corse) avec une augmentation de 3,6 en moyenne de l'indice. Seules les stations Carry, Cap Canaille, Collioure, Fos, Gruissan, Porquerolles b, Ajaccio Sud et Bastia Sud montrent la tendance inverse.

Pour 31 des 35 stations étudiées lors de la campagne DCE 2012, le statut écologique ne change pas entre FI_{2009} et FI_{2012} . Donc malgré une augmentation de la valeur du FI_{2012} par rapport au FI_{2009} , cette différence n'a que de faibles conséquences au niveau du statut écologique des stations. Ceci est causé par le fait que l'augmentation d'espèces tolérantes est partiellement compensée par un changement des conditions de référence. Néanmoins, les stations Grau du Roi, Ile Plane et Canari voient leur statut passé de très bon à bon avec le nouveau calcul de l'indice, et Ajaccio Nord de bon à médiocre.

Ainsi l'indice tel qu'il a été nouvellement défini (FI_{2012}), malgré le fait qu'il représente mieux les espèces tolérantes, indicatrices d'impact anthropique, ne change pas de manière majeure l'état écologique dans lequel les stations auraient été classées en utilisant l'indice de 2009 (FI_{2009}). Ce nouvel indice permet cependant d'être plus exacte car il tient compte également de la fraction fine (125-150 μ m) qui peut contenir en particulier une partie importante des espèces tolérantes. Il est aussi en accord avec des recommandations de bonne utilisation des foraminifères benthiques en tant que bio-indicateurs données par le groupe FOBIMO (Schönfeld et al., 2012). Il nous paraît donc tout à fait logique d'appliquer cet indice FI_{2012} pour définir l'état écologique des stations pour la campagne de 2012 et des campagnes futures, et de comparer ce classement à celui obtenu pour ces mêmes stations lors de la campagne 2009 avec l'indice FI_{2009} .

Méthodes FI2009 et FI2012 appliquées aux données 2012

Zone	Station	FI2009 campagne 2012	FI2012 campagne 2012	EQ (issu de FI2009)	EQ (issu de FI2012)	Différence entre les EQ
LR-Paca	AgdE	8.3	15.3	2	2	0
LR-Paca	AntibN	1.3	2.6	1	1	0
LR-Paca	AntibS	-12.2	3.1	1	1	0
LR-Paca	Bduc	7.7	11.7	2	2	0
LR-Paca	Carry	17.3	16.2	3	3	0
LR-Paca	Cart	36.6	42.3	4	4	0
LR-Paca	Ccan	20.1	20.0	3	3	0
LR-Paca	Colli	12.4	11.9	2	2	0
LR-Paca	Embi	-0.1	0.7	1	1	0
LR-Paca	Fara	7.9	14.4	2	2	0
LR-Paca	Fos	7.8	7.6	2	2	0
LR-Paca	Frej	4.4	6.1	2	2	0
LR-Paca	Grau	-4.5	6.0	1	2	-1
LR-Paca	Gruis	1.3	0.6	1	1	0
LR-Paca	Lav	0.7	1.2	1	1	0
LR-Paca	Leuc	20.8	25.0	3	3	0
LR-Paca	Maire	7.1	7.3	2	2	0
LR-Paca	Ment	7.4	9.0	2	2	0
LR-Paca	Nice	13.3	15.7	2	2	0
LR-Paca	Pamp	6.2	6.8	2	2	0
LR-Paca	Plane	3.7	4.2	1	2	-1
LR-Paca	Porq	-0.4	-0.5	1	1	0
LR-Paca	Sete	10.2	13.0	2	2	0
LR-Paca	Toul	18.1	18.8	3	3	0
LR-Paca	Vfran	4.2	10.0	2	2	0
Corse	Ajac	9.5	7.3	2	2	0
Corse	AjacN	15.3	25.5	2	3	-1
Corse	Aleri	-0.3	2.0	1	1	0
Corse	Bast	-2.3	-2.7	1	1	0
Corse	Bonif	-1.8	-0.9	1	1	0
Corse	Calvi	4.2	7.9	2	2	0
Corse	Cana	2.6	5.2	1	2	-1
Corse	Fbruz	4.4	4.5	2	2	0
Corse	Sflor	9.4	13.6	2	2	0
Corse	Sgiul	4.9	5.5	2	2	0

Tableau 8 : Comparaison entre le FI₂₀₀₉ (150-500µm, conditions de référence de 2009) et le FI₂₀₁₂ (125-500µm, nouvelles conditions de référence de 2012) et statuts écologiques (EQ) correspondant pour les stations LR-PACA et Corse de la campagne de 2012 (uniquement les échantillons dont la fraction 125-150µm a été analysée sont considérés).

Comparaison des EQ de la campagne 2009 et de la campagne 2012

Dans le Tableau 9, nous avons indiqué pour chaque répliat ainsi que pour chaque station les valeurs des différents indices calculés, en indiquant en couleur le statut écologique correspondant. Nous avons également comparé les statuts écologiques obtenus lors de la campagne de 2009 (FI_{2009} , fraction 150-500 μ m, conditions de référence de 2009, colonne a du Tableau 9) avec ceux obtenus lors de la campagne de 2012 et la nouvelle définition de l'indice (FI_{2012} , fraction 125-500 μ m, conditions de référence de 2012, colonne c du Tableau 9 moyenne par station).

Pour 16 des 34 stations de LR-PACA et Corse analysées en 2009 et 2012 (la station Cargèse n'est pas considérée puisqu'elle présentait des densités trop faibles en 2012), l'état écologique n'a pas changé en 3 ans. Pour 17 des 34 stations, leur état était très bon ou bon et l'est resté. Pour les stations Carry et Toulon, l'état écologique ne s'est pas amélioré, il est resté moyen.

Pour 6 stations en LR-PACA (Agde Est, Beauduc, Collioure, Faraman, Grau du Roi et Nice) et 4 stations en Corse (Ajaccio Sud, Calvi, Canari et Figari Bruzzi), l'état écologique semble s'être très légèrement dégradé passant de très bon à bon entre 2009 et 2012, sans conséquence sur le management de ces zones.

Au contraire, les stations Fos, Gruissan, Leucate, Menton voient leur état écologique légèrement amélioré. Pour Gruissan, le passage du statut bon à très bon n'entraîne aucun changement au niveau du plan d'action à mener dans ces zones. Pour la station Leucate, le statut reste encore inférieur à bon en 2012 malgré ce changement de classe écologique. Pour Fos et Menton, le statut évolue de moyen en 2009 à bon en 2012 ayant ainsi des conséquences quant au plan de gestion de ces masses d'eau.

Enfin, certaines stations montrent une augmentation du pourcentage d'espèces tolérantes et donc de l'indice foraminifère. C'est le cas de la station Carteau dont le FI a augmenté de 25,9 en 2009 à 42,3 en 2012. Cette station voit son statut passer de moyen à médiocre. Le même changement de statut est observé si l'on prend en considération le FI_{2009} .

Plus étonnamment, la station Cap Canaille, classée en très bonne qualité en 2009, montre une nette baisse de l'indice foraminifères FI avec une rétrogradation en état moyen en 2012. Cependant, la comparaison des coordonnées et des profondeurs d'échantillonnage lors des campagnes de 2009 (43.18517°E, 5.55317°N, 43m de profondeur d'eau) et 2012 (43.18162°E, 5.55400°N, 71m de profondeur d'eau) montre clairement que la station n'a pas été localisée au même endroit pendant ces deux missions. Ce changement de statut n'est donc probablement pas dû à une dégradation notable des conditions à la station mais au fait que le prélèvement n'a pas eu lieu au même endroit. En l'occurrence, le prélèvement de 2012 présente une profondeur d'eau beaucoup plus importante et une granulométrie du sédiment légèrement différente (13 et 31% de particules <63 μ m en 2009 et 2012, respectivement). Cependant, les stations Cap Canaille de 2009 et 2012 se trouvent dans la même masse d'eau FRDC07b (Cap Croisette - Bec de l'Aigle) qui doit être représentée par le statut de la station Cap Canaille. Cela met en évidence la difficulté de définir le statut écologique d'une large zone géographique, une masse d'eau selon la définition de la DCE, par l'étude d'une unique station.

Il faut toutefois noter que la valeur de FI moyennée des 3 réplicats analysés à cette station est de 16,5 en 2012 donc juste au-dessus de la limite de la classe représentant le bon état écologique. En 2009, cette station était caractérisée par un pourcentage d'espèces tolérantes très faible (0,36%). En 2012, ce pourcentage est désormais de 22% en moyenne, quel que soit la fraction considérée (85 individus en moyenne dans la fraction 125-500µm dont 68 individus dans la fraction 150-500µm). Cette différence n'est pas le fait de l'augmentation d'une seule espèce mais la présence d'une grande variété d'espèces tolérantes (Figure 41) : *Valvulineria bradyana* (6%) et *Cancris auriculus* (4%), mais aussi *Bolivina* spp., *Bulimina* spp., *Cassidulina* spp., *Cassidulinoides bradyi*, *Leptohalysis scottii*, *Nonion depressulum*, *Nonionella turgida*, *Pseudoeponides falsobeccarii* et *Rectuvigerina phlegeri*. D'autre part, le pourcentage des espèces sensibles est moindre en 2012 qu'en 2009 passant de 52 à 27% (150-500µm).

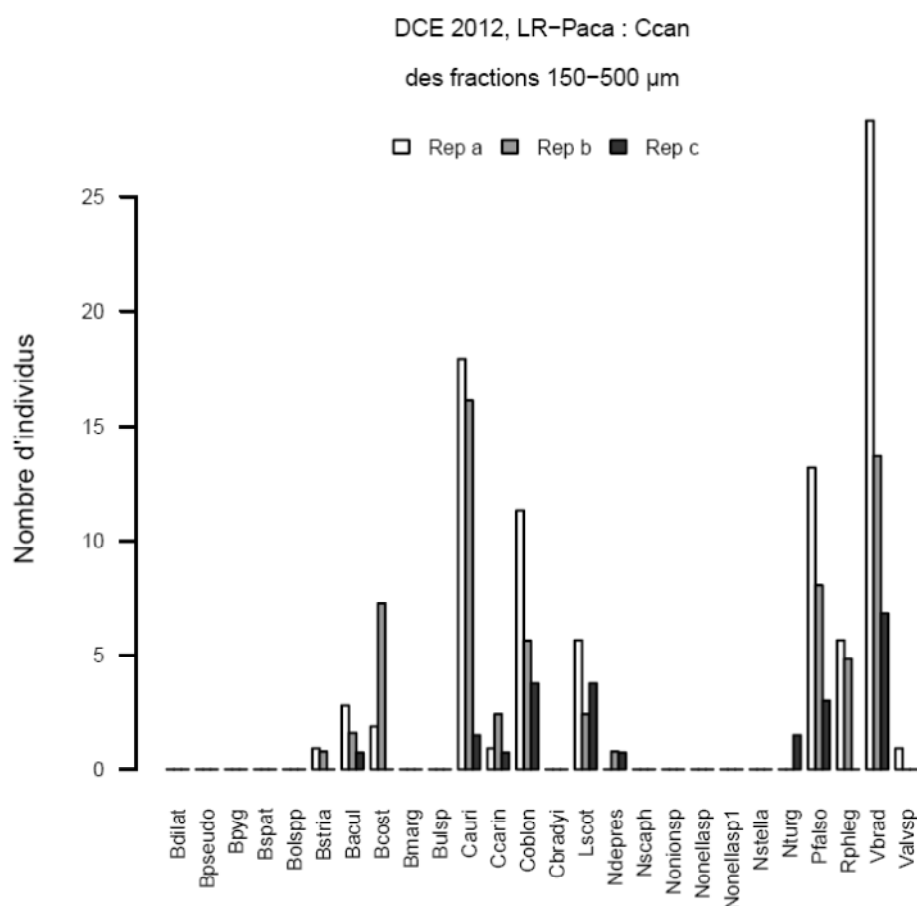


Figure 41 : Densités standardisées des espèces tolérantes pour les 3 réplicats de la station Cap Canaille (fraction 150-500µm).

Zone	Code Masse d'eau	Station	Réplicat	a	b		c		d
				FI2009 campagne 2009	FI2009 campagne 2012		FI2012 campagne 2012		Différence EQ2009 moins EQ2012
					Par réplikat	Moyenne par station	Par réplikat	Moyenne par station	
LR-Paca	FRDC02c	AgdE	a		8.3		15.3		
LR-Paca	FRDC02c	AgdE	b	1.9	6.3	8.1		15.3	-1
LR-Paca	FRDC02c	AgdE	c		9.8				
LR-Paca	FRDC02c	AgdW		1.2	-	-	-	-	-
LR-Paca	FRDC09b	AntibN	a		1.3		2.6		
LR-Paca	FRDC09b	AntibN	b	-0.2	0.4	2.1		2.6	0
LR-Paca	FRDC09b	AntibN	c		4.6				
LR-Paca	FRDC09a	AntibS	a		-6.0				
LR-Paca	FRDC09a	AntibS	b	-1.8	-12.2	-9.6	3.1	3.1	0
LR-Paca	FRDC09a	AntibS	c		-10.6				
LR-Paca	FRDT21	Bduc	a		7.7		11.7		
LR-Paca	FRDT21	Bduc	b	2.9	-1.5	3.0		11.7	-1
LR-Paca	FRDT21	Bduc	c		2.8				
LR-Paca	FRDC05	Carry	a		17.3		16.2		
LR-Paca	FRDC05	Carry	b	33.7	67.1	39.4		16.2	0
LR-Paca	FRDC05	Carry	c		33.9				
LR-Paca	FRDC04	Cart	a		12.1		16.0		
LR-Paca	FRDC04	Cart	b	25.9	53.8	36.6	60.4	42.3	-1
LR-Paca	FRDC04	Cart	c		44.1		50.7		
LR-Paca	FRDC07b	Ccan	a		24.0		24.2		
LR-Paca	FRDC07b	Ccan	b	-0.4	23.1	20.1	22.0	20.0	-2
LR-Paca	FRDC07b	Ccan	c		13.3		13.7		
LR-Paca	FRDC01	Cerb		1.6	-	-	-	-	-
LR-Paca	FRDC01	Colli	a		1.0				
LR-Paca	FRDC01	Colli	b	2.4	12.4	6.1	11.9	11.9	-1
LR-Paca	FRDC01	Colli	c		4.9				
LR-Paca	FRDC07e	Embi	a		8.9				
LR-Paca	FRDC07e	Embi	b	3.4	-0.1	3.6		0.7	0
LR-Paca	FRDC07e	Embi	c		2.2		0.7		
LR-Paca	FRDT21	Fara	a		-0.7				
LR-Paca	FRDT21	Fara	b	-0.4	7.9	3.2	14.4	14.4	-1
LR-Paca	FRDT21	Fara	c		2.4				
LR-Paca	FRDC04	Fos	a		0.3		1.0		
LR-Paca	FRDC04	Fos	b	16.9	15.7	7.8	15.6	7.6	1
LR-Paca	FRDC04	Fos	c		7.4		6.1		

Tableau 9 : Récapitulatif des classes écologiques (couleurs) et des valeurs d'indices FI obtenus à partir a) des données des foraminifères (fraction 150-500µm) de la campagne DCE 2009 et les conditions de références définies en 2009, b) des données des foraminifères (fraction 150-500µm) de la campagne DCE 2012 et les conditions de références définies en 2009 (pour chaque réplikat et moyenne par station), et c) des données des foraminifères (fraction 125-500µm) de la campagne DCE 2012 et les nouvelles conditions de références définies en 2012 (pour chaque réplikat disponible et moyenne par station). La colonne d) représente la différence entre les EQ (issu de FI₂₀₀₉) de la campagne 2009 (colonne a) et les EQ (issu de FI₂₀₁₂) de la campagne 2012 (colonne c, moyennes).

Zone	Code Masse d'eau	Station	Réplicat	a	b		c		d
				FI2009 campagne 2009	FI2009 campagne 2012		FI2012 campagne 2012		Différence EQ2009 moins EQ2012
					Par réplikat	Moyenne par station	Par réplikat	Moyenne par station	
LR-Paca	FRDC08d	Frej	a	1.9	7.4	4.4	7.1	6.1	-1
LR-Paca	FRDC08d	Frej	b		6.7		6.3		
LR-Paca	FRDC08d	Frej	c		-0.9		4.8		
LR-Paca	FRDC02f	Grau	a	-1.1	-14.6	-10.0		6.0	-1
LR-Paca	FRDC02f	Grau	b		-4.5		6.0		
LR-Paca	FRDC02f	Grau	c		-11.0				
LR-Paca	FRDC02a	Gruis	a	8.2	-1.2	0.1		0.6	1
LR-Paca	FRDC02a	Gruis	b		1.3		0.6		
LR-Paca	FRDC02a	Gruis	c		0.2				
LR-Paca	FRDC07h	Lav	a	0.8	-0.2	0.7	0.0	1.2	0
LR-Paca	FRDC07h	Lav	b		-0.2		1.4		
LR-Paca	FRDC07h	Lav	c		2.3		2.3		
LR-Paca	FRDC02a	Leuc	a	45.7	10.4	20.8	15.2	25.0	1
LR-Paca	FRDC02a	Leuc	b		18.0		17.5		
LR-Paca	FRDC02a	Leuc	c		34.1		42.3		
LR-Paca	FRDC07h	Levan		4.7	-	-	-	-	-
LR-Paca	FRDC07a	Maire	a	10.8	1.5	4.0		7.3	0
LR-Paca	FRDC07a	Maire	b		7.1				
LR-Paca	FRDC07a	Maire	c		3.4		7.3		
LR-Paca	FRDC10c	Ment	a	20.6	4.4	7.4	3.9	9.0	1
LR-Paca	FRDC10c	Ment	b		8.1		8.4		
LR-Paca	FRDC10c	Ment	c		9.8		14.8		
LR-Paca	FRDC06b	Mjet		37.0	-	-	-	-	-
LR-Paca	FRDC09d	Monac		14.9	-	-	-	-	-
LR-Paca	FRDC06b	Mrade		-	-	-	-	-	-
LR-Paca	FRDC09b	Nice	b	-0.7	13.3	13.3	15.7	15.7	-1
LR-Paca	FRDC08a	Pamp	a	7.9	-0.3	6.2	0.5	6.8	0
LR-Paca	FRDC08a	Pamp	b		1.6		1.3		
LR-Paca	FRDC08a	Pamp	c		17.3		18.5		
LR-Paca	FRDC07a	Plane	a	8.6	11.0	6.8		4.2	0
LR-Paca	FRDC07a	Plane	b		5.7				
LR-Paca	FRDC07a	Plane	c		3.7		4.2		
LR-Paca	FRDC07h	Porq	a	-0.6	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	0
LR-Paca	FRDC02e	Sete	a	4.7	10.0	10.2	13.6	13.0	0
LR-Paca	FRDC02e	Sete	b		11.5		13.0		
LR-Paca	FRDC02e	Sete	c		9.1		12.3		
LR-Paca	FRDC07g	Toul	a	18.9	11.4	18.5		18.8	0
LR-Paca	FRDC07g	Toul	b		25.9				
LR-Paca	FRDC07g	Toul	c		18.1		18.8		
LR-Paca	FRDC09d	Vfran	a	6.2	7.1	4.2	7.8	10.0	0
LR-Paca	FRDC09d	Vfran	b		-0.1		4.0		
LR-Paca	FRDC09d	Vfran	c		5.5		18.1		

Tableau 9 (suite)

Zone	Code Masse d'eau	Station	Réplicat	a	b		c		d
				FI2009 campagne 2009	FI2009 campagne 2012		FI2012 campagne 2012		Différence EQ2009 moins EQ2012
					Par réplikat	Moyenne par station	Par réplikat	Moyenne par station	
Corse	FREC04b	Ajac	a	-4.5	14.1	9.5	11.1	7.3	-1
Corse	FREC04b	Ajac	c		4.8		3.5		
Corse	FREC04b	AjacN	a		10.8		21.3		
Corse	FREC04b	AjacN	b	-	21.6	15.3	29.7	25.5	-
Corse	FREC04b	AjacN	c		13.5		25.4		
Corse	FREC02d	Aleri	a	-0.5	-0.3	-0.3	3.3	2.0	0
Corse	FREC02d	Aleri	b		-0.3		0.7		
Corse	FREC02c	Bast	a		-2.5		-3.2		
Corse	FREC02c	Bast	b	0.1	-3.1	-2.3	-2.8	-2.7	0
Corse	FREC02c	Bast	c		-1.4		-2.1		
Corse	FREC03f	Bonif	a		-2.6		0.5		
Corse	FREC03f	Bonif	b	-5.1	-1.2	-1.8	-0.5	-0.9	0
Corse	FREC03f	Bonif	c		-1.6		-2.8		
Corse	FREC01ab	Calvi	a		10.4		18.0		
Corse	FREC01ab	Calvi	b	0.5	-0.5	4.2	2.2	7.9	-1
Corse	FREC01ab	Calvi	c		2.6		3.5		
Corse	FREC01d	Cana	b	-4.1	2.6	2.6	5.2	5.2	-1
Corse	FREC04ac	Carg		9.0	-	-	-	-	
Corse	FREC03eg	Fbruz	a		9.1		8.3		
Corse	FREC03eg	Fbruz	b	0.3	2.5	4.4	3.7	4.5	-1
Corse	FREC03eg	Fbruz	c		1.5		1.3		
Corse	FREC03b	Pvecc		-5.4	-	-	-	-	-
Corse	FREC01c	Sflor	a		13.9		21.3		
Corse	FREC01c	Sflor	b	-	8.5	9.4	8.6	13.6	-
Corse	FREC01c	Sflor	c		5.7		10.9		
Corse	FREC03ad	Sgiul	a		4.8		4.6		
Corse	FREC03ad	Sgiul	b	4.2	5.1	4.9	8.1	5.5	0
Corse	FREC03ad	Sgiul	c		4.8		3.9		
Corse	FREC03c	Smanz		5.2	-	-	-	-	-

Tableau 9 (suite)

En considérant les résultats présentés en Tableau 9, il est important de noter que dans la grande majorité des cas, les changements d'EQ en 2012 sont obtenus par les deux méthodes (FI_{2009} et FI_{2012} appliqué aux données 2012) et ne sont donc pas un artéfact dû au changement de la méthode (en incluant la fraction 125-150 μm).

De manière générale, les différences mises en évidence grâce aux statuts écologiques devraient être validés lors d'une prochaine mission. En effet, à partir de deux missions d'échantillonnage, il est difficile de définir si ces changements correspondent à un changement réel des faunes aux stations (amélioration ou détérioration des conditions) ou bien à une légère différence de la position d'échantillonnage qui peut amener à avoir des résultats quelque peu différents pour l'indice ou encore à une variabilité interannuelle de la composition faunistique.

PARTIE C :

ETUDE DE L'EVOLUTION HISTORIQUE DES FAUNES DE FORAMINIFERES

Introduction

Le but de cette partie de l'étude est d'étudier l'évolution historique des conditions environnementales telle qu'elle est enregistrée par les foraminifères morts dans des carottes sédimentaires, et de comparer cette évolution avec les données des faunes vivantes des campagnes de 2009 et 2012.

Pour cette campagne d'échantillonnage de 2012, des carottes sédimentaires supplémentaires ont été prélevées (en parallèle des carottes pour l'étude des foraminifères morts) afin de pouvoir dater les intervalles étudiés.

Les assemblages des foraminifères morts observés dans les carottes sédimentaires ont été comparés aux faunes vivantes aux mêmes stations prélevées en 2012 et, le cas échéant, aux faunes vivantes de 2009. Cet exercice a deux objectifs principaux :

1) d'étudier l'évolution historique des faunes sur les sites étudiés. Cette information peut nous renseigner sur d'éventuelles déviations des conditions naturelles, et si de telles déviations existent, dus à un impact anthropique, à déterminer le timing de ces phénomènes.

2) de se faire une idée plus ou moins précise des conditions de référence des différents sites étudiés. Même si des processus taphonomiques modifient de façon substantielle la composition des faunes mortes (en comparaison des faunes vivantes), la comparaison de l'évolution historique dans la carotte, jusqu'à un passé récent, avec la composition des faunes actuelle, nous permettra de se faire une bonne idée de la composition des faunes qui ont peuplé les sites dans une période pré-impact.

Matériels et méthodes

Afin d'étudier l'évolution historique des faunes, 5 stations ont été échantillonnées (Antibes Sud, Carreau, Villefranche, Ajaccio Nord et Canari). L'analyse de la faune morte a été réalisée pour 3 d'entre elles uniquement : une située en Corse (Ajaccio Nord), et deux en région PACA (Antibes Sud et Carreau) (Tableau 10). Malheureusement, pour la station Villefranche, les données de ^{210}Pb se sont avérées inexploitable, et la succession sédimentaire n'a pas pu être datée. Pour la station Canari, la présence de fibres d'amiante a engendré des problèmes liés à la santé et sécurité au travail. En effet, une carrière d'amiante, fermée en 1965 mais laissée à ciel ouvert depuis, se trouve à 1,5 km du point d'échantillonnage. Le lessivage induit par les intempéries injecte régulièrement, et en grandes quantités, de l'amiante dans le milieu marin. Pour l'étude de la faune morte, les échantillons doivent être séchés afin de pouvoir splitter le sédiment. Ensuite, les foraminifères sont triés à sec. Or l'amiante est particulièrement dangereuse lorsqu'elle est sous forme sèche puisque les fibres peuvent alors être inhalées et peuvent se fixer sur les poumons. Ainsi toutes les variétés d'amiante sont classées comme substances cancérigènes pour l'homme par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Il n'a donc pas été possible d'étudier la faune morte à cette station.

	Profondeur (m)	Latitude	Longitude
Ajaccio Nord	65	41°55'028"	8°46'93576"
Antibes Sud	30,5	43°33'631"	7°8'437824"
Carteau	10	43°23'187"	4°53'6907576"

Tableau 10 : Récapitulatif des stations échantillonnées lors de la campagne DCE 2012 pour l'étude de l'évolution historique des faunes.

Le sédiment a été échantillonné à l'aide d'un carottier-boîte Reineck ; ensuite un sous-carottage à l'aide de tubes en plexiglas de 7,10 cm de diamètre a été effectué. À chaque station, deux carottes ont été prélevées ; une carotte pour la datation du sédiment sur la base des isotopes du Pb et une deuxième carotte pour l'analyse des faunes de foraminifères.

Datation des sédiments

Pour l'étude des carottes sédimentaires de la campagne DCE 2012, l'âge des carottes sédimentaires dans lesquelles les foraminifères morts ont été prélevés a été déterminé par Dr. Sabine Schmidt du laboratoire EPOC de Bordeaux 1 (UMR CNRS 5805, Environnements et Paléo-environnements Océaniques et Continentaux).

Radioéléments

La détermination des activités des radioéléments concernés (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs) repose sur la mesure non-destructive par spectrométrie γ , directe ou après tamisage, de 6 à 10 g de sédiment sec. Le détecteur utilisé est un spectromètre gamma à bas bruit de fond de type coaxial (Schmidt et al., 2007). Un comptage dure de 7 à 24 heures par échantillon. La calibration du détecteur est effectuée au moyen de sédiments certifiés de l'IAEA (RGU, RGTh, IAEA-314). ^{210}Pb et ^{137}Cs sont directement déterminés à partir de leur émissions γ à 46.5 et 661.7 keV ; ^{226}Ra par la combinaison de trois raies sélectionnées de descendants radioactifs (^{214}Pb : 295.2 et 351.9 keV ; ^{214}Bi : 609.3 keV) ; ^{228}Th (ultérieurement noté Th) par son descendant, ^{212}Pb , à 238.6 keV. La mesure du ^{226}Ra via ses descendants radioactifs implique un délai d'au moins 3 semaines entre le conditionnement des sédiments et l'analyse (pour assurer l'équilibre radioactif entre ^{226}Ra , ^{214}Pb et ^{214}Bi). Les activités sont exprimées en mBq g^{-1} ; le Plomb-210 en excès est calculé comme la différence des activités mesurées de ^{210}Pb et de ^{226}Ra .

Détermination de la vitesse de sédimentation ($^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$)

La détermination de la vitesse de sédimentation et la datation des sédiments au moyen du ^{210}Pb repose sur la décroissance de l'activité du $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$ dans la colonne sédimentaire avec le temps selon la loi de désintégration radioactive (Equation 6) (Appleby et Oldfield, 1992 ; Schmidt et al., 2010) :

$$A^t = A^0 e^{-\lambda t} \quad (\text{Equation 6})$$

Où A^t et A^0 = activités du $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$ (mBq g^{-1}) aux temps 0 et t

t = l'âge de la couche sédimentaire

λ = la constante de décroissance radioactive (0.031 an^{-1})

À partir de cette relation, le modèle CF : CS (Constant Flux and Constant Sedimentation ; Robbins et al., 1977) permet de déterminer la vitesse ou le taux d'accumulation et l'âge des sédiments, sans

remaniement sédimentaires, dans lequel le terme temps de l'équation 6 est directement fonction de la vitesse de sédimentation selon :

$$A^t = A^0 e^{-\lambda(z/s)} \quad (\text{Equation 7})$$

Où z = la profondeur dans le sédiment (cm),

S = vitesse de sédimentation (cm an^{-1})

Le profil d'activité de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ en fonction de la profondeur suit une exponentielle ($a e^{-bz}$) dont la pente (b) permet de calculer la vitesse de sédimentation selon $S = \lambda/b$ sous la couche de mélange.

Étude de la faune morte

Les carottes échantillonnées pour l'étude de la faune morte ont été découpées en quatre tranches d'un demi-centimètre (de la surface à 2 cm de profondeur) puis en tranches de 1 cm jusqu'à 6 cm de profondeur. Pour le sédiment plus profond (à partir de 6 cm), les tranches étaient de 2 cm. Les intervalles étudiés pour chacune des 3 stations sont indiqués dans le Tableau 11. Ils ont été choisis au vu des datations obtenues. L'intervalle le plus profond indiqué dans le tableau correspond à la profondeur maximale de la carotte.

Carteau	3 – 4 cm
	8 - 10 cm
	16 – 18 cm
Antibes Sud	3 – 4 cm
	6 – 8 cm
	12 - 14 cm
Ajaccio Nord	2 – 3 cm
	5 – 6 cm
	8 - 10 cm
	12 - 14 cm

Tableau 11 : Découpage des carottes pour l'étude de la faune morte pour chaque station.

Comme pour l'étude de la faune vivante, chaque échantillon a été tamisé pour séparer 4 fractions granulométriques (63-125 μm , 125-150 μm , 150-500 μm et > 500 μm). Seule la fraction 150-500 μm a été utilisée pour l'étude des foraminifères morts. Les données obtenues pour la faune morte pourront être comparées aux données des faunes vivantes du 1^{er} centimètre (fraction 150-500 μm) des campagnes DCE 2009 et DCE 2012. Pour cette comparaison avec les faunes mortes, tous les calculs sont basés sur les faunes vivantes sans les espèces non fossilisables. Pour les données de la faune vivante de 2012, les indices de diversité correspondent à la moyenne de l'indice de diversité calculés pour chacun des 3 réplicats. Les pourcentages d'espèces majeures et indicatrices ont été déterminés à partir de la moyenne des densités relatives obtenues pour chaque réplicat.

Pour l'étude de la faune morte, seuls les foraminifères non colorés au Rose Bengale ont été considérés. Les échantillons ont été séchés à l'étude à 50°C puis divisés à l'aide d'un « splitter » de manière à obtenir de 250 à 300 foraminifères, quantité statistiquement suffisante pour en déduire ensuite la densité relative des espèces dominantes et avoir une bonne représentation de la diversité

faunistique de la station (Murray, 2006). Parmi les 250-300 foraminifères, seuls les foraminifères dont le test résiste au processus taphonomiques (i.e. les processus qui interviennent après la mort d'un organisme jusqu'à sa fossilisation) ont été pris en compte. **Les espèces dites « non fossilisables »** (Tableau 12), **en majorité des espèces à test agglutiné avec ciment organique, qui se détruisent après la mort de l'organisme, ont été exclues de la base de données, autant pour la faune morte que pour la faune vivante, pour que les données soient comparables entre elles.** Pour cette raison, les indices et pourcentages d'espèces indicatrices calculés pour la faune vivante dans cette Partie C du rapport sont différents de ceux calculés dans le reste du rapport (Parties A et B) où la faune fossilisable n'a pas été retirée de la base de données.

<i>Ammodiscus planus</i>
<i>Ammodiscus</i> sp.
<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>
<i>Ammoscalaria</i> sp. 1
<i>Ammoscalaria tenuimargo</i>
<i>Clavulina cylindrica</i>
<i>Cribrostomoides jeffreysii</i>
<i>Cribrostomoides subglobosus</i>
<i>Glomospira</i> sp. 1
<i>Haplophragmoides canariensis</i>
<i>Lagenammina atlantica</i>
<i>Lagenammina difflugiformis</i>
<i>Lagenammina</i> sp. a
<i>Lagenammina</i> sp. b
<i>Leptohalysis scotti</i>
<i>Nouria cf. polymorphinoides</i>
<i>Nouria polymorphinoides</i>
<i>Nouria</i> sp.
<i>Psammoshaera</i> sp.
<i>Psammosphaera fusca</i>
<i>Recurvoides</i> sp. 1
<i>Reophax dentaliformis</i>
<i>Reophax fusiformis</i> f. a
<i>Reophax fusiformis</i> f. b
<i>Reophax fusiformis</i> f. c
<i>Reophax fusiformis</i> f. calcareus
<i>Reophax micaceus</i>
<i>Reophax scorpiurus</i>
<i>Reophax subfusiformis</i>
<i>Siphotextularia concava</i>
<i>Tritaxis</i> sp.
<i>Trochammina inflata</i>
<i>Trochammina</i> sp.
<i>Trochammina</i> sp. 1

Tableau 12 : Liste des espèces agglutinées non fossilisables

Les données ont été ensuite traitées de la même manière que pour la faune vivante. Ainsi pour chacune des stations la densité, la richesse spécifique, les indices de diversité de Shannon-Wiener H et d'Équitabilité J ont été calculés.

Afin de comparer la répartition entre les 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). Il est intéressant d'étudier si la proportion de foraminifères porcelanés, espèces sensibles, a augmenté avec le temps ou plutôt diminué.

En outre, après avoir identifié les espèces majeures (>5% de la faune totale dans au moins un intervalle de la station considérée, fraction 150–500µm), une analyse de la variation de leur abondance, ou de leur présence, a été menée afin de mettre en évidence d'éventuels changements d'assemblages faunistiques au cours du temps. L'indice P de similarité (Renkonen, 1938) a été calculé pour avoir une indication objective sur la similarité entre les différents intervalles d'une même station. Cet indice est encore de nos jours considéré comme le plus adéquat pour comparer les assemblages de deux échantillons car il considère la totalité des espèces identifiées (Krebs, 1989).

Nous nous sommes également intéressés à l'évolution dans le temps, pour une station donnée, des pourcentages des espèces indicatrices :

- 1) les espèces tolérantes à une eutrophisation du milieu et/ou à des conditions d'hypoxie ou d'anoxie,
- 2) les espèces épiphytes vivant fixées sur des végétaux qui peuvent indiquer la présence d'herbiers à proximité de la station, généralement un signe d'un bon état écologique,
- 3) les espèces sensibles à l'eutrophisation, préférant les milieux plus sableux, bien oxygénés et non eutrophisés.

Résultats et interprétations

Préambule

Dans les descriptions présentées plus loin, nous montrons pour chaque station les faunes mortes pour les niveaux sédimentaires étudiées, ainsi que les faunes vivantes, pour 2009 (si disponible) et 2012. **Il est important de réaliser que les données des faunes mortes et faunes vivantes ne peuvent pas être comparées directement.** Les graphiques présentés dans cette partie ainsi que les indices de Renkonen illustrent parfaitement cette affirmation. **Les différences observées entre faune vivante et faune morte peuvent avoir plusieurs origines autres que celle d'un changement des conditions environnementales à la station : 1) des processus taphonomiques et 2) des facteurs biologiques** (Jorissen et Wittling, 1999 ; Duros et al. , 2012).

Les processus taphonomiques correspondent à une destruction par abrasion, désintégration, dissolution, etc. des tests de foraminifères les plus fragiles. Les premiers concernés sont les foraminifères agglutinés à ciment organique puisque ce ciment va se dégrader avec le temps après la mort de l'organisme. Pour cette raison, dans ce chapitre ils ont été systématiquement retirés de la base de données. Mais il est également possible que certaines espèces fragiles à coquille mince soient perdues préférentiellement par rapport à des espèces à coquille très épaisse, beaucoup plus

résistantes. Ces paramètres créent ainsi un biais dans la comparaison entre faune vivante et faune morte.

D'autre part, après la mort de l'organisme, les coquilles de foraminifères se comportent comme des grains inertes. Celles-ci peuvent donc être transportées ailleurs, ou, alternativement être transportées à partir d'un autre site et se déposer à la station étudiée, pouvant ainsi changer de manière plus ou moins importante les assemblages de faune morte.

Les différences observées entre faune vivante et faune morte peuvent également provenir du fait que la faune vivante représente un instant t, c'est-à-dire un assemblage ponctuel vivant sur/dans le sédiment au moment du carottage. Au contraire, la faune morte présente dans le sédiment donne une image moyennée des faunes qui ont vécu dans le passé. Une variabilité saisonnière pourrait donc être observée dans la faune vivante (événement de reproduction, forte mortalité d'une espèce, etc...) et effacée dans la faune morte. La préservation des faunes mortes dans le sédiment va aussi dépendre du taux de sédimentation à la station et des effets liés à la bioturbation (i.e. le mélange du sédiment superficiel par la macrofaune, les terriers, les organismes fousseurs...).

Pour cette raison, ce n'est pas possible de considérer les données des faunes mortes (de 1948 à 2009) et des faunes vivantes (de 2009 et 2012) présentées ci-dessous comme une seule série temporelle continue. Faunes mortes et faunes vivantes doivent être considérées séparément.

Cependant, l'étude des faunes mortes peut nous fournir des renseignements très utiles. D'abord, la succession des faunes mortes peut nous renseigner sur l'évolution des sites. Ensuite, si des faunes vivantes et mortes peuvent être comparées pour une même date (par exemple les faunes vivantes de la campagne 2009 avec les faunes mortes de l'intervalle représentant l'année 2009), il devient possible de quantifier ces biais taphonomiques et biologiques et de reconstituer la composition des faunes vivantes du passé. Pour pleinement exploiter cette dernière possibilité, plus de recul est néanmoins nécessaire. Une succession temporelle d'au moins trois échantillonnages des faunes vivantes (et faunes mortes correspondantes) semble nécessaire avant de pouvoir dire comment la composition de la faune vivante est reflétée par la faune morte. À ce moment-là il deviendra possible de reconstituer la composition des faunes vivantes de la période pré-impactée, sur la base des faunes mortes trouver dans des carottes sédimentaires.

Datations

La datation effectuée au ^{210}Pb par Dr. Sabine Schmidt a permis d'estimer un taux de sédimentation annuel pour chaque station. Grâce à ce taux de sédimentation, nous pouvons estimer l'âge des intervalles de sédiment échantillonnés pour les foraminifères. Nous avons alors sélectionnés 3 à 4 intervalles par station pour l'analyse des faunes mortes de foraminifères (Tableau 13).

Le taux de sédimentation est variable entre les 3 stations étudiées : Carteau présente un taux de sédimentation (normalisé au Thorium) de 1,0 cm/an, Antibes Sud de 0,4 cm/an et Ajaccio Nord de 0,2 cm/an. Le Tableau 13 récapitule la datation des intervalles sélectionnés pour chaque station.

Station	Taux de sédimentation	Intervalle sélectionné pour l'analyse des faunes mortes	Age de l'intervalle
Carteau	1,0 cm/an	3 – 4 cm	2009
		8 - 10 cm	2003
		16 – 18 cm	1996
Antibes Sud	0,4 cm/an	3 – 4 cm	2004
		6 – 8 cm	1995
		12 - 14 cm	1981
Ajaccio Nord	0,2 cm/an	2 – 3 cm	2000
		5 – 6 cm	1985
		8 - 10 cm	1967
		12 - 14 cm	1948

Tableau 13: Taux de sédimentation, intervalles sélectionnés et datations pour les trois stations étudiées.

Évolution des faunes à la station Ajaccio Nord

Indices de diversité

Au sein des 4 échantillons de faune morte étudiés, nous pouvons noter une très légère augmentation de la diversité des foraminifères selon les indices de diversité calculés. Le nombre d'espèces varie entre 37 à la base de la carotte (1948) à 45 en 1967, avec des valeurs intermédiaires en 1985 et 2000 (Tableau 14). Les indices de Shannon et d'équitabilité montrent une légère augmentation de 1948 (2.7 et 0.76, respectivement) à 2000 (3.0 et 0.80, respectivement).

Les résultats obtenus pour la faune vivante montre un nombre d'espèces plus faible avec 20 espèces identifiées. L'indice de Shannon est légèrement inférieur dans la faune vivante (2,4) que dans les échantillons de faune morte tandis que l'indice d'équitabilité est légèrement supérieur (0,82).

Ces différents indices révèlent une biodiversité relativement élevée dans la station autant dans l'actuel que dans le passé.

		Faune vivante	Faune morte			
		2012	2000	1985	1967	1948
Ajaccio Nord	Nombre de taxa	20	41	43	45	37
	Shannon-Wiener H	2.4	3.0	2.9	2.9	2.7
	Equitabilité J	0.82	0.80	0.77	0.77	0.76
	% espèces épiphytes	16.1	9.3	7.4	14.6	16.9
	% espèces tolérantes	61.0	58.9	65.9	66.1	66.9
	% espèces sensibles	23.3	23.6	20.5	21.3	21.9

Tableau 14 : Valeurs des indices de diversité et du pourcentage des espèces indicatrices (épiphytes, tolérantes et sensibles) pour la station Ajaccio Nord calculées pour l'échantillonnage de 2012 (faune morte et faune vivante).

Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires

À cette station, les espèces hyalines dominent largement les faunes calcaires que ce soit dans la faune vivante ou morte (Figure 42). Nous rappelons ici que les espèces agglutinées ne sont pas considérées, seules les espèces à test calcaire (hyaline, porcelanée) sont analysées.

Les faunes calcaires vivantes (2012) contiennent 91% d'espèces hyalines.

Concernant la faune morte, les espèces hyalines sont largement dominantes avec des valeurs de 80% au moins dans tous les intervalles de la carotte (Figure 42). Les valeurs maximales sont enregistrées à la base de la carotte en 1948 (93 %). Entre 1948 et 2000 (faune morte), le pourcentage des espèces porcelanées augmente de manière régulière, de 3,7 à 15,5%.

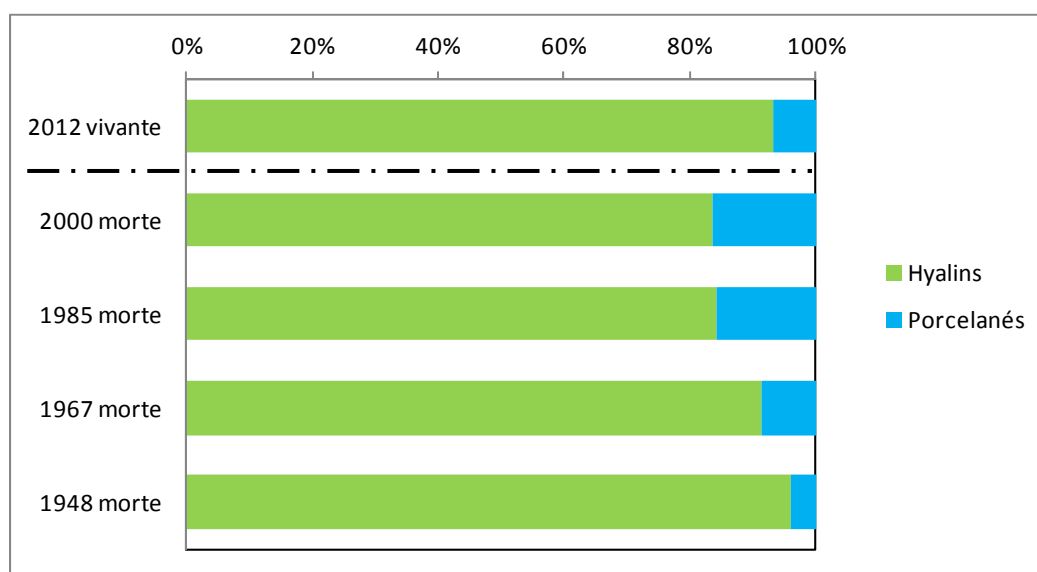


Figure 42 : Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires (porcelanées + hyalines) à la station Ajaccio Nord.

Espèces majeures

Pour la station Ajaccio Nord, les espèces majeures (>5% dans au moins un des échantillons de la carotte) sont représentées exclusivement par des espèces hyalines (Tableau 15).

L'espèce *Ammonia beccarii f. beccarii* est présente dans la faune morte et dans la faune vivante. Le pourcentage d'*Ammonia beccarii f. beccarii* augmente progressivement de 0,8 en 1948, base de la carotte, à 3,9% en 2000 (faune morte). Dans la faune vivante, elle est présente à 7,1%. Le genre *Bulimina* est présent dans la carotte, autant dans la faune morte que vivante, avec des pourcentages qui varient entre 3 et 7%.

Plusieurs espèces présentent des pourcentages faibles dans les quatre intervalles d'étude de la faune morte et des valeurs plus élevées dans la faune vivante. Par exemple, *Cancris auriculus* est présent à la base de la carotte jusqu'en 1985 avec des pourcentages variant entre 1,6 et 3,9%. Par contre, le pourcentage de cette espèce est de 25% dans la faune vivante. Ceci est aussi le cas de *Rectuvigerina phlegeri* et *Reussella spinulosa*.

Au contraire, les genres *Bolivina* et *Cassidulina* (*C. carinata* et *C. oblonga*) sont ensemble représentés avec des valeurs supérieures à 35% dans les faunes mortes de tous les intervalles analysés de la carotte, avec un maximum en 1948 de 45% (23,6% pour *Bolivina* spp., 14,0% pour *C. carinata* et 7,9% pour *C. oblonga*), mais ils sont quasiment absents dans la faune vivante en 2012. De même, *Valvulineria bradyana* représente 12,4 à 16,3% de la faune morte et ce pourcentage est seulement de 6% dans la faune vivante.

Espèces majeures Ajaccio Nord	2012 faune vivante	2000 faune morte	1985 faune morte	1967 faune morte	1948 faune morte
<i>Ammonia beccarii</i> f. <i>beccarii</i>	7.0	3.9	3.5	2.0	0.8
<i>Bolivina</i> sp.		19.0	19.4	11.0	23.6
<i>Bolivina spathulata</i>	5.1				
<i>Bulimina aculeata</i> f. <i>aculeata</i>	7.4				
<i>Bulimina marginata</i>		3.1	5.4	3.5	2.9
<i>Cancris auriculus</i>	24.8		3.9	1.6	2.1
<i>Cassidulina carinata</i>	0.8	11.6	15.9	24.4	14.0
<i>Cassidulina oblonga</i>		5.0	7.0	5.9	7.9
<i>Rectuvigerina phlegeri</i>	9.5	1.2	0.8	0.8	1.2
<i>Reussella spinulosa</i>	6.0	1.6	0.8	1.2	2.5
<i>Rosalina bradyi</i>	5.4			2.8	6.2
<i>Rosalina globularis</i>			0.4		
<i>Valvulineria bradyana</i>	5.9	16.3	12.4	14.2	13.6

Tableau 15 : Espèces majeures (> 5%) de la station Ajaccio Nord.

L'indice de Renkonen montre une similarité des assemblages supérieure à 67% entre les intervalles de la faune morte (Tableau 16). Par contre, la similarité des intervalles de la faune morte avec la faune vivante est beaucoup plus faible, ne dépassant pas 27%.

Ajaccio nord	2012 viv	2000	1985	1967	1948
2012 viv		20.70	22.19	22.48	27.13
2000	x		75.97	67.31	66.94
1985	x	x		67.94	69.16
1967	x	x	x		66.72
1948	x	x	x	x	

Tableau 16 : Indice de Renkonen pour la station Ajaccio Nord.

Espèces épiphytes, tolérantes et sensibles

Pour tous les intervalles étudiés de la carotte d'Ajaccio Nord, le pourcentage des espèces tolérantes (Figure 43) est très élevé. Ces espèces constituent plus de la moitié de la faune aux différents pas d'échantillonnage (entre 58.9 et 66.9%). Dans ce graphique (et dans le Tableau 14), les espèces non fossilisables ne sont pas considérées, que ce soit pour la faune vivante ou pour la faune morte, ce qui explique pourquoi le pourcentage d'espèces tolérantes est ici de 61% (Figure 43) alors qu'il était de 24% lorsque toutes les espèces étaient considérées (cf. Partie 1 du rapport). Cette différence importante provient du fait que la faune vivante de 2012 à cette station est constituée pour plus de 60% d'espèces agglutinées. Au sein des 4 intervalles étudiés pour la faune morte, le pourcentage d'espèces tolérantes semble diminuer légèrement, passant de 67% en 1948 à 59% en 2000.

Les espèces épiphytes et sensibles présentent des pourcentages relativement faibles dans tous les intervalles en comparaison à ce qui peut être observé dans les autres stations de Corse (12,9% et 22,1%, respectivement en moyenne). Au sein des intervalles de la faune morte, le pourcentage d'espèces sensibles reste relativement stable. On peut remarquer que le pourcentage des espèces épiphytes diminue légèrement entre 1948 et 1985.

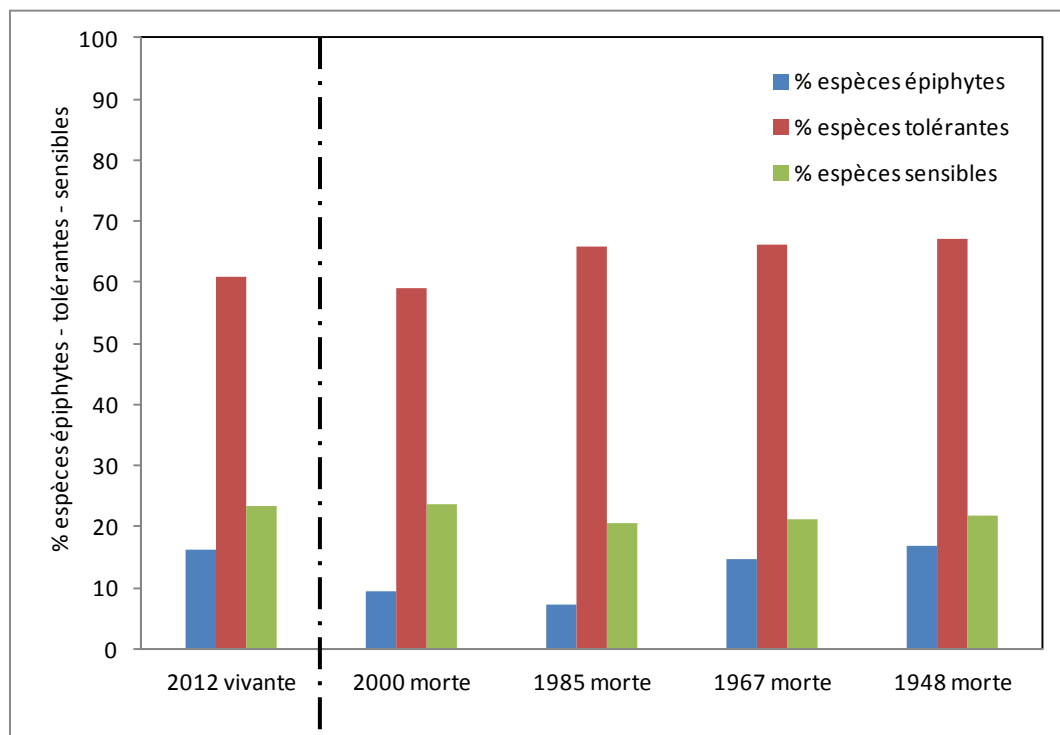


Figure 43 : Pourcentage d'espèces épiphytes, tolérantes et sensibles de la faune morte (de 1948 à 2000) et de la faune vivante de 2012 à la station d'Ajaccio Nord.

En résumé, à la station Ajaccio Nord, la présence des espèces tolérantes depuis 1948 jusqu'en 2012 est constante et dominante. Le fait que cette observation soit faite autant dans la faune vivante que dans la faune morte semble suggérer que cet assemblage représenterait des conditions naturelles du milieu et non uniquement un impact anthropique. En effet, la station Ajaccio Nord est située au fond du golfe homonyme où les caractéristiques géographiques et sédimentologiques sont particulières. Ce site est sous l'influence des courants locaux qui ont une orientation Sud-Nord (Figure 44). Cette localisation très confinée est bien confirmée par la proportion élevée de silts et d'argiles à cette station (plus de 76% de particules $<63\mu\text{m}$). Il faut cependant noter que la proximité du port, de la ville et de l'aéroport peuvent être la source de polluants organiques et/ou chimiques qui se retrouveraient piégés au Nord du golfe. Étant donné la granulométrie très fine du site, les éventuels polluants et enrichissement en matière organique (données non disponible) pourraient être piégés dans les sédiments fins et favoriser la prolifération d'espèces tolérantes.

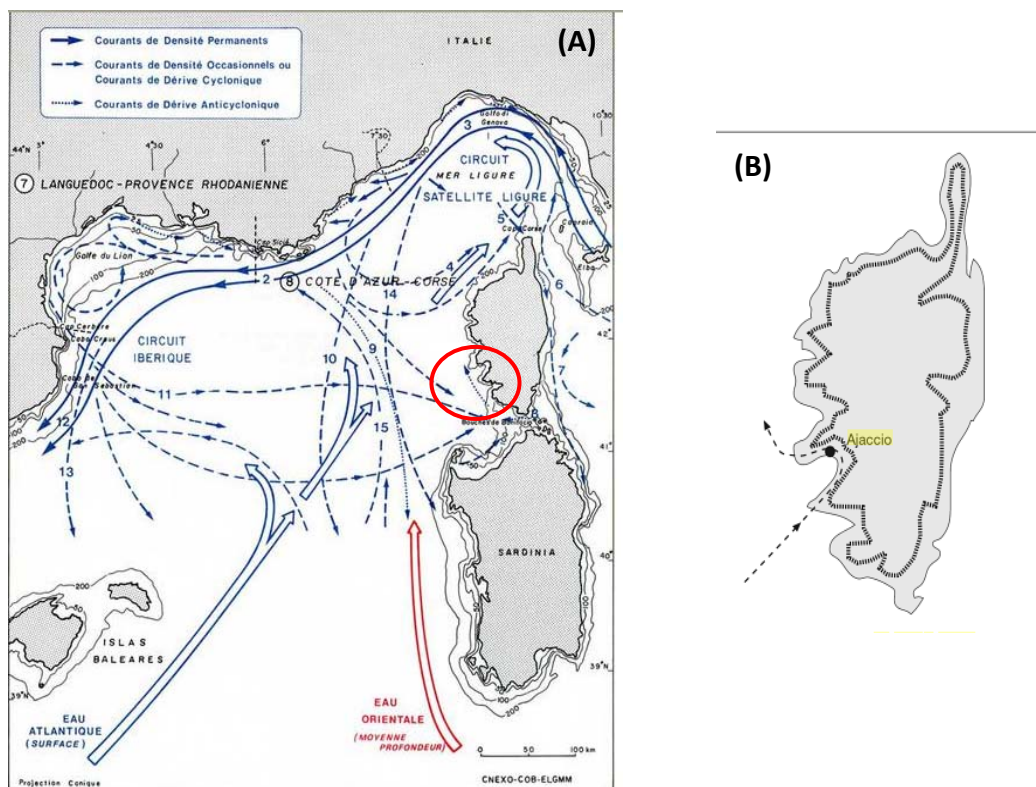


Figure 44 : (A) courantologie et (B) direction du vent dans le golfe d'Ajaccio d'après <http://envlit.ifremer.fr/region/corse/milieu/courantologie> et Bellofiore et al. (2005).

Évolution des faunes à la station Antibes Sud

Indices de diversité

Pour la station d'Antibes Sud, le nombre d'espèces est élevé (>44 espèces) (Tableau 17). Cette station présente une forte biodiversité, quel que soit l'intervalle considéré, d'après les valeurs obtenues pour les indices de Shannon (>3,3) et d'équitabilité (>0,86).

		Faune vivante		Faune morte		
		2012	2009	2004	1995	1981
Antibes Sud	Nombre de taxa	44	49	59	54	56
	Shannon-Wiener H	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5
	Equitabilité J	0.88	0.86	0.86	0.87	0.88
	% espèces épiphytes	18.2	39.4	24.5	26.2	19.9
	% espèces tolérantes	13.4	2.3	3.6	2.3	2.3
	% espèces sensibles	63.7	87.3	79.1	75.8	73.5

Tableau 17 : Valeurs des indices de diversité et du pourcentage des espèces indicatrices (épiphytes, tolérantes et sensibles) pour la station Antibes Sud calculées pour l'échantillonnage de 2012 (faune morte et faune vivante) et l'échantillonnage de 2009 (faune vivante, données issues du rapport de 2011).

Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires

Dans tous les intervalles de la carotte d'Antibes Sud, les espèces hyalines et porcelanées représentent une part égale de la densité des foraminifères calcaires (Figure 45). Il n'y a pas d'évolution particulière au cours du temps, que ce soit entre les intervalles de la faune morte ou entre les données de faune vivante de 2009 et 2012.

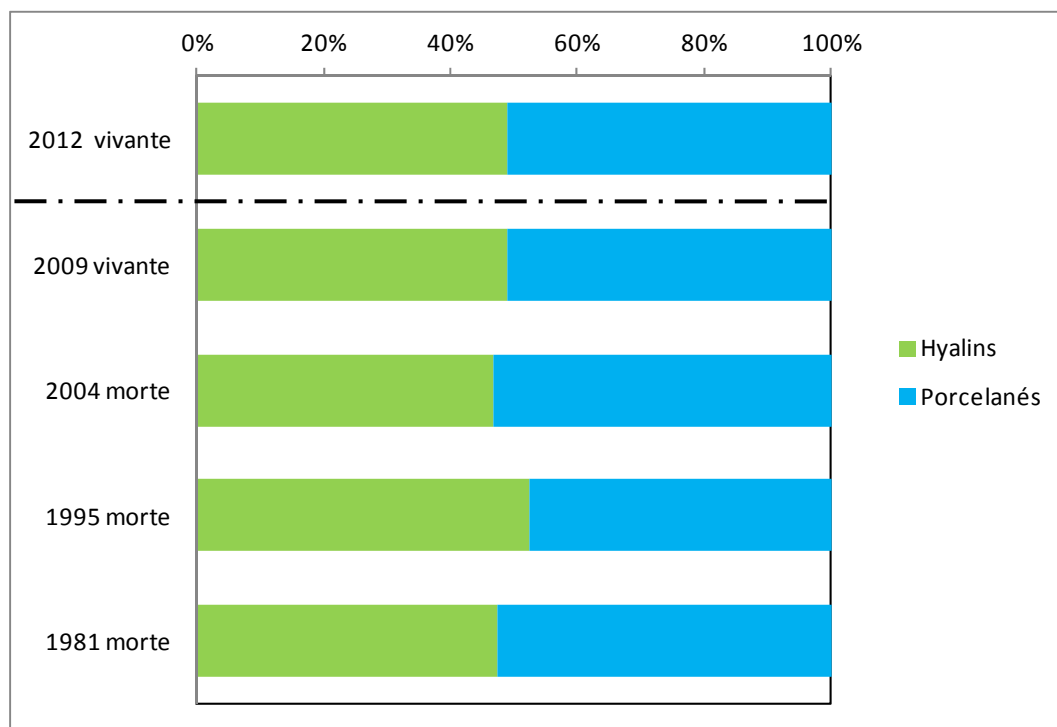


Figure 45 : Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires (porcelanées + hyalines) à la station Antibes Sud

Espèces majeures

Le nombre d'espèces majeures (>5% dans au moins un intervalle) est de 14 : 7 espèces hyalines et 7 espèces porcelanées (Tableau 18).

Ammonia beccarii f. *beccarii* est plus abondante dans les niveaux les plus anciens (~7%, 1981 et 1995) et diminue en 2004 (4%). Dans les faunes vivantes de 2012, sa proportion est proche de celle observée pour la faune morte à la base de la carotte sédimentaire (4.8%), tandis qu'en 2009, cette espèce est relativement peu représentée (2,9%). Le genre *Rosalina* est présent dans tous les intervalles avec des valeurs comprises entre 8% à la base de la carotte en 1981, et ~15% en 1995.

Les espèces *Rectuvigerina phlegeri* et *Spirillina* sp. sont quasiment absentes dans les faunes mortes de la carotte, mais représentent respectivement 5,2% dans la faune vivante de 2012 et 10,3% dans les faunes vivantes de 2009.

Les espèces porcelanées sont fortement représentées, avec les espèces d'*Adelosina* qui sont présentes dans les faunes mortes de tous les intervalles avec des pourcentages supérieurs à 10%. Elles sont également présentes dans les mêmes proportions dans la faune vivante de 2012 et dans

une moindre mesure en 2009 (4%). L'espèce porcelanée *Triloculina trigonula* est présente en plus forte proportion dans la faune morte que dans la faune vivante de 2012 ou 2009. Au contraire, *Quinqueloculina seminula*, qui présente un faible pourcentage dans la faune morte (~3,3%), constitue 8 et 5% de la faune vivante en 2012 et 2009 respectivement.

Espèces majeures Antibes Sud	2012 faune vivante	2009 faune vivante	2004 faune morte	1995 faune morte	1981 faune morte
<i>Ammonia beccarii</i> f. <i>beccarii</i>	4.8	2.9	4.0	7.3	7.0
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	0.9	6.5	1.4	2.6	3.3
<i>Rectuvigerina phlegeri</i>	5.2		1.1		0.3
<i>Rosalina bradyi</i>	9.1	3.3	2.9	5.0	5.0
<i>Rosalina globularis</i>	0.2	10.1	5.4	1.3	0.7
<i>Rosalina vilardebouana</i>	0.2		4.3	8.6	2.6
<i>Spirillina</i> sp.	0.3	10.4	0.7	0.7	0.7
<i>Adelosina elegans</i>	0.1	1.6	10.1	8.6	6.3
<i>Adelosina ferussaci</i>	6.5	0.3	0.4		0.3
<i>Adelosina longirostra</i>	5.5	2.0		1.3	5.0
<i>Miliolinella subrotunda</i>	0.6	7.8	5.8	4.3	
<i>Quinqueloculina seminula</i>	8.1	4.6	3.2	3.3	3.6
<i>Sigmoilina grata</i>	5.1	4.6	0.7	3.0	2.3
<i>Triloculina trigonula</i>	4.7	4.2	13.3	9.3	11.9

Tableau 18 : Espèces majeures (> 5%) de la station Antibes Sud.

L'indice de similarité de Renkonen est supérieur à 65% entre les intervalles de la faune morte. Il est de 42,5% et 47,5% en moyenne entre les intervalles de la faune morte et la faune vivante de 2012 et de 2009 respectivement (Tableau 19).

Antibes Sud	2012 viv	2009 viv	2004	1995	1981
2012 viv		41.02	41.32	41.33	44.91
2009 viv	x		50.40	49.10	42.90
2004	x	x		72,0,2	65.1
1995	x	x	x		71.52
1981	x	x	x	x	

Tableau 19 : Indice de Renkonen pour la station Antibes Sud.

Espèces épiphytes, tolérantes et sensibles

En général, la faune de tous les intervalles de la carotte Antibes Sud est largement dominée par les espèces sensibles qui constituent en moyenne 76% de la faune totale (Figure 46). Les espèces épiphytes sont présentes en pourcentages variables entre 18,2 et 39,4 %, avec un maximum en 2009 pour la faune vivante. À l'opposé, les espèces tolérantes sont rares (<4%) dans la faune morte ainsi que dans la faune vivante échantillonnée en 2009. Par contre, elles montrent une proportion significativement plus importante dans la faune vivante de 2012 (13,5%), notamment dû à la forte augmentation de *Rectuvigerina phlegeri*, *Cancris auriculus* et *Bolivina* spp.

Les données historiques basées sur les faunes mortes semblent montrer des conditions relativement stables dans le temps entre 1981 et 2004. Par contre, les données de faunes vivantes de 2009 et 2012 suggèrent un début de dégradation de la zone. En effet, si l'on regarde la tendance observée pour ces trois groupes d'espèces indicatrices et pour les espèces majeures dans les échantillons de faune vivante, il semblerait que les faunes aient changées entre 2009 et 2012. Les groupes d'espèces épiphytes et sensibles déclinent (de 39 à 18% et de 87 à 64% respectivement) tandis que les espèces tolérantes prennent une place plus importante (elles passent de 1 à 13%). Dans les faunes mortes, jamais de valeurs aussi basses ont été observées. Les espèces tolérantes présentes dans les échantillons de faune vivante de 2012 sont *Rectuvigerina phlegeri* (> 5%, espèces non fossilisables non considérées) et dans une moindre mesure *Cancris auriculus*, *Pseudoeponides falsobeccarii*, *Bolivina dilatata* et *B. spathulata*. Ces observations pourraient être interprétées comme une légère dégradation des conditions du milieu. Cependant, cette tendance serait à confirmer dans l'avenir. Malgré cette légère augmentation des espèces tolérantes, la station Antibes Sud maintient un statut écologique très bon en 2012, comme c'était déjà le cas en 2009.

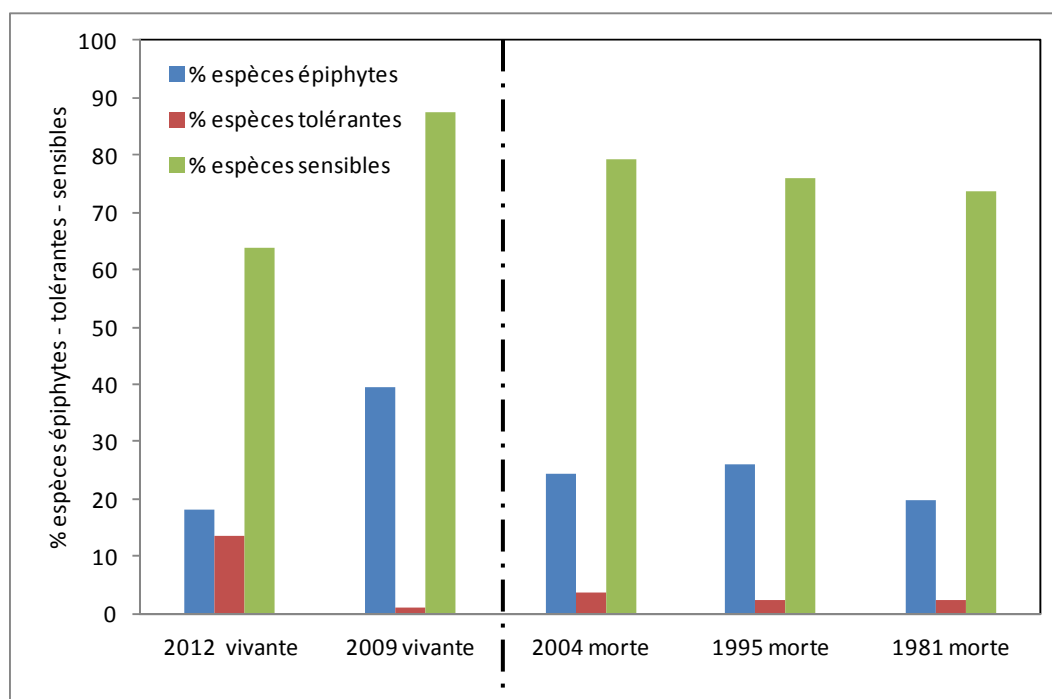


Figure 46 : Pourcentage d'espèces sensibles, tolérantes et épiphytes de la faune morte de 1981 à 2004 et de la faune vivante de 2012 à la station d'Antibes Sud.

En résumé, sur la base de l'ensemble de ces observations, on peut constater que les faunes d'Antibes Sud indiquent des conditions environnementales assez stables depuis 1981 jusqu'à 2000. Par contre, l'augmentation des espèces tolérantes entre 2009 et 2012 pourrait indiquer le début d'une dégradation du milieu. Pour autant, cette station reste classée en très bon état écologique en 2012 (cf. Partie B de ce rapport).

Évolution des faunes à la station Carteau

Indices de diversité

Le nombre d'espèces varie entre 31 et 34 dans la faune morte des différents intervalles étudiés pour la carotte de la station Carteau. Pour les échantillons de faune vivante de 2012 et 2009, le nombre d'espèces est respectivement de 24 et 21 (Tableau 20).

Les indices de Shannon et d'Équitabilité affichent respectivement des valeurs de 2,2-2,7 et de 0,73-0,77. Ces valeurs sont plus faibles que celles obtenues pour les 2 autres stations montrant une biodiversité moindre à Carteau, que ce soit pour la faune vivante ou pour la faune morte.

		Faune vivante		Faune morte		
		2012	2009	2009	2003	1996
Carteau	Nombre de taxa	24	21	34	31	32
	Shannon-Wiener H	2.4	2.2	2.7	2.7	2.6
	Équitabilité J	0.76	0.73	0.77	0.77	0.75
	% espèces épiphytes	4.4	2.0	0.8	0.0	1.5
	% espèces tolérantes	62.5	66.9	21.1	17.4	20.2
	% espèces sensibles	18.8	25.0	44.6	50.4	29.4

Tableau 20 : Valeurs des indices de diversité et du pourcentage des espèces indicatrices (épiphytes, tolérantes et sensibles) pour la station Carteau calculées pour l'échantillonnage de 2012 (faune morte et faune vivante) et l'échantillonnage de 2009 (faune vivante, données issues du rapport de 2011).

Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires

Les espèces hyalines sont prédominantes en 1996 dans la faune morte de la base de la carotte et en 2009 et 2012 dans les faunes vivantes de surface avec des pourcentages respectivement de 74, 77 et 86% (Figure 47). En 2003 et 2009 (faunes mortes), les espèces porcelanées et les espèces hyalines sont présentes en proportion égale, proche de 50%.

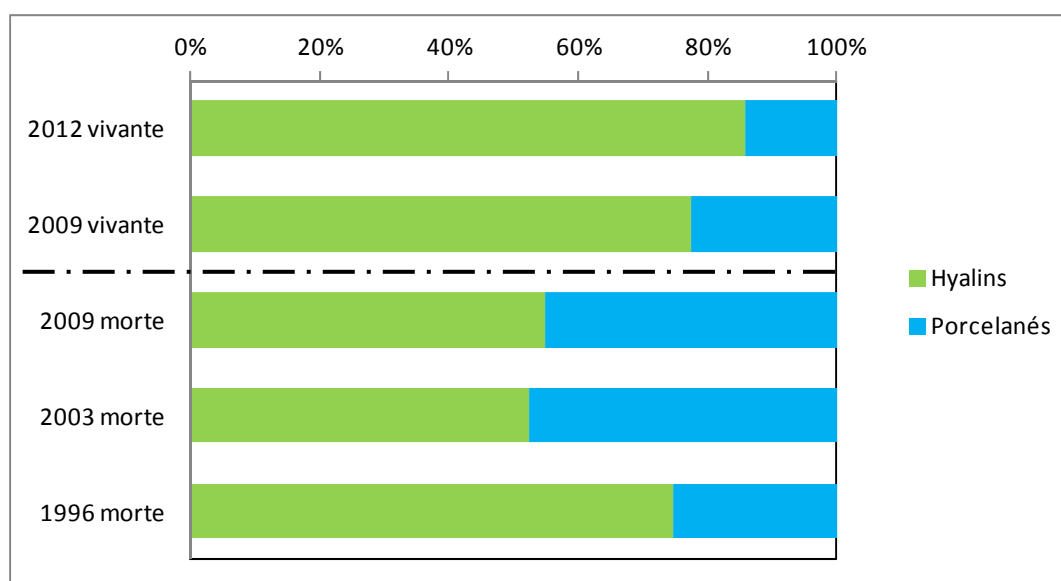


Figure 47 : Proportion des espèces porcelanées par rapport aux espèces calcaires (porcelanées + hyalines) à la station Carteau.

Espèces majeures

Ammonia beccarii f. *beccarii* présente un maximum en 1996 avec un pourcentage de 29%. De manière générale, la proportion de cette espèce est relativement plus importante dans les échantillons de faune morte que dans les échantillons de faune vivante (Tableau 21).

Les espèces *Elphidium advenum* et *E. crispum* sont présents principalement dans les faunes mortes de tous les intervalles de la carotte en pourcentage variable ne dépassant jamais ~6%. En particulier, *E. crispum* montre une nette tendance à la diminution avec le temps. Les espèces *Quinqueloculina seminula* et *Triloculina trigonula* représentent également une proportion plus élevée de la faune morte (5 à 22%) par rapport à la faune vivante.

Nonion scaphum, *Nonionella turgida*, *Rectuvigerina phlegeri* et *Valvulineria bradyana* sont présentes dans tous les intervalles ; cependant, elles présentent des pourcentages plus importants dans la faune vivante que dans la faune morte. C'est particulièrement le cas pour *N. scaphum* représentant 21,4 et 11,5% de la faune vivante en 2012 et 2009 alors qu'elle n'excède pas 3,4% dans les intervalles de la faune morte, et pour *R. phlegeri* représentant un pourcentage supérieur à 7% dans les intervalles de faune vivante et moins de 1% dans ceux de la faune morte.

Espèces majeures Carteau	2012 faune vivante	2009 faune vivante	2009 faune morte	2003 faune morte	1996 faune morte
<i>Ammonia beccarii</i> f. <i>beccarii</i>	10.8	11.5	15.3	14.4	29.0
<i>Elphidium advenum</i>	0.5	1.4	2.9	5.9	3.1
<i>Elphidium crispum</i>		0.7	0.8	2.1	6.1
<i>Nonion scaphum</i>	21.4	11.5	2.5	3.4	0.4
<i>Nonionella turgida</i>	8.9	2.0	4.1	3.0	4.2
<i>Rectuvigerina phlegeri</i>	15.1	7.4	0.8	0.4	0.4
<i>Valvulineria bradyana</i>	11.8	31.8	10.3	8.9	12.6
<i>Adelosina longirostra</i>	8.9	16.2	20.2	12.7	4.6
<i>Quinqueloculina seminula</i>	0.2	1.4	6.2	4.7	9.9
<i>Triloculina trigonula</i>	2.3	4.7	12.0	22.5	6.5

Tableau 21 : Espèces majeures (> 5%) de la station Carteau.

L'indice de Renkonen est très semblable à celui calculé pour la station Antibes Sud. Il est supérieur à 61% entre les intervalles de la faune morte. Il est de 43% en moyenne entre l'intervalle de la faune vivante de 2012 et les différents intervalles de la faune morte (Tableau 22). L'indice de similarité est de 59% entre les faunes vivantes de 2012 et 2009. Il est de 52% entre les faunes vivantes échantillonnées en 2009 et les faunes mortes dont la date estimée est de 2009 ce qui suggère que les effets taphonomiques auraient une importance non négligeable.

Carteau	2012 viv	2009 viv	2009	2003	1996
2012 viv		59.4	46.12	42.60	40.05
2009 viv	x		52.39	47.56	40.70
2009	x	x		75.37	64.08
2003	x	x	x		60.90
1996	x	x	x	x	

Tableau 22 : Indice de Renkonen pour la station Carteau.

Espèces épiphytes, tolérantes et sensibles

Pour cette station Carteau, les pourcentages des espèces indicatrices sont plus variables dans le temps que pour les 2 autres stations analysées (Figure 48). Seul le groupe des espèces épiphytes ne varie que très peu, ces espèces sont rares à cette station, quel que soit l'intervalle considéré.

Le pourcentage des espèces tolérantes est nettement supérieur dans la faune vivante de 2012 et 2009 (62,5 et 66,9%, respectivement) que dans la faune morte (moyenne de 20%). Il n'y a pas de tendance générale pour les pourcentages des espèces tolérantes dans la faune morte. Les espèces sensibles semblent montrer l'inverse avec des pourcentages plus importants dans la faune morte que pour la faune vivante.

La grande différence entre la faune vivante de 2009 et la faune morte de l'intervalle datée 2009 montre que la différence entre faunes vivantes et faunes mortes est due à des effets taphonomiques, et non une évolution de la qualité du milieu ou des paramètres environnementaux à cette station.

Néanmoins, en étudiant uniquement les faunes mortes, on se rend compte qu'il y a eu un changement progressif au cours du temps. Une baisse progressive des pourcentages d'*Ammonia beccarii* f. *beccarii*, *Elphidium crispum* et *Quinqueloculina seminula* est compensée par une augmentation des fréquences relatives d'*Adelosina longirostra* et *Triloculina trigonula*. Cette succession suggère une évolution vers un sédiment plus sableux, éventuellement accompagnée par une légère augmentation de la salinité.

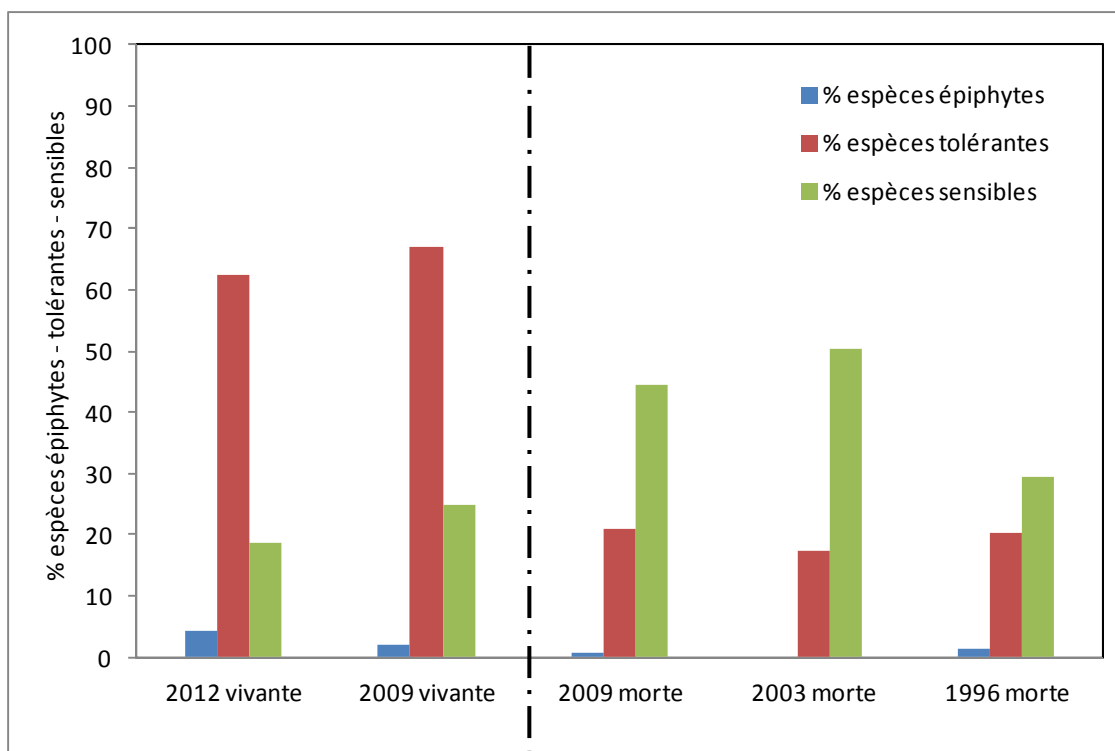


Figure 48 : Pourcentage d'espèces sensibles, tolérantes et épiphytes de la faune morte de 1996 à 2009 et de la faune vivante de 2012 à la station de Carteau.

En résumé, à Carteau, les faunes vivantes sont fortement dominées par les espèces tolérantes, ce qui explique son statut écologique « médiocre ». La comparaison des données entre 2009 et 2012 suggère que la situation s'est encore dégradée récemment. Par contre, les faunes mortes ne montrent pas de dégradation notable entre 1996 et 2009.

D'après sa localisation géographique, les conditions environnementales à cette station sont probablement perturbées par l'activité anthropique du secteur. En effet depuis 1972, date de l'installation du terminal méthanier de Fos Tonkin (<http://www.elengy.com/en/about-elengy/facilities/fos-tonkin.html>), le trafic de ce secteur a augmenté de façon considérable. Il est fort probable qu'en 1996, la base de notre carotte, les conditions étaient déjà fortement dégradées. Il serait donc intéressant d'échantillonner une carotte suffisamment longue pour pouvoir étudier la succession des faunes mortes à cette station avant 1996, notamment pour vérifier que l'implantation de ce terminal méthanier a en effet provoqué une forte augmentation de la proportion d'espèces tolérantes qu'on connaît au moins depuis 1996.

Finalement, un nouveau terminal méthanier a été construit en 2010 dans le même secteur, à Fos Caveau. La concomitance de ces deux terminaux, engendrant une augmentation du trafic naval, ainsi que les travaux pour la construction de ce nouveau terminal pourrait expliquer l'augmentation des espèces tolérantes et la diminution des espèces sensibles dans les faunes vivantes de 2012 et 2009.

Conclusion

Nous avons analysé les faunes mortes de carottes sédimentaires prélevées aux stations Ajaccio nord, Antibes Sud et Carteau afin d'étudier l'évolution historique des conditions environnementales à ces stations.

D'une part, les grandes différences entre faunes vivantes et faunes mortes, même pour des échantillons censés représenter la même année (Carteau, 2009) confirment qu'il n'est pas possible de comparer directement les données de faune morte aux données de faune vivante aux mêmes stations. En effet, il est évident que les différences majeures observées dans les différents paramètres faunistiques (entre faunes mortes et vivantes) ne sont pas uniquement dues aux changements récents des conditions environnementales. Ces différences sont certainement en grande partie la conséquence de plusieurs processus écologiques et post-mortem : 1) des processus taphonomiques, comme par exemple la destruction préférentielle des tests de certaines espèces autres que celles déjà classées en tant que « non fossilisables » ou des phénomènes de transport de coquilles de foraminifères à partir du ou vers le site étudié, qui résultera respectivement en une sous-représentation ou une sur-représentation des espèces transportées dans les faunes mortes ; ou 2) un biais de la comparaison entre faune vivante représentant un instant t et la faune morte représentant une image moyennée de plusieurs mois voir années. Afin de mieux apprécier l'importance de ces biais, il est nécessaire de comparer des séries temporelles de faunes vivantes avec celles des faunes mortes représentant les mêmes dates. Après chaque mission DCE trisannuelle, cette comparaison devient plus pertinente. Cette analyse permettra une meilleure compréhension des processus taphonomiques pour ainsi mieux interpréter les successions trouvées dans les carottes sédimentaires ainsi que de reconstituer les faunes des périodes non-impactées de façon fiable.

D'autre part, nous avons pu étudier l'évolution historique des faunes mortes et donc des conditions environnementales à ces 3 stations. Les mesures de ^{210}Pb et ^{137}Cs réalisées sur les carottes nous ont permis de dater nos intervalles de sédiment. Les taux de sédimentation sont différents en fonction des stations. La longueur des sous-carottes collectées dans la boîte du Reineck (maximum 18cm) ne nous permet pas de retourner à des conditions très antérieures. En particulier, pour la station Carteau, l'intervalle le plus profond représente des conditions de 1996 seulement. Dans le futur, il serait intéressant de réaliser des prélèvements à l'aide d'un carottier-boîte de grande taille permettant de faire des carottes de 1m de longueur.

L'intervalle le plus profond étudié pour la carotte d'Ajaccio Nord nous permet de revenir à la composition faunistique représentative des conditions autour de 1948. A cette station, le pourcentage d'espèces tolérantes dans la faune morte est relativement élevé dans tous les intervalles, comme c'est également le cas dans la faune vivante. Le fait qu'on trouve cette forte proportion d'espèces tolérantes depuis 1948, suggère fortement que l'eutrophisation est au moins partiellement le résultat d'un confinement du fond du Golfe d'Ajaccio, et non uniquement un impact anthropique des activités du port, de la ville et de l'aéroport situés à proximité.

Pour la station Antibes Sud, les différents paramètres faunistiques étudiés suggèrent des conditions environnementales stables à cette station. Cependant, l'étude des faunes vivantes de 2009 et 2012

semblent suggérer une légère dégradation des conditions du milieu. Cette tendance sera à confirmer en 2015.

L'étude de la station Carteau ne montre pas de dégradation notable des conditions entre 1996 et 2009 (faune morte). Cependant, cet intervalle de temps est relativement court et nous ne remontons pas à des conditions proches des conditions pré-anthropiques d'autant plus que le terminal méthanier de Fos Tonkin a été mis en place dès 1972 dans cette zone. La comparaison entre les données de faunes vivantes de 2009 et les données de faunes mortes de l'intervalle daté à 2009 montre clairement qu'il existe un biais entre faune vivante et faune morte dont il faut tenir compte.

PARTIE D :

ETUDE DES FORAMINIFERES BENTHIQUES DE LA CAMPAGNE

DCE 2012 :

RESUME, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Résumé

Les faunes de foraminifères benthiques ont été étudiées pour 35 stations échantillonnées sur la façade méditerranéenne française et autour de la Corse, lors de la campagne DCE 2012. Par rapport à l'étude des faunes de foraminifères de la campagne DCE 2009 (Barras & Jorissen, 2011), cette étude inclut trois nouveaux aspects :

1) Pour l'ensemble des stations, nous avons étudié les faunes de foraminifères vivants de la fraction 125-150 μ m en plus de la fraction 150-500 μ m. Cette fraction contient à la fois des individus juvéniles d'espèces de grande taille ; elle contient aussi les individus adultes de certaines espèces de petite taille, absentes de la fraction 150-500 μ m, et connues pour leur tolérance aux phénomènes d'eutrophisation. Malheureusement, l'étude de cette fraction est très chronophage. La question était donc si, en intégrant cette fraction, on obtiendrait une meilleure représentativité des espèces opportunistes, et ainsi, une meilleure description de l'état des habitats marins.

2) Pour 32 stations de la zone d'étude, la fraction 150-500 μ m a été étudiée dans 3 réplicats (seulement 2 réplicats pour 2 stations). Ceux-ci issus de différents tirs de carottier boîte Reineck, afin de prendre en compte la variabilité spatiale sur une échelle décamétrique. Ce travail a été également fait pour la fraction 125-500 μ m pour 19 stations. La variabilité spatiale est parfois importante au niveau de la granulométrie du sédiment. Il était important de voir l'impact de la variabilité du sédiment sur la composition des faunes, et comment cela influe le statut écologique attribué à la station.

3) Finalement, nous avons étudié la succession des faunes mortes dans des carottes sédimentaires datées à trois sites, afin d'étudier l'évolution des sites dans un passé récent, et d'investiguer si cette méthode peut apporter des informations valables sur les conditions de base.

Étude des foraminifères vivants et indice biotique

Comme attendu, l'ajout de la fraction 125-150 μ m a résulté en une augmentation substantielle du pourcentage des espèces tolérantes à l'eutrophisation. Cette augmentation n'est pas proportionnelle ; elle est différente entre les stations. Il apparaît donc que l'ajout de cette fraction est essentiel pour des futures études. Ces espèces étant très réactives, l'étude de cette fraction permettrait probablement de détecter plus rapidement une dégradation des conditions d'une station. Au niveau de l'interprétation des données et du calcul de l'indice foraminifère, l'ajout de cette fraction a nécessité la définition de nouvelles conditions de référence, représentant les conditions naturelles. Celles-ci ont été définies suivant la même méthode que pour l'étude de la campagne DCE 2009, en sélectionnant des échantillons présentant le plus faible pourcentage d'espèces tolérantes dans la fraction 125-500 μ m pour différents types de granulométrie.

Ainsi, dans ce rapport, deux méthodes sont appliquées aux données de la campagne DCE 2012 : la méthode FI_{2012} , basée sur les faunes de la fraction 125-500 μ m avec les nouvelles conditions de référence et la méthode FI_{2009} , basée sur les faunes de la fraction 150-500 μ m et les conditions de référence définies en 2009. Il s'avère que les résultats des méthodes FI_{2009} et FI_{2012} sont assez comparable. En effet, sur les 35 stations étudiées, seulement 6 présentent un statut écologique différent (changement d'une classe) entre la méthode FI_{2012} et FI_{2009} .

La comparaison des faunes des 3 réplicats d'une station montre une variabilité spatiale parfois importante. Si l'on s'intéresse aux 30 stations où les statuts écologiques (EQ) ont été déterminés à partir des données de faune de la fraction 150-500 μ m pour 3 réplicats, plusieurs cas de figure se présentent. Pour 11 stations, les 3 réplicats ont le même EQ ; pour 16 stations, un des réplicats se situait dans une classe d'EQ plus haut ou plus bas que les deux autres ; enfin pour 3 stations (Carry, Carteau, Pampelone), un réplicat montre une différence de 2 classes avec les autres réplicats. Cette différence importante souligne le grand intérêt de l'étude d'au moins trois réplicats par station. Pour obtenir la classe finale EQ pour chaque station, les FI des trois réplicats ont été moyennés, et une classe EQ a été attribuée sur la base de cette moyenne.

D'après ces résultats, nous avons par la suite choisi les données FI_{2012} moyennées et les valeurs de statut écologique correspondant, basés sur les faunes 125-500 μ m, pour définir les conditions écologiques de nos stations en 2012. Nous les avons ensuite comparées aux FI_{2009} déterminés lors de la campagne DCE 2009, pour étudier l'évolution de la qualité du milieu en 3 ans (Tableau 23).

En tout, 35 stations ont été étudiées pour la campagne DCE 2012. Parmi ces 35 stations, 10 ont été classées en très bon état, 20 en bon état, 4 en état moyen (Carry, Cap Canaille, Leucate, Toulon Grande Rade et Ajaccio Nord) et une seule, Carteau, en état médiocre.

Zone	Code Masse d'eau	Station	EQ campagne 2009	EQ campagne 2012
LR-Paca	FRDC01	Cerbère	1	-
LR-Paca	FRDC01	Collioure	1	2
LR-Paca	FRDC02a	Leucate	4	3
LR-Paca	FRDC02a	Gruissan	2	1
LR-Paca	FRDC02c	Agde Ouest	1	-
LR-Paca	FRDC02c	Agde Est	1	2
LR-Paca	FRDC02e	Sète	2	2
LR-Paca	FRDC02f	Grau du Roi	1	2
LR-Paca	FRDT21	Beauduc	1	2
LR-Paca	FRDT21	Faraman	1	2
LR-Paca	FRDC04	Carteau	3	4
LR-Paca	FRDC04	Fos	3	2
LR-Paca	FRDC05	Carry	3	3
LR-Paca	FRDC06b	Marseille Jetée	4	-
LR-Paca	FRDC06b	Marseille Grande Rade	-	-
LR-Paca	FRDC07a	Ile Plane	2	2
LR-Paca	FRDC07a	Ile Maire	2	2
LR-Paca	FRDC07b	Cap Canaille	1	3
LR-Paca	FRDC07e	Ile Embiez	1	1
LR-Paca	FRDC07g	Toulon Grande Rade	3	3
LR-Paca	FRDC07h	Porquerolles	1	1
LR-Paca	FRDC07h	Lavandou	1	1
LR-Paca	FRDC07h	Ile Levant	2	-
LR-Paca	FRDC08a	Pampelone	2	2
LR-Paca	FRDC08d	Fréjus (St Raphael)	1	2
LR-Paca	FRDC09a	Antibes Sud	1	1
LR-Paca	FRDC09b	Antibes Nord	1	1
LR-Paca	FRDC09b	Nice ville	1	2
LR-Paca	FRDC09d	Villefranche	2	2
LR-Paca	FRDC09d	Monaco	2	-
LR-Paca	FRDC10c	Menton	3	2
Corse	FREC01ab	Calvi (Revellata)	1	2
Corse	FREC01c	St Florent	-	2
Corse	FREC01d	Canari	1	2
Corse	FREC02c	Bastia Sud 2	1	1
Corse	FREC02d	Aléria (Tavignano)	1	1
Corse	FREC03ad	Santa Giulia	2	2
Corse	FREC03b	Porto Vecchio	1	-
Corse	FREC03c	Santa Manza	2	-
Corse	FREC03f	Bonifacio	1	1
Corse	FREC03eg	Figari Bruzzi	1	2
Corse	FREC04b	Ajaccio Sud	1	2
Corse	FREC04b	Ajaccio Nord	-	3
Corse	FREC04ac	Cargèse	2	-

Tableau 23 : Récapitulatif des statuts écologiques attribués aux stations LR-PACA et Corse en 2009 (FI2009, fraction 150-500µm, conditions de référence de 2009) et en 2012 (FI2012, fraction 125-500µm, conditions de référence de 2012).

Si l'on compare les résultats de la campagne DCE 2012 avec ceux de la DCE 2009, pour les 33 stations pour lesquelles nous pouvons comparer les deux campagnes, 16 n'ont pas changé de statut écologique, 16 ont changé d'une catégorie, et une seule station de 2 catégories (Tableau 23). Parmi les 16 stations qui ont changé d'une seule classe d'EQ, 11 sont passées de très bon à bon état, une de bon à très bon état, 2 de moyen à bon état, une d'état médiocre à moyen (Leucate) et une d'état moyen à médiocre (Carteau). Il semble que les changements de « très bon » à « bon », basés sur des changements faunistiques mineurs, sont largement dus à la nouvelle méthode, qui prend mieux en compte les espèces tolérantes de petite taille.

La station Cap Canaille est la seule à voir son EQ changer de deux catégories, de « très bon » à « moyen ». Il s'avère que le site échantillonné en 2012 n'a pas été le même que celui de 2009, ce qui explique sans doute cet écart important.

Étude des foraminifères morts, évolution historique

Afin de mieux connaître les conditions de référence ainsi que l'évolution historique, pour 3 stations nous avons étudié les faunes mortes à plusieurs niveaux d'une carotte sédimentaire, datée au ^{210}Pb . Pour les sites Ajaccio Nord, Antibes Sud et Carteau, le taux d'accumulation du sédiment est de 0,2, 0,4 et 1,0 cm par an, respectivement. Par conséquent, nous avons pu remonter jusqu'aux années 1948, 1981 et 1996 pour ces trois sites, respectivement.

Il s'est avéré qu'aux 3 sites, il y a des différences importantes entre faunes vivantes et faunes mortes. Ceci est dû aux processus taphonomiques (abrasion, transport, dissolution, etc.) ainsi que biologiques (dynamique de populations). Même en corrigeant pour la perte quasi-totale des foraminifères à test agglutiné dans les faunes mortes, des différences majeures persistent, et il est très difficile de comparer les faunes morte et vivante directement. Pour obtenir une idée de l'évolution historique de ces sites, il faut donc se baser sur la succession temporelle des faunes mortes. Pour la période depuis 2009, on peut également se baser sur la comparaison des données 2009 et 2012 pour la faune vivante.

Pour le site Ajaccio nord, on a observé un pourcentage élevé d'espèces tolérantes depuis 1948, ce qui concorde bien avec le statut écologique « moyen » attribué en 2012 sur la base des faunes vivantes. Puisque ces conditions étaient déjà présentes en 1948, il semble donc que ce statut est surtout dû aux conditions naturelles et non à une eutrophisation d'origine anthropique. Cette comparaison met clairement en avant l'apport de l'étude des faunes mortes. Sans cette étude nous serions certainement tentées d'expliquer le fort pourcentage d'espèces tolérantes comme la réponse à une pollution récente.

Les faunes mortes du site Antibes Sud sont caractérisées par une très faible contribution d'espèces tolérantes, qui concorde bien avec le statut écologique « très bon », obtenu en 2009 et 2012. Cela suggère que ce site est caractérisé par de bonnes conditions naturelles. Néanmoins, l'augmentation d'espèces tolérantes dans la faune vivante de 2012, qui a fait monter le FI très près de la limite avec la classe « bon état » pourrait indiquer un début de dégradation de ce site.

Au site de Carteau, les faunes mortes, qui représentent la période 1996 à 2009, sont caractérisées par une contribution substantielle des espèces tolérantes, indicatrices d'un milieu eutrophisé. La comparaison des faunes vivantes de 2009 et des faunes mortes de l'intervalle daté à 2009 met en évidence l'impact des processus taphonomiques dans la conservation du signal dans la faune morte. Néanmoins, le pourcentage de ces espèces indicatrices nettement plus élevé dans les faunes vivantes de 2009 et 2012, pourrait aussi être partiellement dû à une dégradation majeure très récente de ce site. Une carotte plus longue serait nécessaire pour pouvoir retourner aux faunes des années 1950, afin de savoir à quel point le fort pourcentage d'espèces tolérantes est la réponse aux activités anthropiques.

Recommandations

Suite aux données obtenues pour la campagne DCE 2012, pour de futures études, nous pensons qu'il est fort préférable de :

- étudier systématiquement 3 réplicats par site, afin de prendre en compte la variabilité spatiale, parfois importante,
- faire une analyse granulométrique pour chaque réplicat, afin de pouvoir interpréter la faune vivante en prenant en compte la nature du sédiment, ainsi que sa variabilité spatiale qui peut être très importante à certaines stations
- inclure l'étude la fraction 125-150µm en plus de la fraction 150-500µm, ce qui permet de mieux quantifier la contribution des espèces tolérantes aux faunes, et ainsi, de définir plus précisément le statut écologique des sites.
- progressivement faire une étude des faunes mortes de chaque site, afin d'obtenir une meilleure impression des conditions de référence et de l'évolution depuis les années 1950 environ, en collectant des carottes plus longues.

Perspectives

Pour poursuivre cette étude, nous souhaitons participer à la prochaine campagne d'échantillonnage en 2015 afin de pouvoir confirmer ou infirmer l'évolution des statuts écologiques obtenus à l'aide de l'indice foraminifères à certaines stations. Nous recommandons alors d'étudier la faune vivante du premier centimètre de sédiment de 3 réplicats par station et de réaliser l'analyse de la fraction 125-500µm.

Nous souhaiterions aussi profiter de la mise en place de zone atelier en Baie de Calvi et sur le site de Cap Sicié afin de tester notre indice par rapport à d'autres indices de qualité environnementale (biologiques et chimiques). Nous avons déjà commencé à travailler avec la STARESO en Baie de Calvi en appui du projet STARECAPMED.

D'autre part, nous souhaitons également appliquer l'indice AMBI développé pour les foraminifères au sein du groupe Méditerranée de FOBIMO (article en préparation). Les bases de données acquises lors des campagnes de 2009 et 2012 seront tout à fait adaptées pour tester cet indice et le comparer à l'indice FI utilisé dans ce rapport.

Liste de référence

- Alavi, S.N., 1988. Late Holocene deep-sea benthic foraminifera from the Sea of Marmara. *Marine Micropaleontology*, 13(3): 213-237.
- Alve, E., 2003. A common opportunistic foraminiferal species as an indicator of rapidly changing conditions in a range of environments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(3): 501-514.
- Appleby, P.G. and Olfield, F., 1992. Application of lead-210 to sedimentation studies. In: R.S. Ivanovich and R.S. Harmon (Editors), *Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences*. Clarendon Press, Oxford, pp. 731-778.
- Barmawidjaja, D.M., Jorissen, F.J., Puskarić, S. and van der Zwaan, G.J., 1992. Microhabitat selection by benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, 22(4): 297-317.
- Bellofiore, R., Corazzon, P. and Giuliani, A., 2005. *La meteorologia in mare. Guida completa per diportisti e regatanti*. Alpha Test, Milano, 441 pp.
- Bergamin, L. and Di Bella, L., 1997. *Hyalinea balthica* (Schroeter): the ecological significance of inflated and compact phenotypes in circalittoral environments. *Palaeopelagos*, 7: 133-143.
- Bergamin, L., Di Bella, L. and Carboni, M.G., 1999. *Valvulineria bradyana* (Fornasini) in organic matter-enriched environment. *Il Quaternario - Italian Journal of Quaternary Sciences*, 12(1): 51-56.
- 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. and Bizon, J.J., 1984. Distribution des foraminifères sur le plateau continental au large du Rhône. In: J.J. Bizon and P.F. Burolet (Editors), *Ecologie des Microorganismes en Méditerranée occidentale 'ECOMED'*. Association Française des Techniciens du Pétrole (AFTP), Paris, pp. 84-94.
- Coppa, M.G. and 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.
- Coppa, M.G., Siani, G. and Russo, B., 1994. The Holocene foraminiferal assemblages of the continental margin between Agropoli and Capo Palinuro (Tyrrhenian Sea, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 33: 67-92.
- 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.
- de Stigter, H.C., Jorissen, F.J. and van der Zwaan, B., 1998. Bathymetric distribution and microhabitat partitioning of live (Rose Bengal stained) benthic foraminifera along a shelf to bathyal transect in the southern Adriatic sea. *Journal of Foraminiferal Research*, 28(1): 40-65.
- Donnici, S. and Serandrei-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.A.P., 2001. Experimental ecology of foraminifera towards better quantitative paleoecological reconstructions. Ph-D thesis Thesis, Utrecht University, 149 pp.
- Duros, P. et al., 2012. Live and dead benthic foraminiferal faunas from Whittard Canyon (NE Atlantic): Focus on taphonomic processes and paleo-environmental applications. *Marine Micropaleontology*, 94-95: 25-44.
- Duros, P. et al., 2011. Live (stained) benthic foraminifera in the Whittard Canyon, Celtic margin (NE Atlantic). *Deep-Sea Research Part I*, 58(2): 128-146.
- Elshanawany, R. et al., 2011. Anthropogenic impact on benthic foraminifera, Abu-Qir Bay, Alexandria, Egypt. *Journal of Foraminiferal Research*, 41(4): 326-348.

- Fontanier, C. et al., 2003. Seasonal and interannual variability of benthic foraminiferal faunas at 550m depth in the Bay of Biscay. *Deep-Sea Research I*, 50: 457-494.
- Fontanier, C. et al., 2008. Live foraminifera from the open slope between Grand Rhône and Petit Rhône Canyons (Gulf of Lions, NW Mediterranean). *Deep-Sea Research Part I*, 55(11): 1532-1553.
- Frezza, V. and Carboni, M.G., 2009. Distribution of recent foraminiferal assemblages near the Ombrone River mouth (Northern Tyrrhenian Sea, Italy). *Revue de Micropaléontologie*, 52(1): 43-66.
- Gooday, A.J., 1994. The biology of deep-sea foraminifera: a review of some advantages and their applications in paleoceanography. *Palaaios*, 9: 14-31.
- Guimerans, P.V. and 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.
- Hammer, Ø. and Harper, D., 2005. *Paleontological Data Analysis*. Blackwell Oxford, 351 pp.
- Hayek, L.E.C. and Buzas, M.A., 1997. *Surveying Natural Populations*. Columbia University Press, New York, 563 pp.
- Hayward, B.W., Neil, H., Carter, R., Grenfell, H.R. and Hayward, J.J., 2002. Factors influencing the distribution patterns of Recent deep-sea benthic foraminifera, east of New Zealand, Southwest Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, 46(1-2): 139-176.
- Hess, S. and Kuhnt, W., 1996. Deep-sea benthic foraminiferal recolonization of the 1991 Mt. Pinatubo ash layer in the South China Sea. *Marine Micropaleontology*, 28: 171-197.
- Hurlbert, S.H., 1971. The Nonconcept of Species Diversity: A Critique and Alternative Parameters. *Ecology*, 52(4): 577-586.
- Hyams-Kaphzan, O., Almogi-Labin, A., Sivan, D. and Benjamini, C., 2008. Benthic foraminifera assemblage change along the southeastern Mediterranean inner shelf due to fall-off of Nile-derived siliciclastics. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, 248/3: 315-344.
- 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., 1999. Benthic foraminiferal successions across Late Quaternary Mediterranean Sapropels. *Marine Geology*, 153: 91-103.
- Jorissen, F.J., Barmawidjaja, D.M., Puskarić, S. and van der Zwaan, G.J., 1992. Vertical distribution of benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea: The relation with the organic flux. *Marine Micropaleontology*, 19: 131-146.
- Jorissen, F.J., de Stigter, H.C. and Widmark, J.G.V., 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*, 22: 3-15.
- Jorissen, F.J. and Wittling, I., 1999. Ecological evidence from live-dead comparisons of benthic foraminiferal faunas off Cape Blanc (Northwest Africa). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 149: 151-170.
- Krebs, C., 1989. *Ecological methodology*, NY.
- 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.
- Mendes, I., Gonzalez, R., Dias, J.M.A., Lobo, F. and 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.
- 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.
- Pairaud, I. and Desmare, S., 2011. Courantologie de la sous-région marine Méditerranée occidentale DCSMM/EI/MO, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Ref. DCSMM/EI/EE/MO/1.1.6/2011, pp. 10.
- Panieri, G., Gamberi, F., Marani, M. and 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.
- Renkonen, O., 1938. Statisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Annales botanici Societatis zoologicae-botanicae fennicae Vanamo*, 6: 1-231.
- Robbins, J.A., Krezoski, J.R. and Mozley, S.C., 1977. Radioactivity in sediments of the Great Lakes: Post-depositional redistribution by deposit-feeding organisms. *Earth and Planetary Science Letters*, 36(2): 325-333.
- Sanders, H.L., 1968. Marine Benthic Diversity: A Comparative Study. *The American Naturalist*, 102(925): 243-282.
- Schmidt, S. et al., 2007. Sedimentary processes in the Thau Lagoon (France): From seasonal to century time scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72: 534-542.
- Schmidt, S. et al., 2010. Impact d'un barrage intra-estuarien sur la dynamique sédimentaire: la retenue de Saint-Savinien. *Paralia*: 405-414.
- 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., Mackensen, A. and Muller, P.J., 1997. Recent benthic foraminifera from the eastern South Atlantic Ocean: Dependence on food supply and water masses. *Marine Micropaleontology*, 32(3-4): 249-287.
- Schmiedl, G. et al., 2003. Benthic foraminiferal record of ecosystem variability in the eastern Mediterranean Sea during times of sapropel S-5 and S-6 deposition. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 190: 139-164.
- Schönfeld, J. et al., 2012. The FOBIMO (FOraminiferal Blo-MONitoring) initiative - Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94-95: 1-13.
- Sgarrella, F. and Barra, D., 1985. Distribuzione dei Foraminiferi bentonici nel Golfo di Salerno (Basso Tirreno, Italia). *Bolletino Della Societa Dei Naturalisti In Napoli*, 93: 1-58.
- Sgarrella, F. and Moncharmont Zei, M., 1993. Benthic foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 32(2): 145-264.
- 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.
- Villanueva Guimerans, P. and 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.

Annexes

Annexe 1 : Analyse détaillée des stations dont les réplicats montrent des densités de foraminifères différentes.

Annexe 2 : Influence de la densité absolue de foraminifères benthiques sur les indices de diversité

Annexe 3 : Données brutes de comptage des foraminifères vivants des stations LR-PACA et Corse (voir abréviations des stations en Tableau 1), fractions 125-150µm (code « 125 ») et 150-500µm (code « 150 »).

Annexe 4 : Densités relatives des espèces 35 espèces majeures dont la densité relative est supérieure à 10% dans au moins un des échantillons (150-500µm) des stations de LR-PACA.

Annexe 5 : Dendrogramme de l'indice de similarité de Morisita pour les densités relatives (pourcentages) de faune totale de la fraction 150-500µm pour tous les échantillons analysés (3 réplicats par station) pour la zone LR-PACA d'une part et la zone Corse d'autre part.

Annexe 6 : Rappel de la littérature sur les espèces tolérantes identifiées en 2009.

Annexe 7 : Densités relatives des espèces tolérantes (liste mise à jour en 2012) dans la fraction 150-500µm pour les 3 réplicats pour chaque station des zones LR-PACA et Corse.

Annexe 8 : Densités standardisées des espèces tolérantes de la zone LR-PACA puis Corse (liste mise à jour en 2012) dans la fraction 150-500µm et 125-150µm (seuls les échantillons où les 2 fractions ont été analysées sont présentés). NB : l'échelle est différente en fonction de l'espèce considérée.

Annexe 1 : Analyse détaillée des stations dont les répliquats montrent des densités de foraminifères différentes.

Pour la station **Nice Ville**, le répliquat b est très différent des 2 autres. En l'occurrence, les répliquats a et c montrent un très faible nombre de foraminifères vivants (1 et 2 individus comptés) alors que la densité dans le répliquat b est de 200 individus /50cm³ (fraction 150-500µm). Selon les observations de terrain, le sédiment prélevé au cours des 3 tirs de carottier était similaire. Il faut noter que le carottier avait été lessivé relativement fortement pour le répliquat a mais il n'y a pas de raison apparente pour expliquer les faibles densités trouvées pour le répliquat c. Il semblerait que la distribution des foraminifères à cette station soit très variable.

Pour la station **Porquerolles**, le répliquat b présente une forte densité (145 individus /50cm³) en comparaison aux 2 autres répliquats où très peu de foraminifères ont été trouvés (8 individus /50cm³ chacun). Lors de l'échantillonnage, nous avons noté que le carottier dans lequel a été prélevé le répliquat b présentait une interface très bien conservée avec une fine couche de sédiment fin qui drapait la surface du sédiment plus sableux voir sablo-vaseux. Cette fine couche n'a pas été observée dans les 2 autres carottiers (répliquats a et c) qui ont été probablement plus lessivés. On peut voir que cette différence dans l'échantillonnage a une conséquence sur la densité des foraminifères retrouvés dans les échantillons.

Les répliquats a et c de Nice Ville et Porquerolles ne seront donc pas considérés dans la suite du rapport pour le calcul des différents paramètres faunistiques puisque ceux-ci présentent des densités trop faibles pour que les paramètres soient pertinents (paramètres basés souvent sur des pourcentages). De manière général, nous avons considéré que les échantillons contenant moins de 20 individus /50 cm³ ne seront pas utilisés (cas aussi de 4 échantillons en Corse).

Pour la station **Grau du Roi** dont le répliquat b présente la plus grande densité répertoriée (1267 individus /50cm³), les répliquats a et c montrent des densités plus faibles avec 54 et 245 individus /50cm³ respectivement. On pourrait suggérer qu'un léger lessivage du carottier pourrait être responsable de la faible densité observée dans le répliquat a. Par contre, aucune observation de terrain ne permet d'expliquer la différence de densité observée entre les 2 autres répliquats. Il semblerait que la variabilité spatiale à cette station soit importante. Nous verrons par la suite que cette différence est principalement due aux densités de l'espèce *Elphidium crispum* très différentes entre les répliquats.

Pour **Collioure**, le répliquat a présente une densité de 70 individus /50cm³ alors que les répliquats b et c ont des densités plus importantes (189 et 253 individus /50cm³ respectivement). Pour cette station, la moindre densité du répliquat a est probablement due à un fort lessivage du carottier.

Pour les mêmes raisons, le répliquat d de la station **Ile Embiez** a une densité moindre (31 individus /50cm³) par rapport aux répliquats b et c (101 et 146 individus /50cm³ respectivement).

Pour la station **Faraman**, les répliquats a, b et c ont des densités standardisées de 181, 55 et 308 individus /50cm³. Pour autant, le réplikat b a été prélevé dans un carottier où l'eau surnageante a été conservée et l'interface est intacte donc il n'y a pas eu de perte de foraminifères dû à un lessivage. Le carottier du réplikat c avait subi un lessivage une fois sur le pont du bateau et le sous-carottage avait été fait à l'opposé du trou de lessivage.

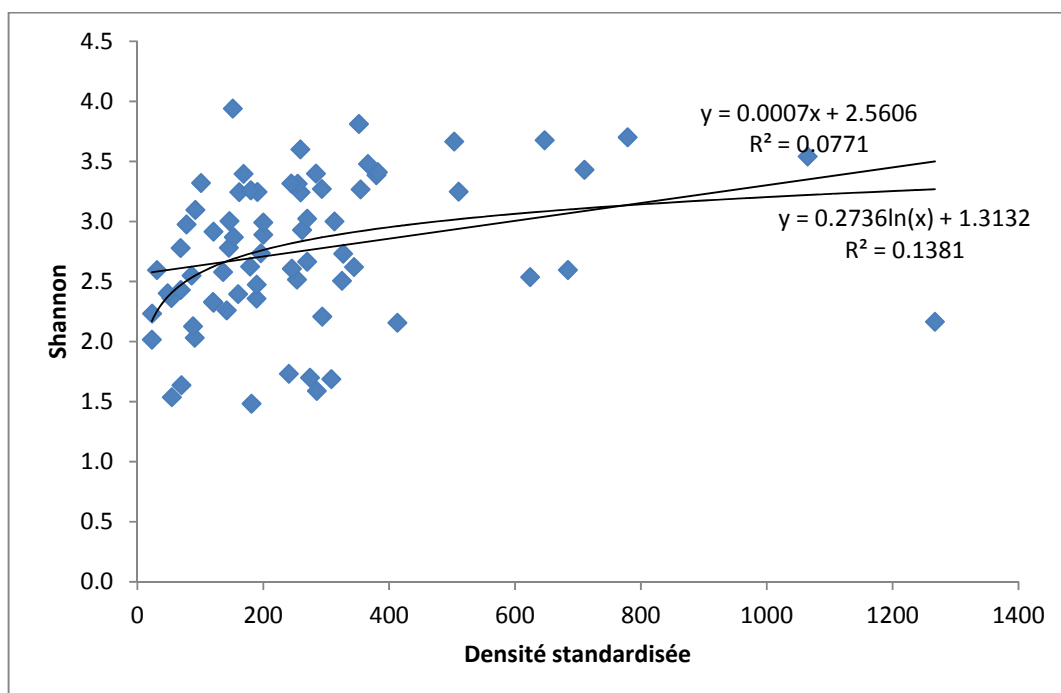
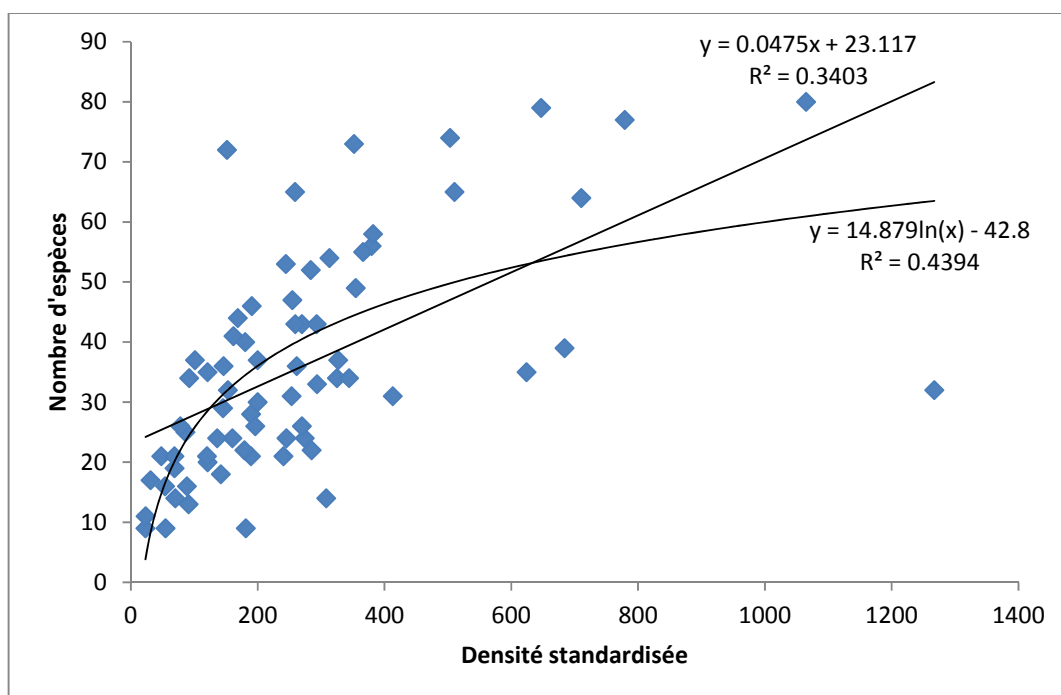
De même pour la station **Lavandou**, le réplikat a, présentant la plus faible densité (23 individus /50cm³ contre 262 et 191 pour les répliquats b et c), n'avait pas subi de lessivage fort. Par contre, le sédiment observé lors des 3 tirs de carottier était différent d'un tir à l'autre avec une granulométrie allant de vaso-sableuse à sableuse.

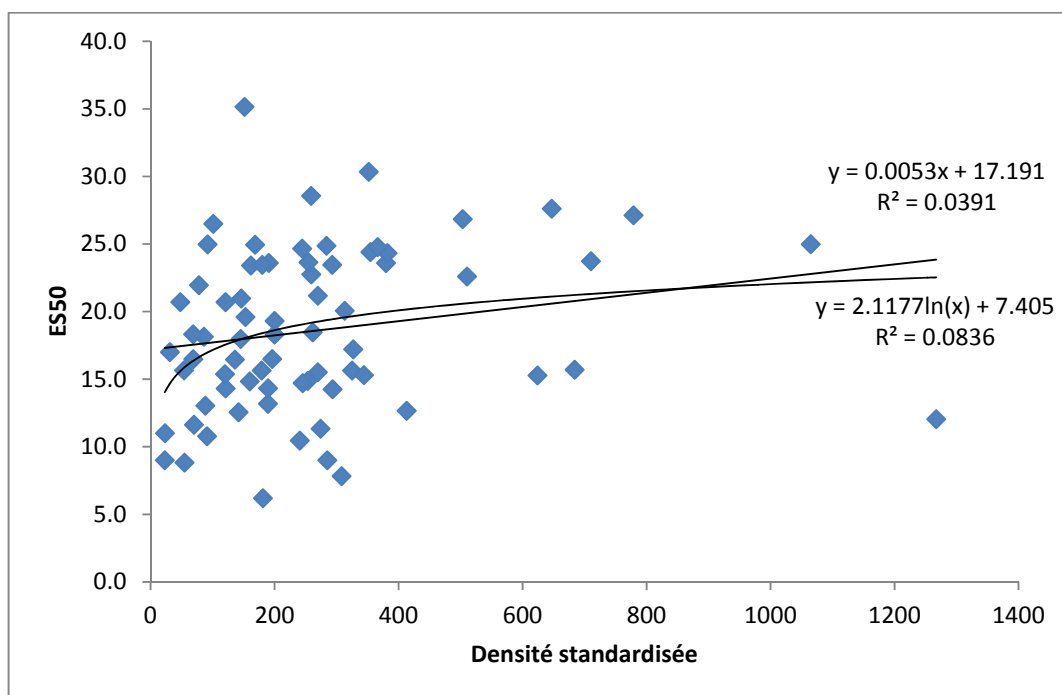
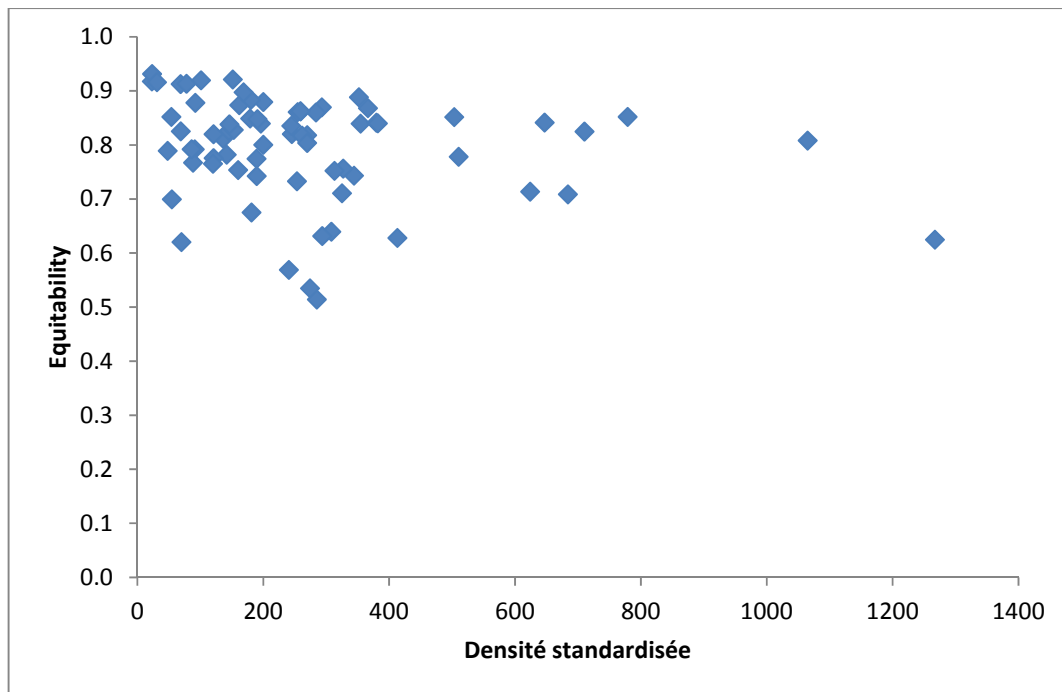
Pour la station **Gruissan**, les répliquats a et c ont été prélevés sans l'utilisation d'un tube pour sous-carotter. Les densités pour ces 2 répliquats sont inférieures (91 et 88 individus /50cm³) que pour le réplikat b où un sous-carottage a été réalisé (285 individus /50cm³). Le fait de prélever approximativement 1cm d'épaisseur de sédiment sur la totalité de la surface du carottier à la cuillère est une méthode moins précise que de découper le premier centimètre de sédiment dans une carotte avec une spatule. Il est possible que cette méthode entraîne une dilution des foraminifères avec du sédiment plus en profondeur. Cette méthode devrait être évitée autant que possible ce qui a en effet été fait pendant les campagnes de 2009 et 2012 mais cependant inévitable lorsque le sédiment ne permet pas de réaliser un sous-carottage.

Pour la station **Pampelone**, le carottier correspondant au réplikat a a la plus forte densité (313 individus /50cm³) et le réplikat c a la plus faible (86 individus /50cm³) ; or ce dernier avait subi un fort lessivage lors de son arrivée sur le pont du bateau. Le réplikat b (121 individus /50cm³) présentait une granulométrie plus grossière et avait également été lessivé.

Pour **Toulon Grande Rade**, le réplikat c (366 individus /50cm³) a été prélevé dans un carottier où la surface n'a pas été perturbée alors que les boîtes des répliquats a et b (78 et 69 individus /50cm³, respectivement) avaient été légèrement lessivées ce qui explique peut-être la différence de densité entre les répliquats.

Annexe 2 : Influence de la densité absolue de foraminifères benthiques sur les indices de diversité

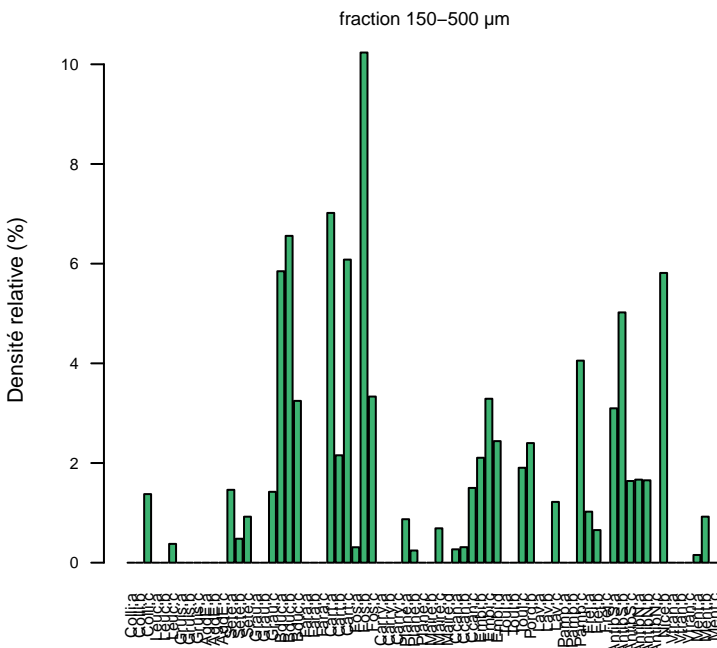
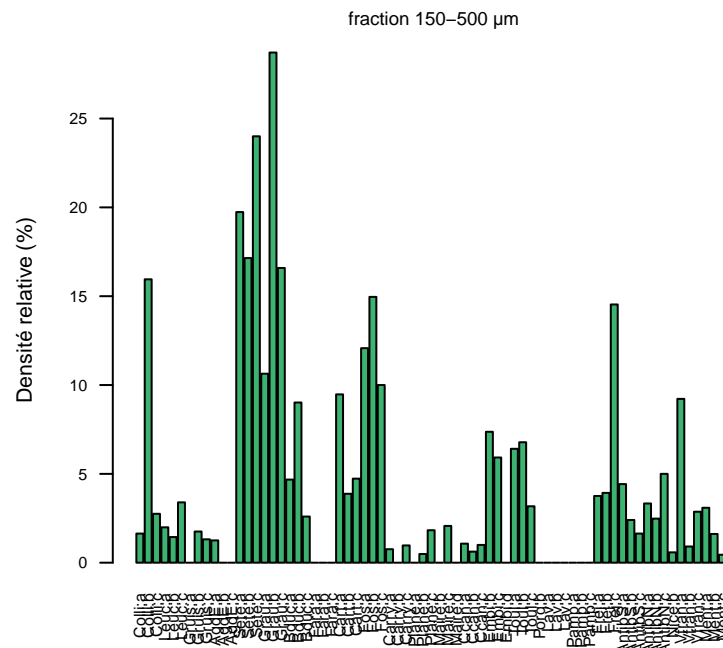
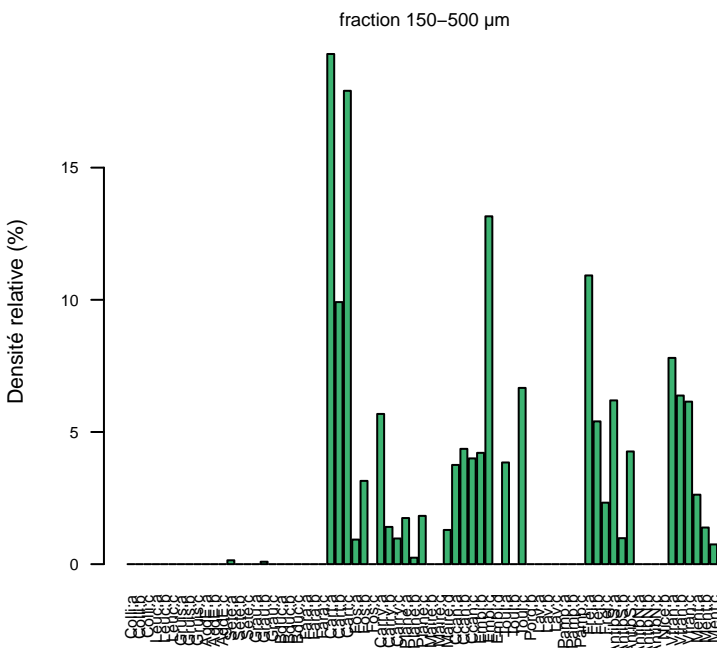
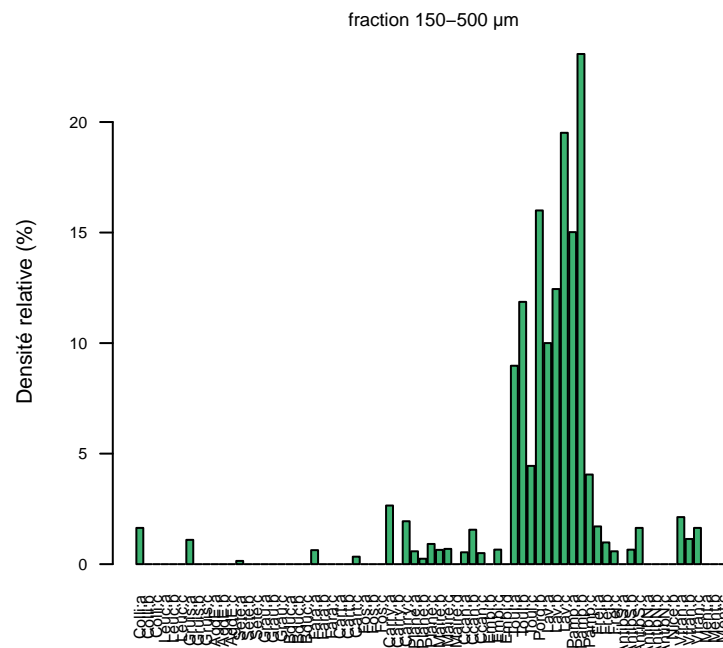
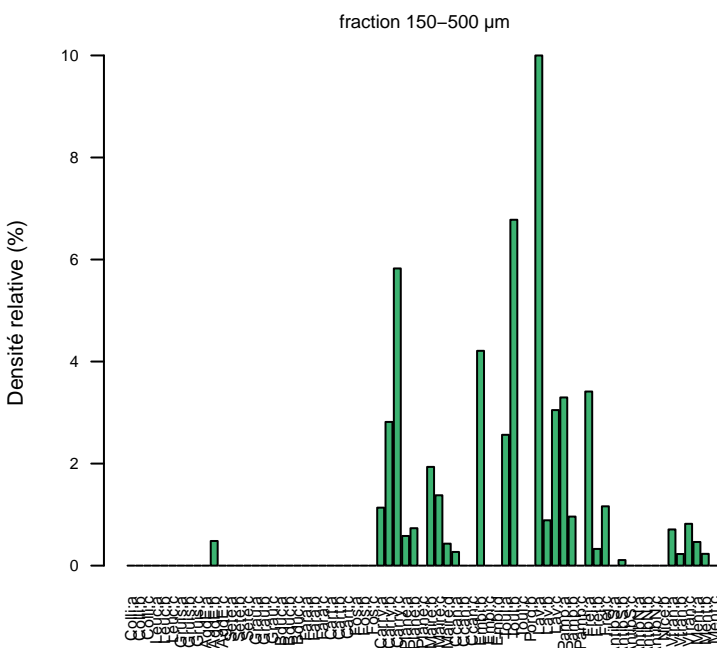
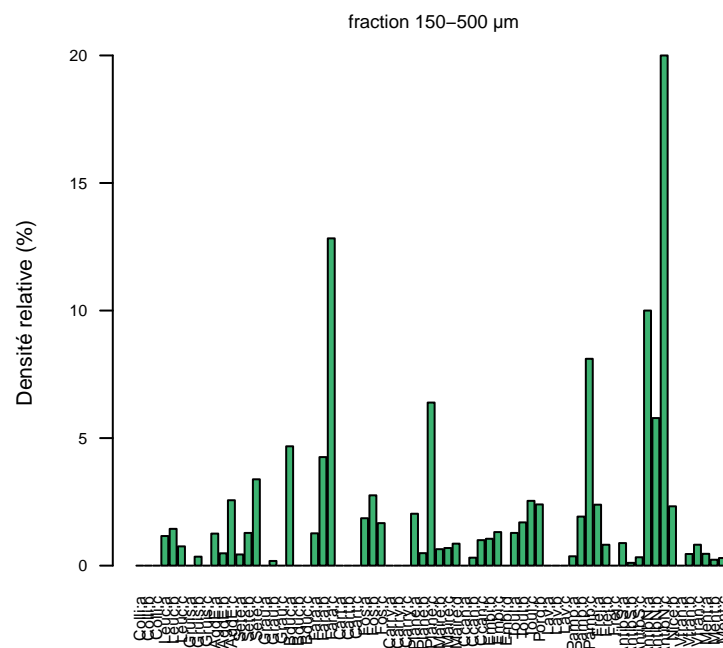


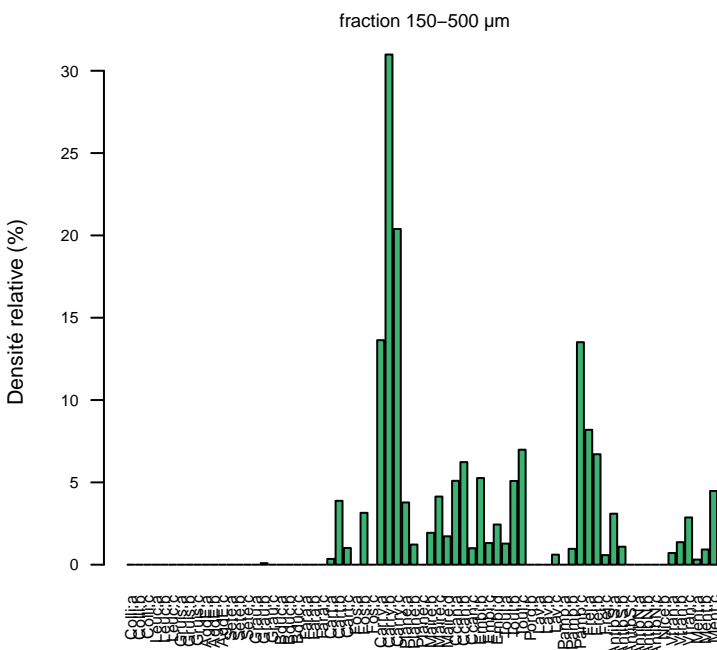
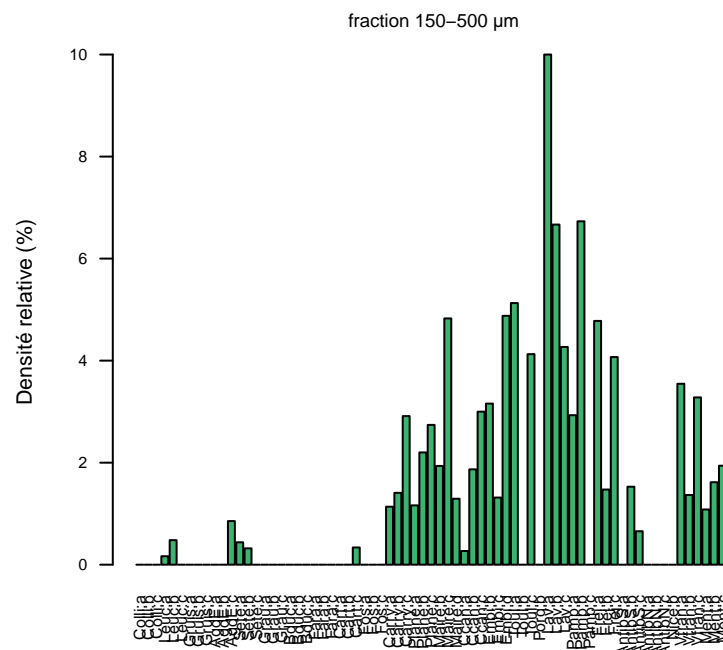
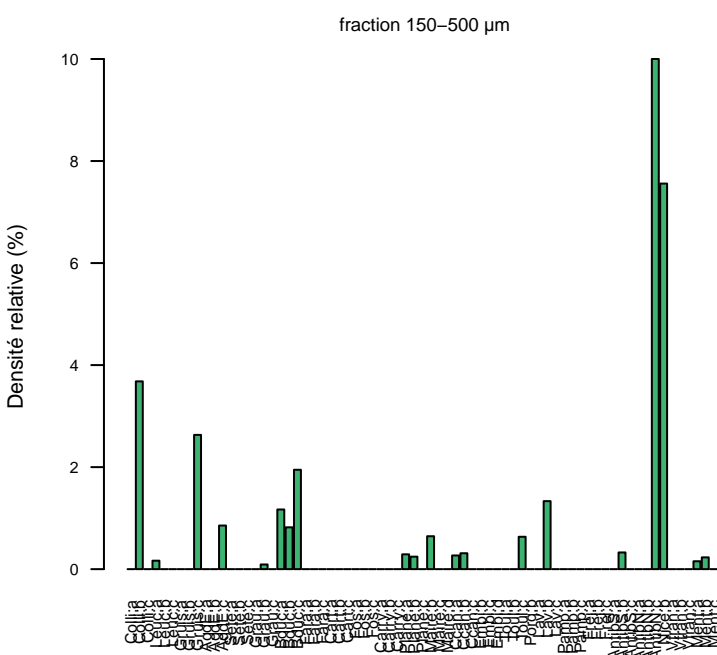
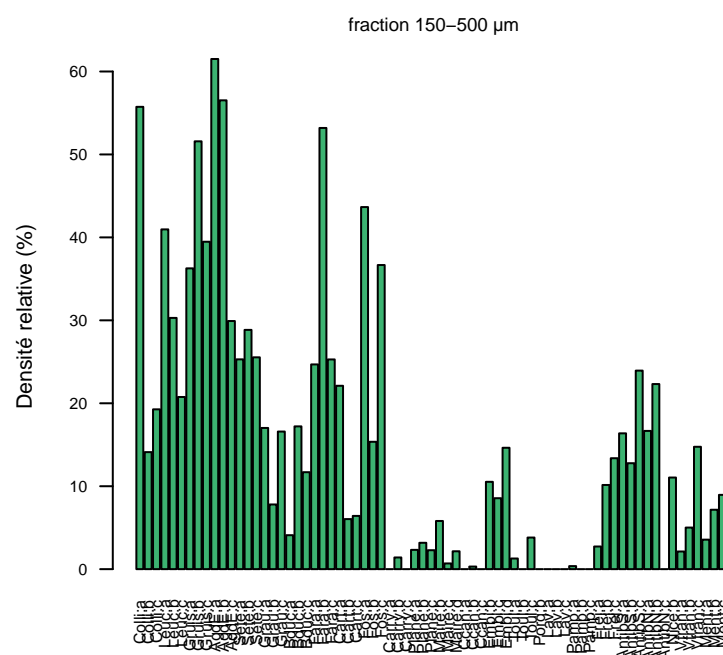
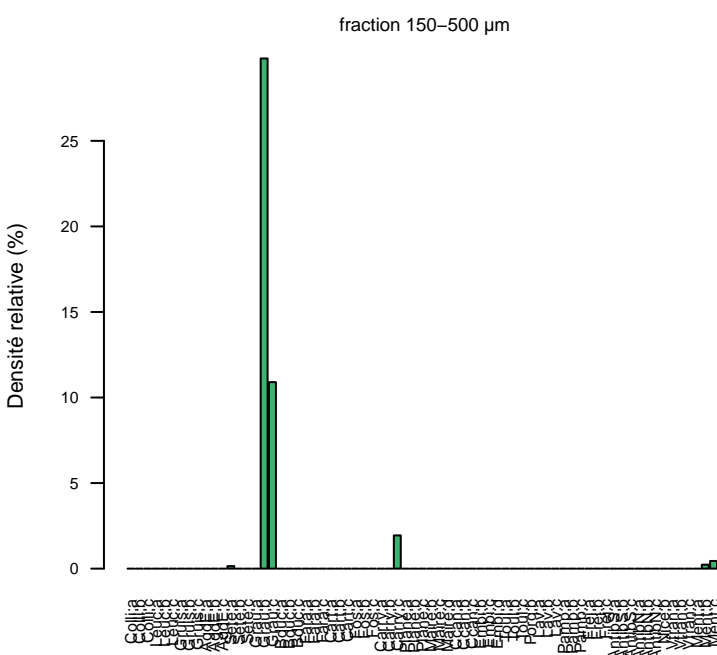
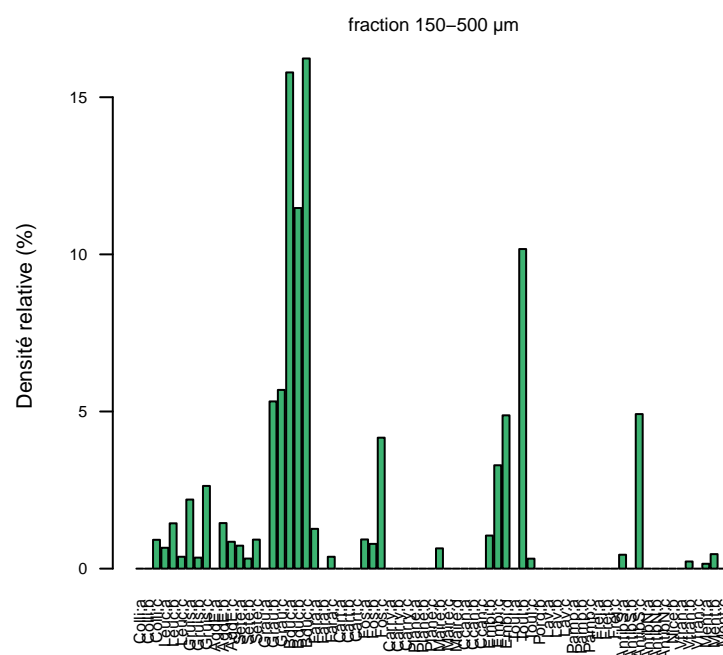


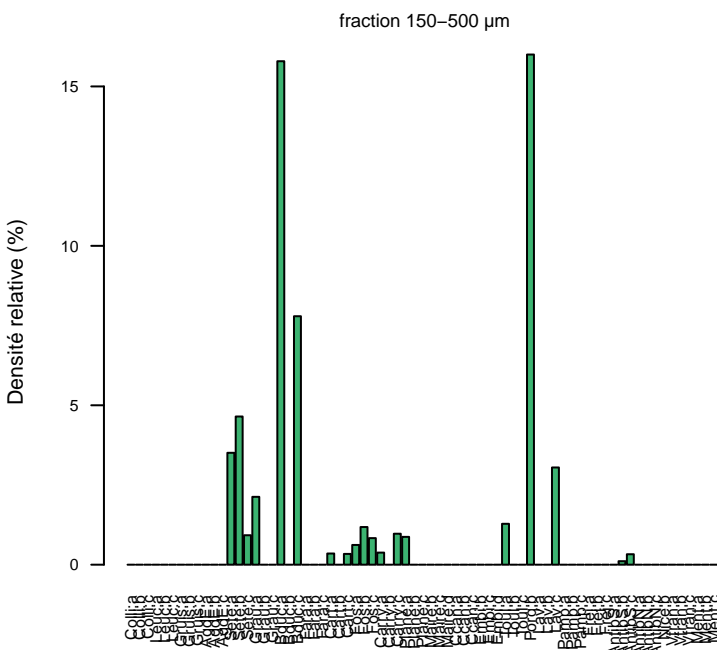
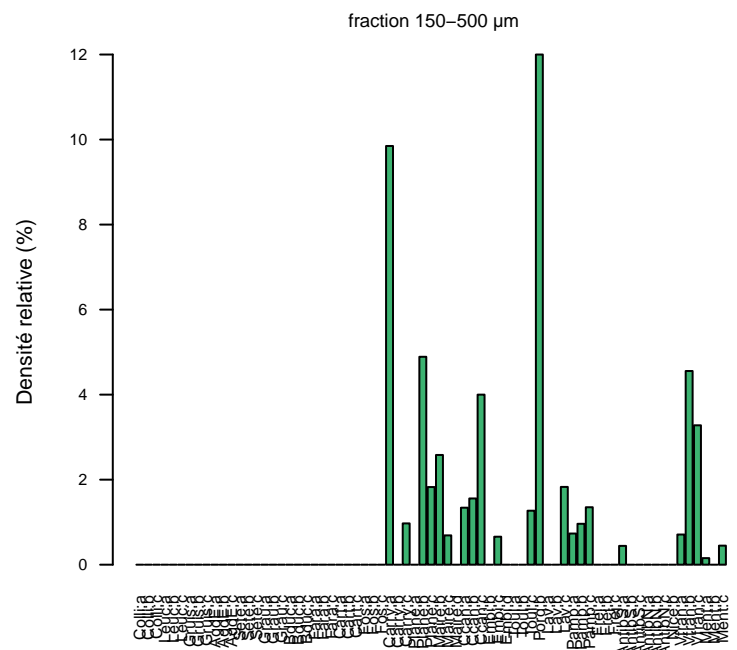
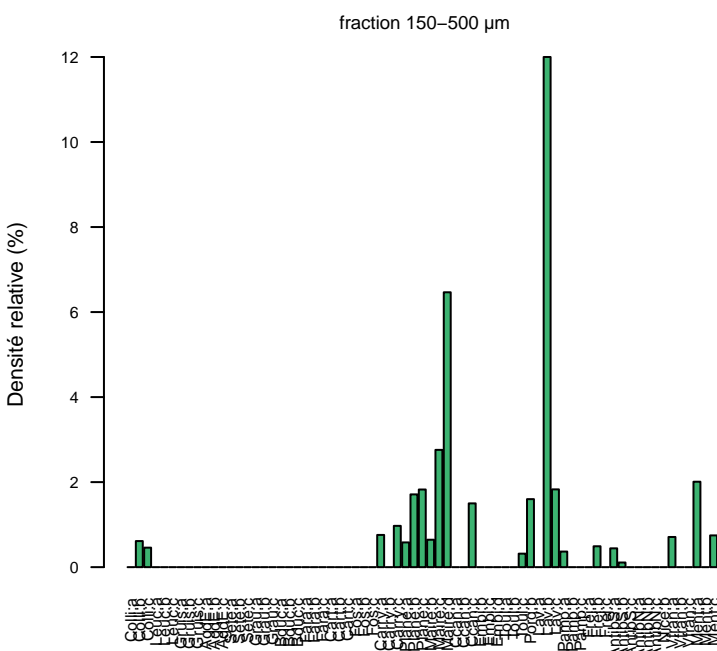
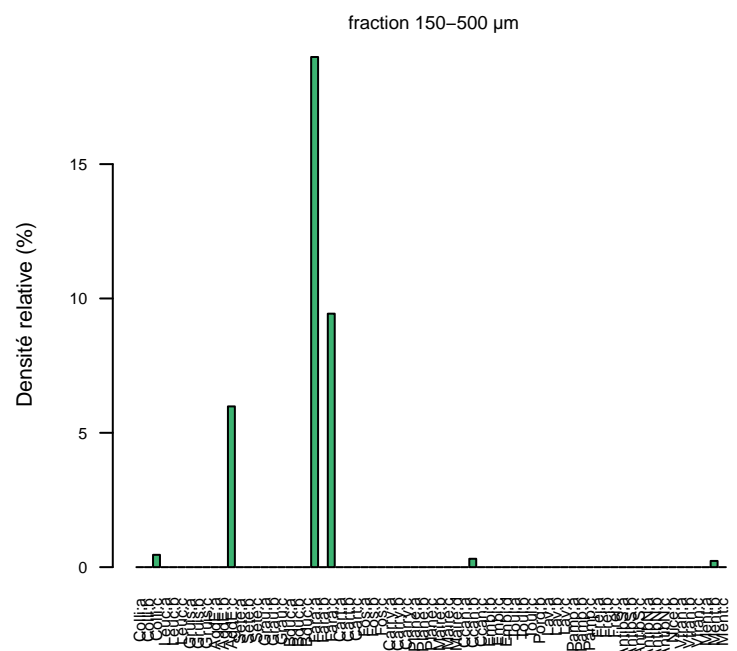
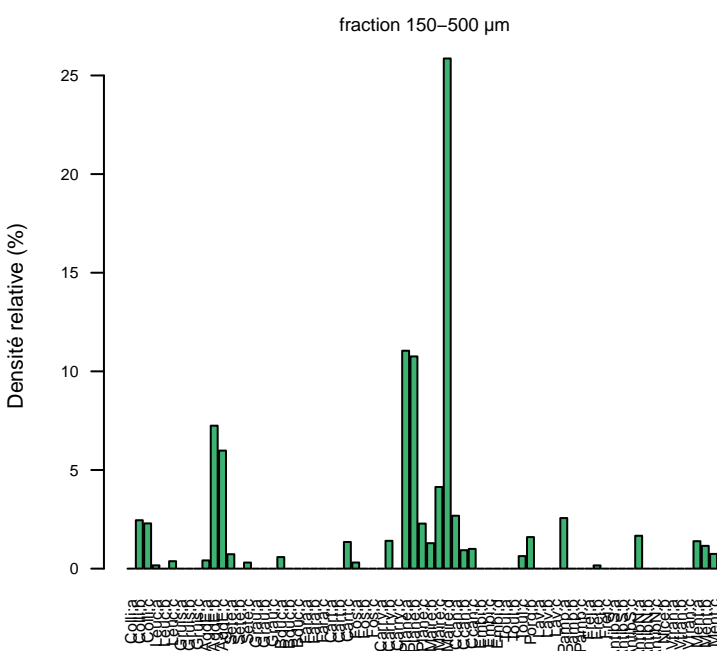
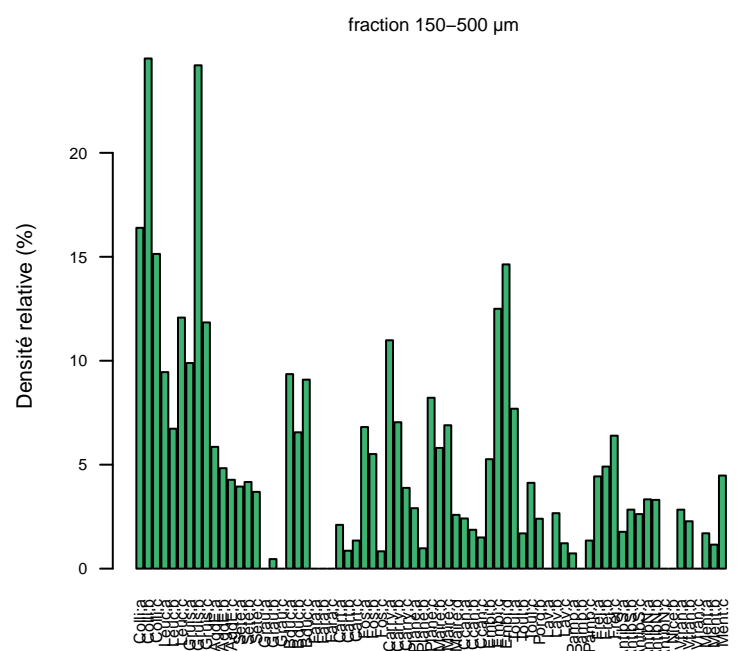
Annexe 3 : Données brutes de comptage des foraminifères vivants des stations LR-PACA et Corse (voir abréviations des stations en Tableau 1), fractions 125-150µm (code « 125 ») et 150-500µm (code « 150 »).

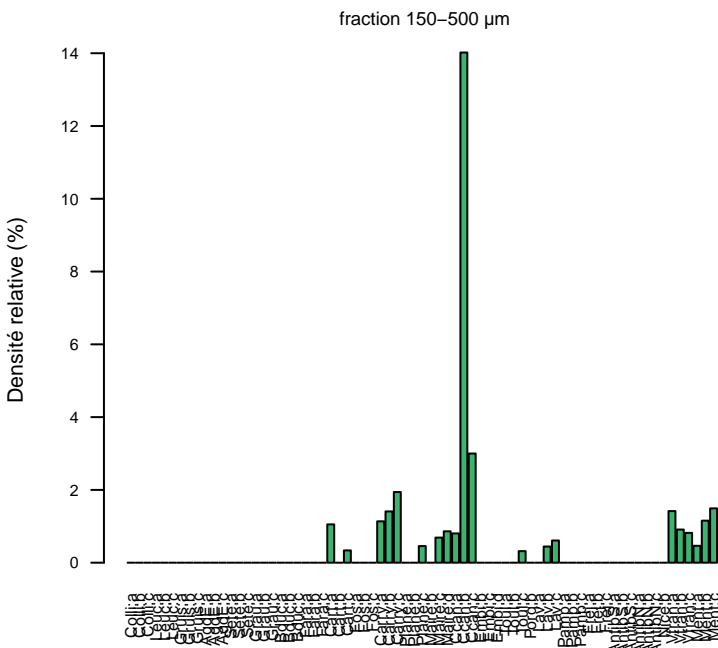
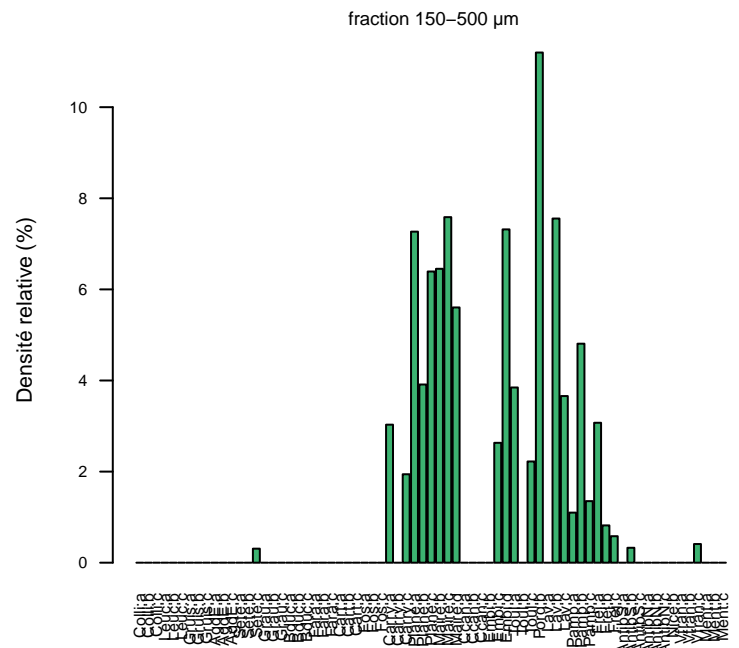
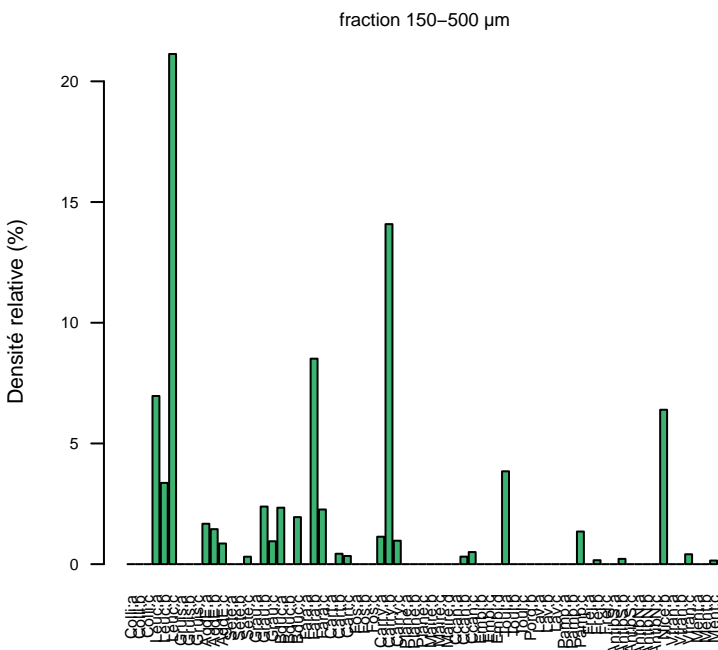
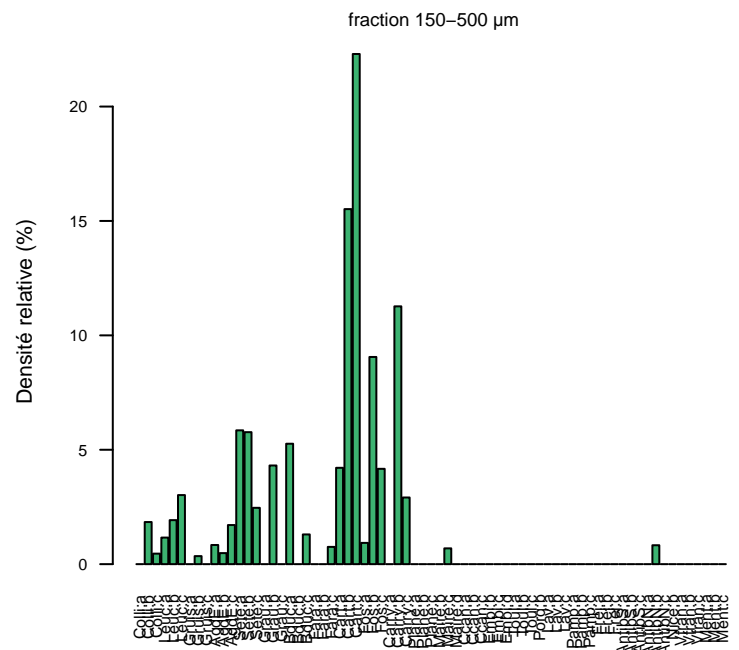
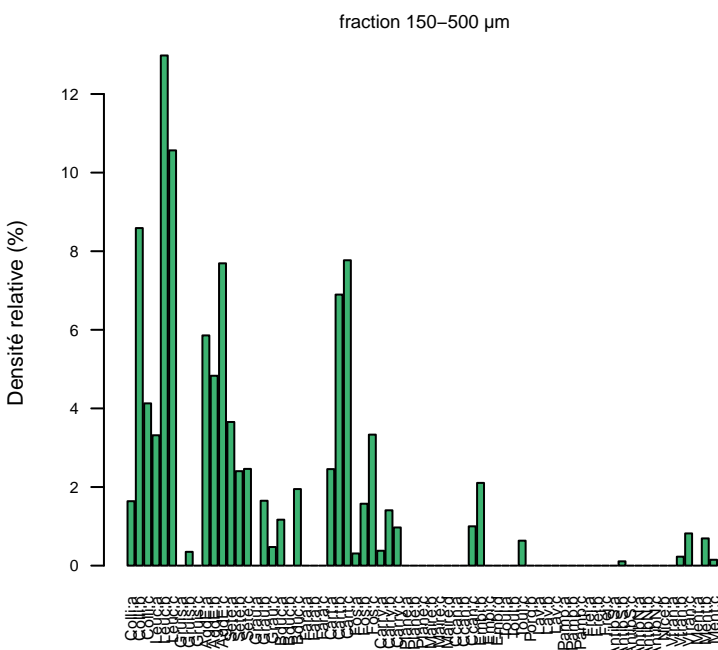
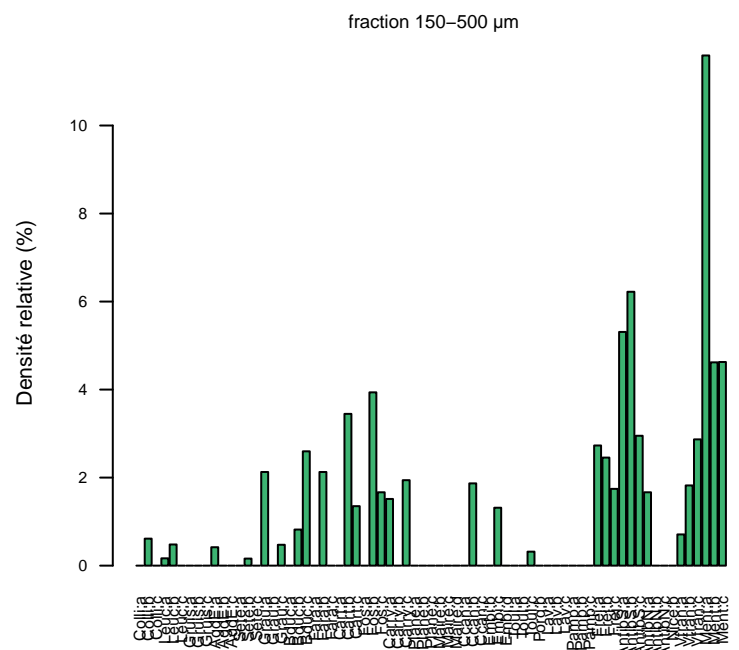
Voir fichier Excel « DCE2012_Données brutes foraminifères.xlsx »

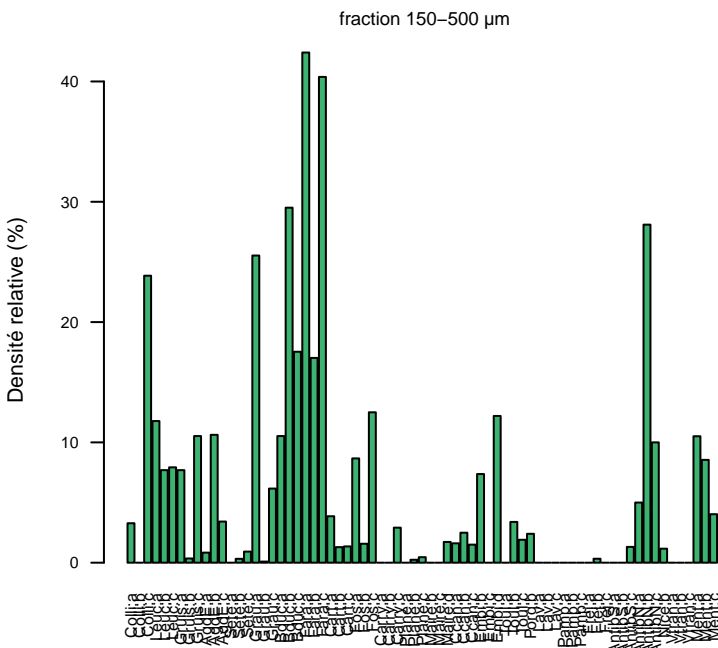
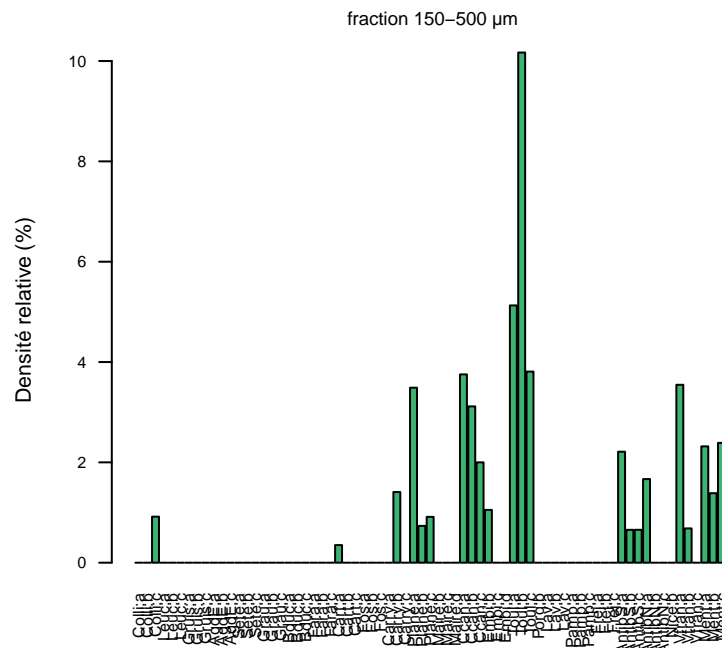
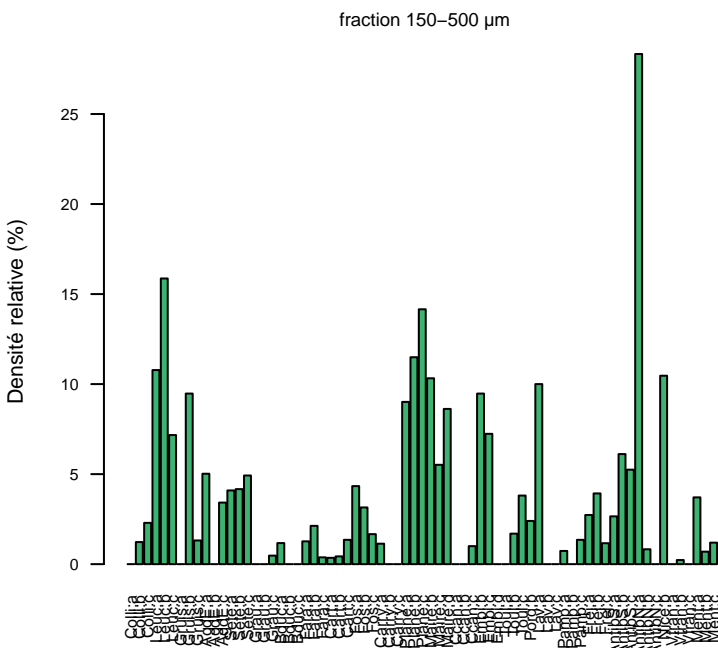
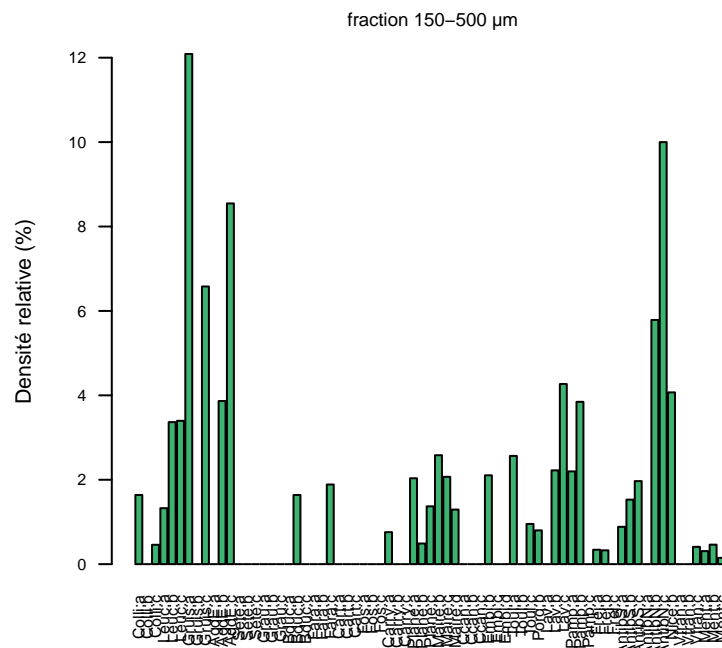
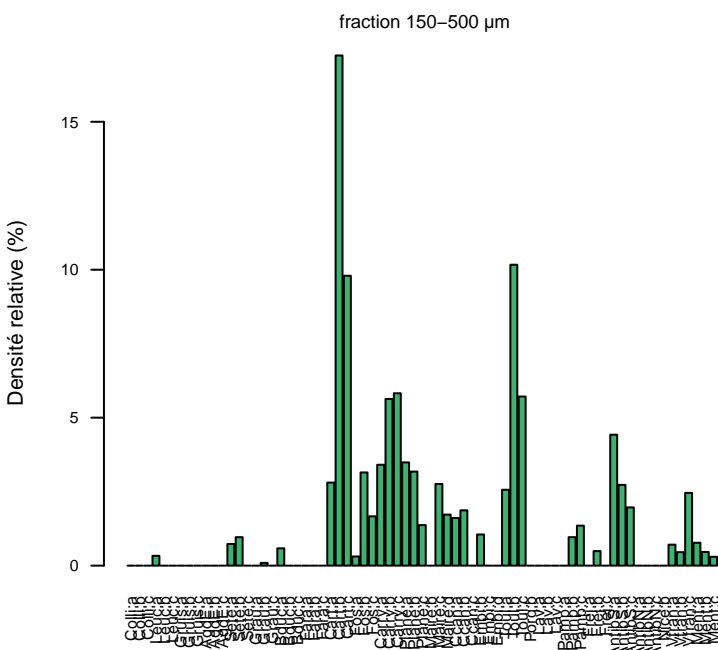
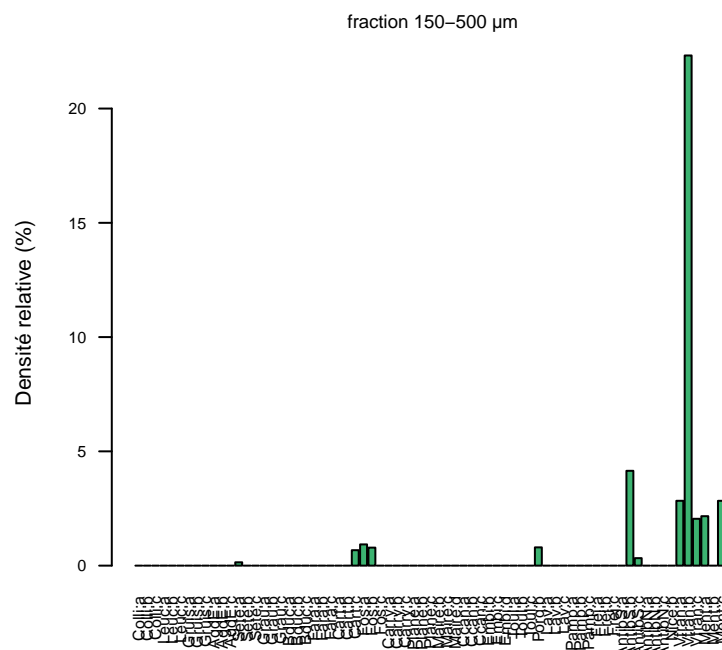
Annexe 4 : Densités relatives des 35 espèces majeures dont la densité relative est supérieure à 10% dans au moins un des échantillons (150-500µm) des stations de LR-PACA.

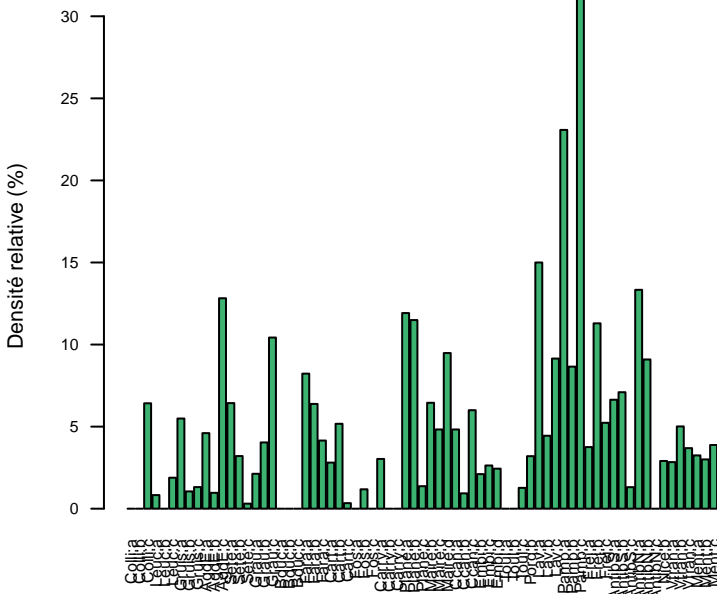
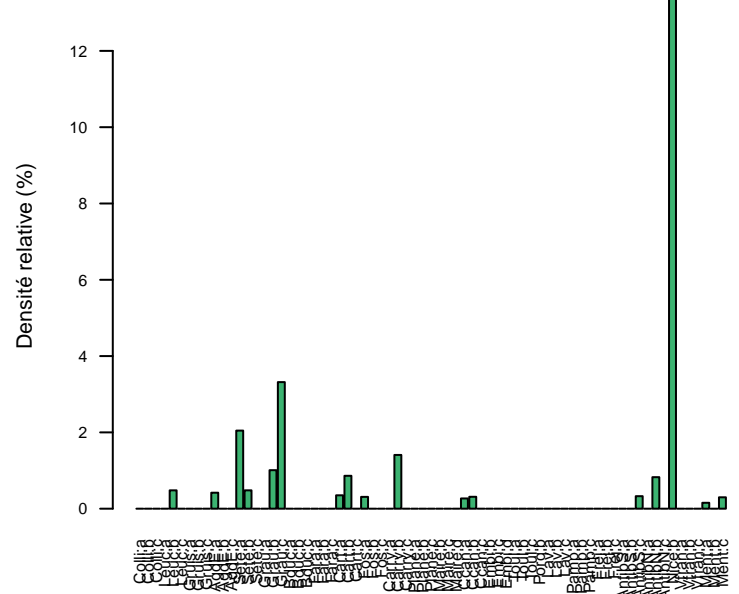
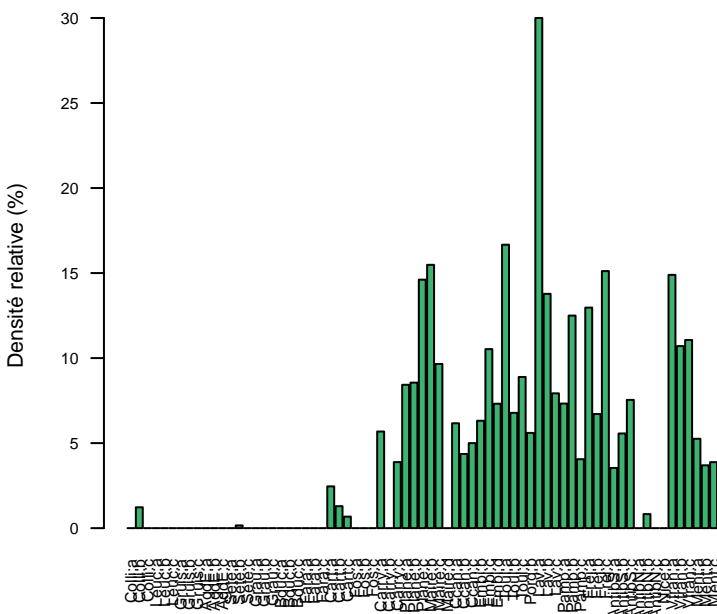
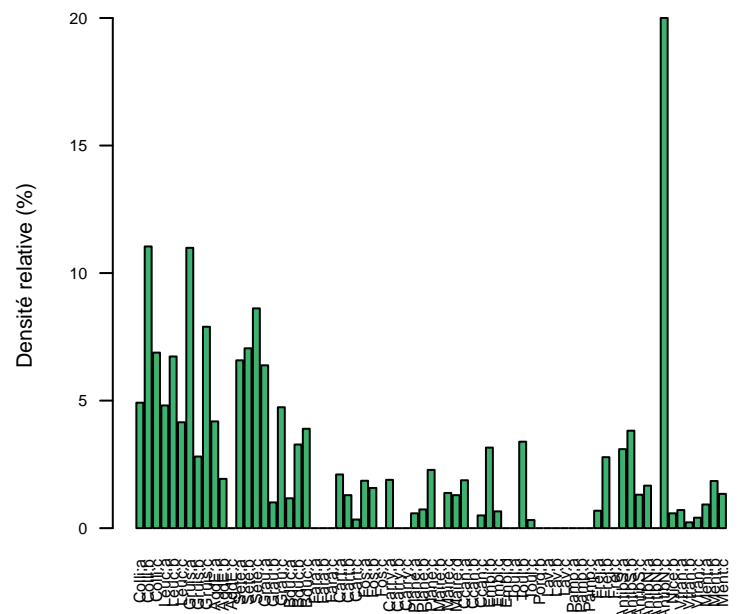
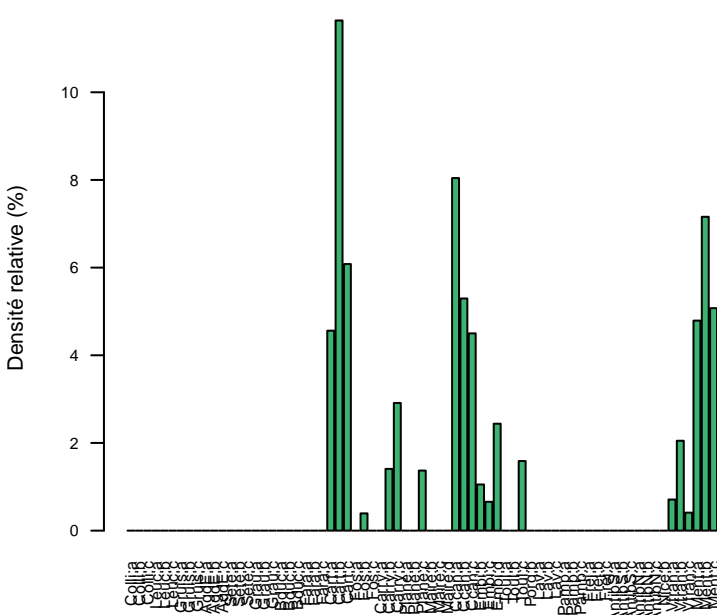
DCE 2012, LR-Paca : *Adelosina longirostra*DCE 2012, LR-Paca : *Ammonia beccarii* f. *beccarii*DCE 2012, LR-Paca : *Ammoscalaria pseudospiralis*DCE 2012, LR-Paca : *Asterigerinata mamilla*DCE 2012, LR-Paca : *Astrononion stelligerum*DCE 2012, LR-Paca : *Buccella granulata*

DCE 2012, LR-Paca : *Cancris auriculus*DCE 2012, LR-Paca : *Cibicides lobatulus*DCE 2012, LR-Paca : *Cornuspira involvens*DCE 2012, LR-Paca : *Eggerella scabra*DCE 2012, LR-Paca : *Elphidium crispum*DCE 2012, LR-Paca : *Elphidium granosum*

DCE 2012, LR-Paca : *Elphidium macellum*DCE 2012, LR-Paca : *Fissurina orbignyana*DCE 2012, LR-Paca : *Haplophragmoides canariensis*DCE 2012, LR-Paca : *Hormosinella guttifer*DCE 2012, LR-Paca : *Lagenammina atlantica*DCE 2012, LR-Paca : *Lagenammina difflugiformis*

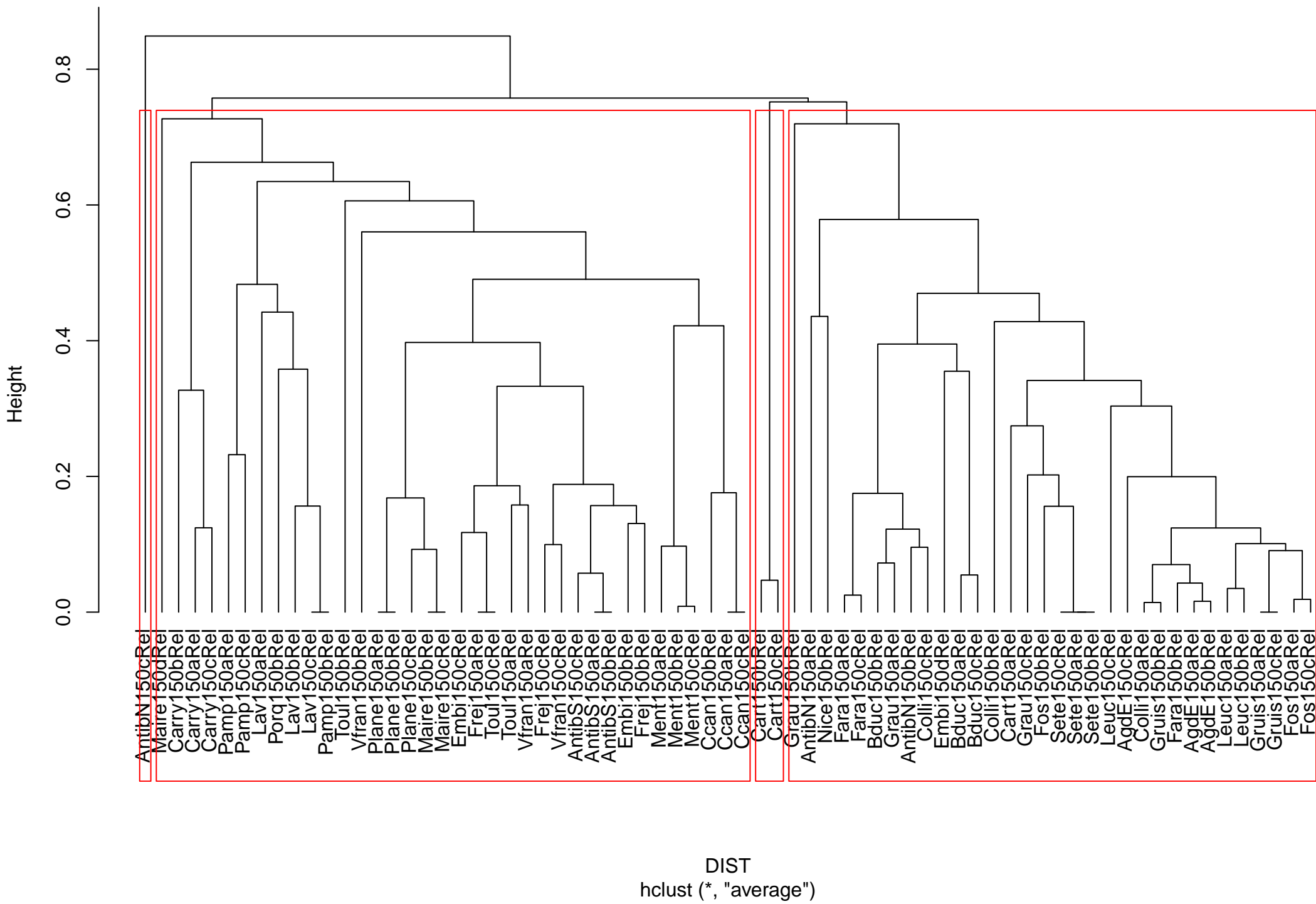
DCE 2012, LR-Paca : *Melonis barleeanus*DCE 2012, LR-Paca : *Neoconorbina terquemi*DCE 2012, LR-Paca : *Nonion depressulum*DCE 2012, LR-Paca : *Nonion scaphum*DCE 2012, LR-Paca : *Nonionella turgida*DCE 2012, LR-Paca : *Nouria cf. polymorphinoides*

DCE 2012, LR-Paca : *Psammospira* mousDCE 2012, LR-Paca : *Pseudoeponides falsobeccarii*DCE 2012, LR-Paca : *Quinqueloculina aspera*DCE 2012, LR-Paca : *Quinqueloculina costata*DCE 2012, LR-Paca : *Rectuvigerina phlegeri*DCE 2012, LR-Paca : *Recurvoides* sp. 1

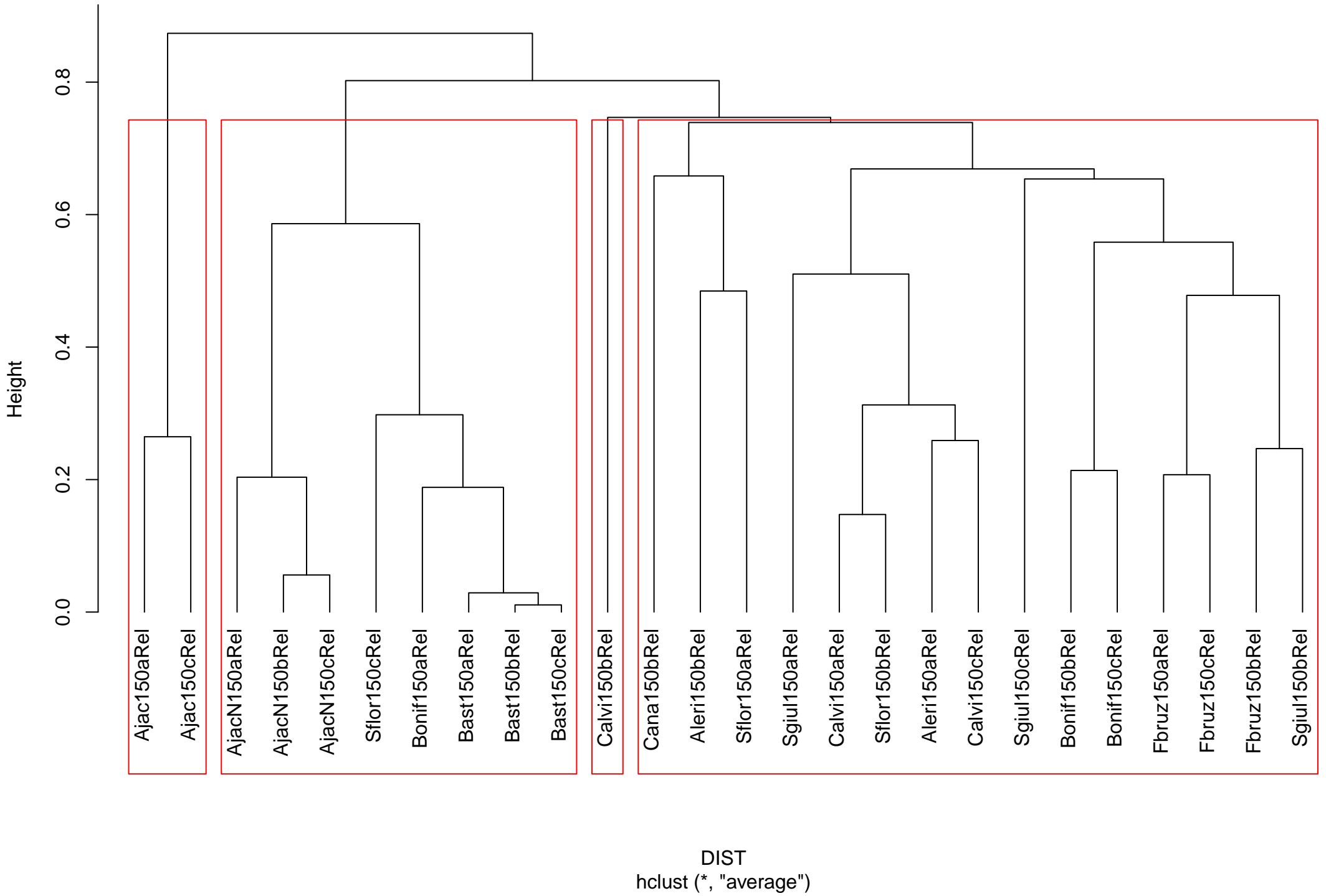
DCE 2012, LR-Paca : *Reophax fusiformis*fraction 150–500 μm DCE 2012, LR-Paca : *Robertinoides bradyi*fraction 150–500 μm DCE 2012, LR-Paca : *Rosalina bradyi*fraction 150–500 μm DCE 2012, LR-Paca : *Triloculina trigonula*fraction 150–500 μm DCE 2012, LR-Paca : *Valvulineria bradyana*fraction 150–500 μm 

Annexe 5 : Dendrogramme de l'indice de similarité de Morisita pour les densités relatives (pourcentages) de faune totale de la fraction 150-500µm pour tous les échantillons analysés (3 réplicats par station) pour la zone LR-PACA d'une part et la zone Corse d'autre part.

DCE2012, LR-Paca :
Indice de Morisita entre les réplicats de chaque station, densité relative
(fractions 150–500 µm)



DCE2012, Corse :
Indice de Morisita entre les réplicats de chaque station, densité relative
(fractions 150–500 µm)



Annexe 6 : Rappel de la littérature sur les espèces tolérantes identifiées en 2009.

Les espèces classées dans le groupe des espèces tolérantes sont les suivantes :

- 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 phegeri*** 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. phegeri* 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 ; Mojtahid *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

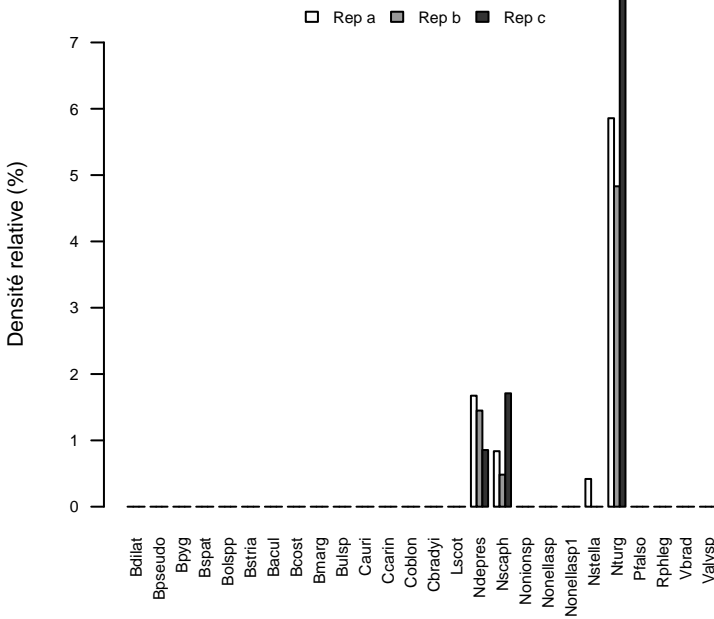
sédiment pour profiter des apports de matière organique aux dépens d'autres espèces moins résistantes.

- ***Leptohalysis scottii*** (aussi connue sous le nom de *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).

Annexe 7 : Densités relatives des espèces tolérantes (liste mise à jour en 2012) dans la fraction 150-500µm pour les 3 réplicats pour chaque station des zones LR-PACA et Corse.

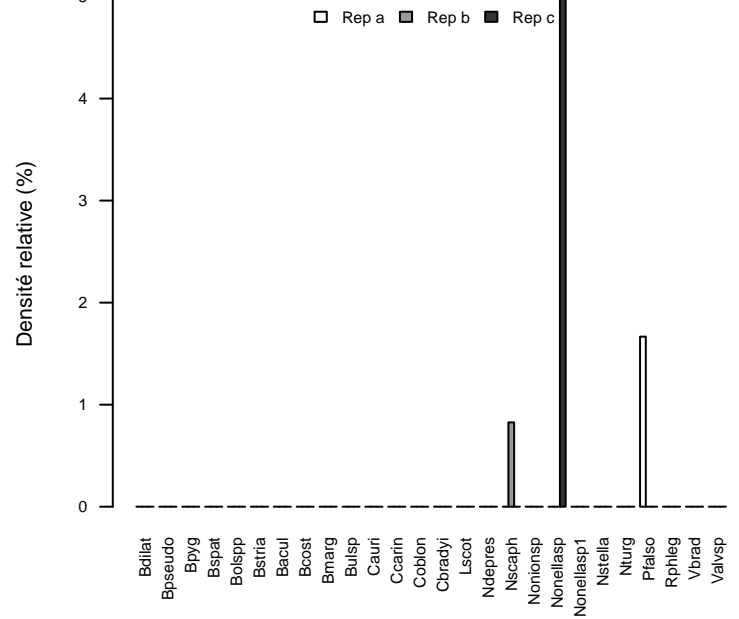
DCE 2012, LR-Paca : AgdE

des fractions 150–500 µm



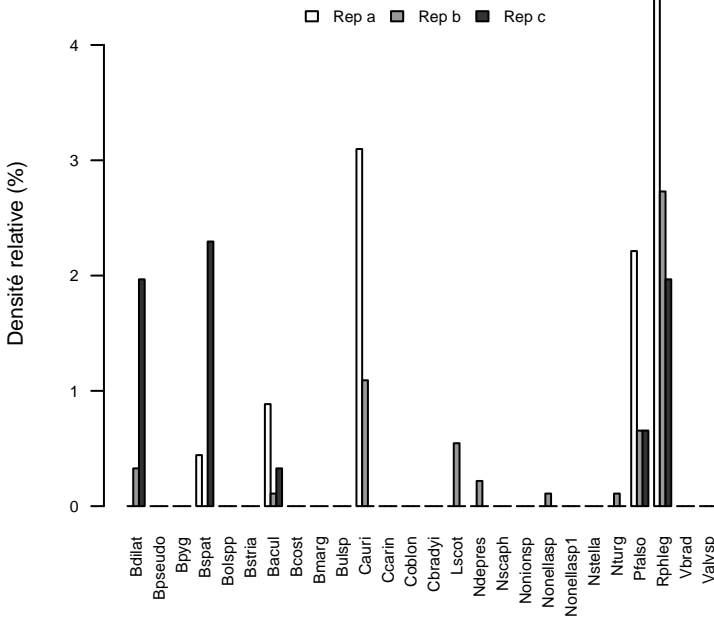
DCE 2012, LR-Paca : AntibN

des fractions 150–500 µm



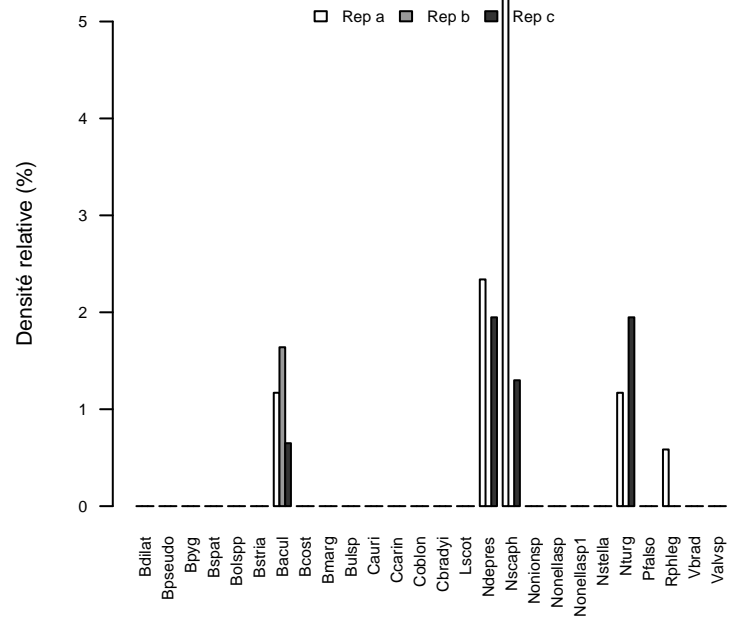
DCE 2012, LR-Paca : AntibS

des fractions 150–500 µm



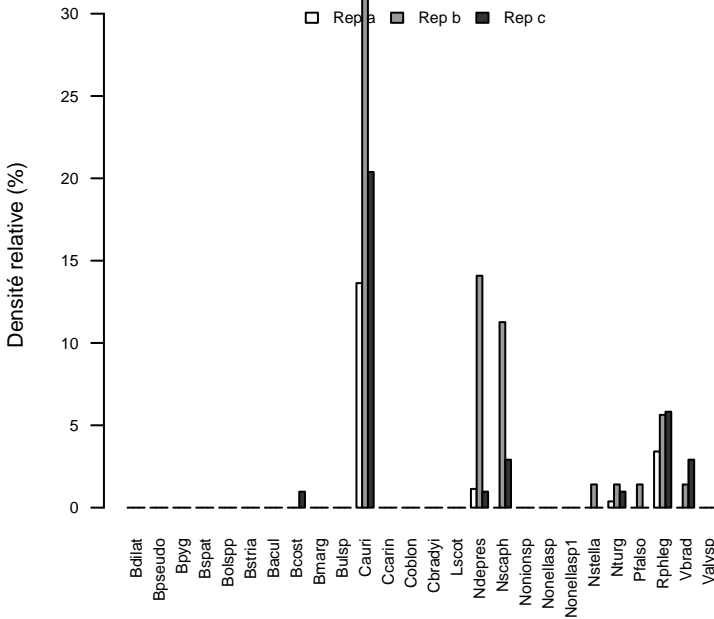
DCE 2012, LR-Paca : Bduc

des fractions 150–500 µm



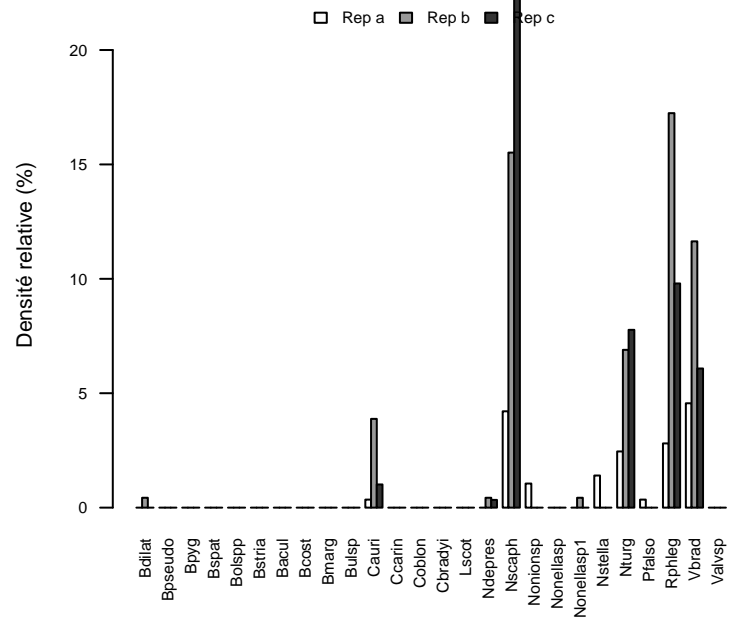
DCE 2012, LR-Paca : Carry

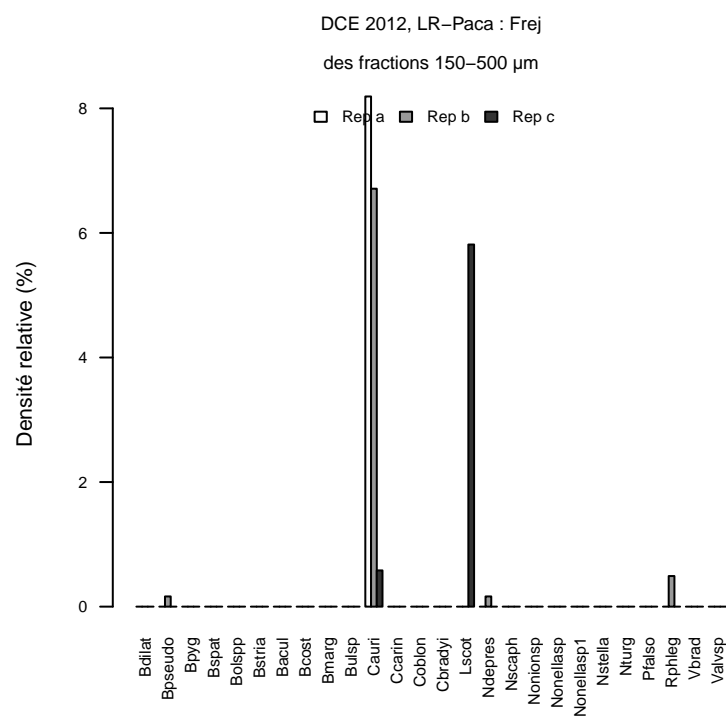
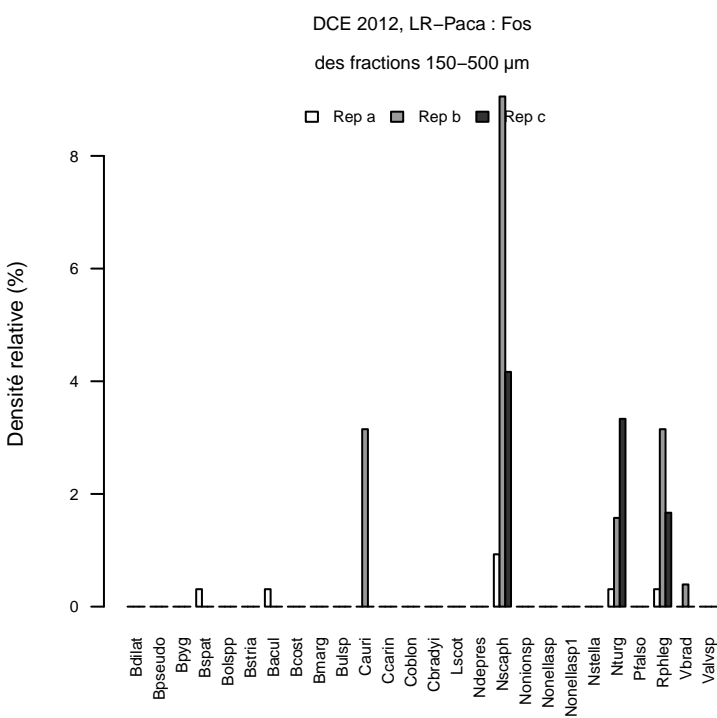
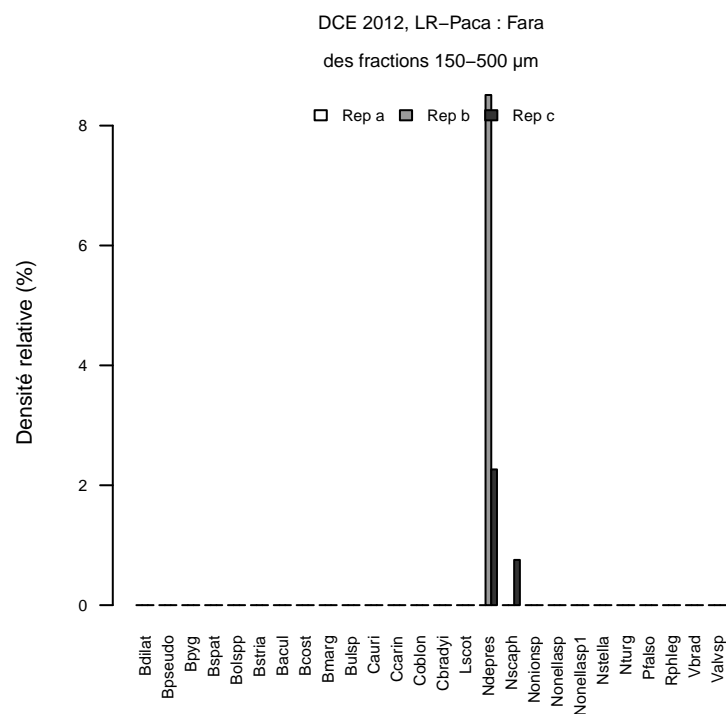
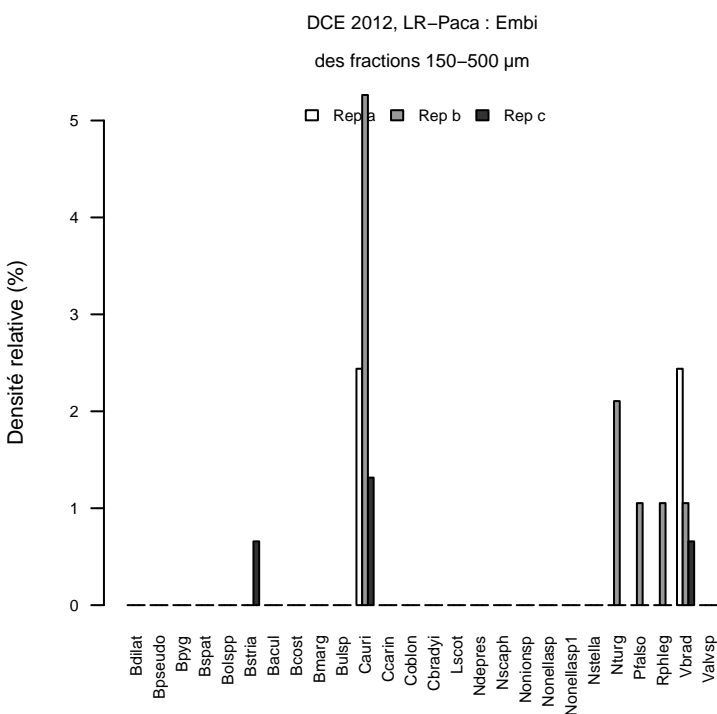
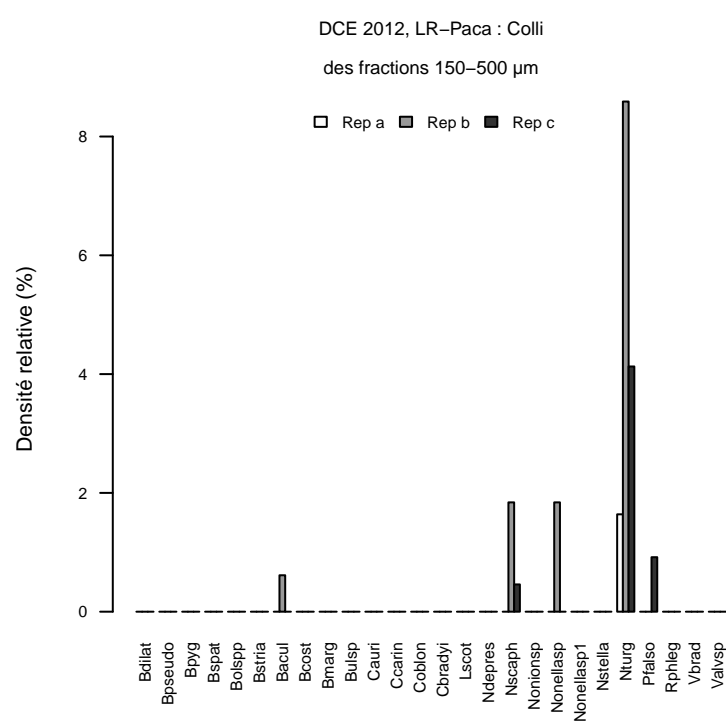
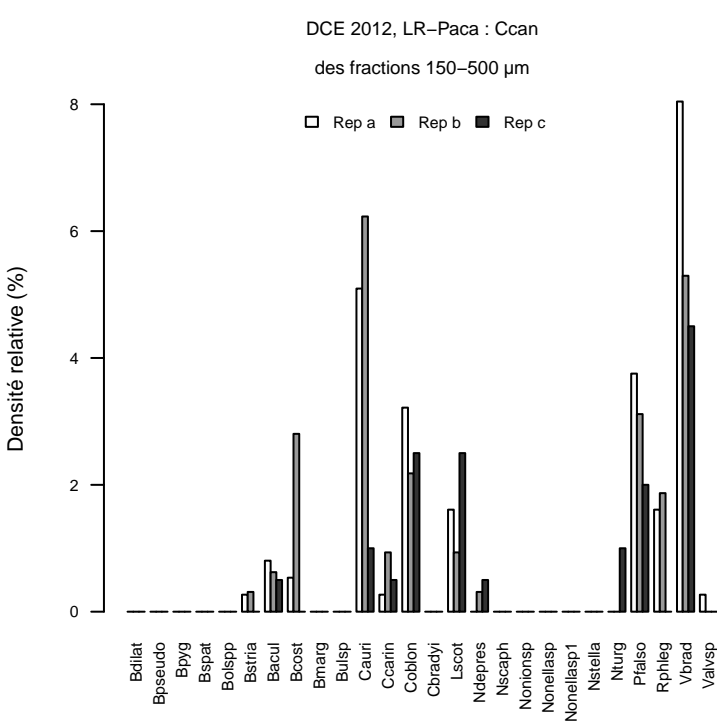
des fractions 150–500 µm

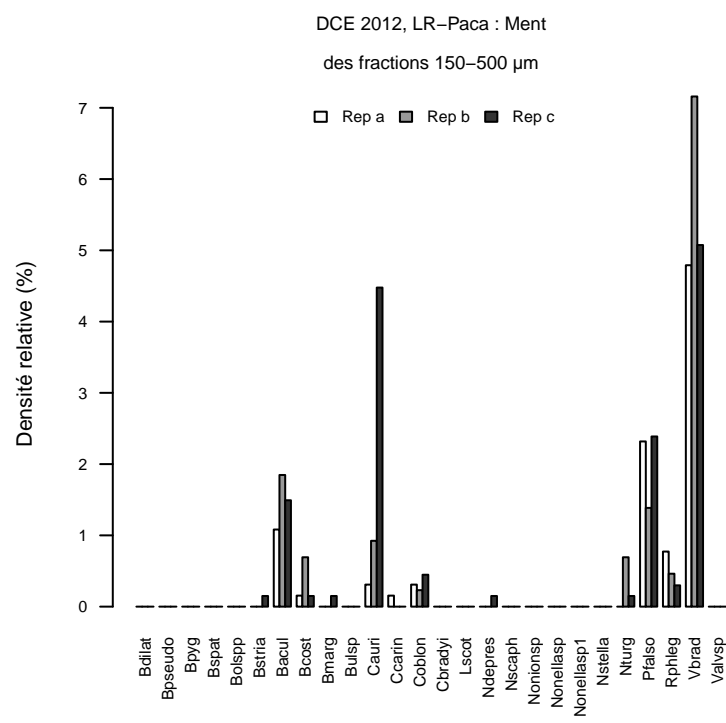
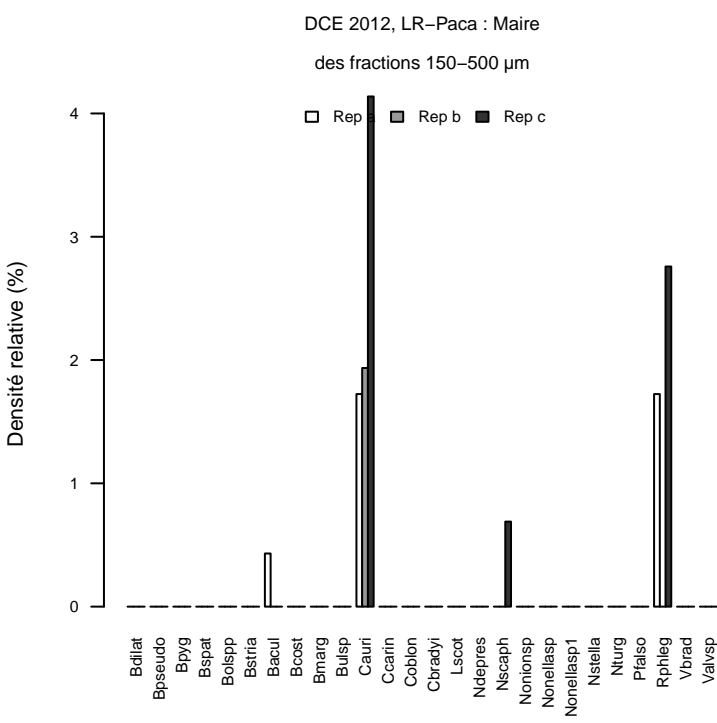
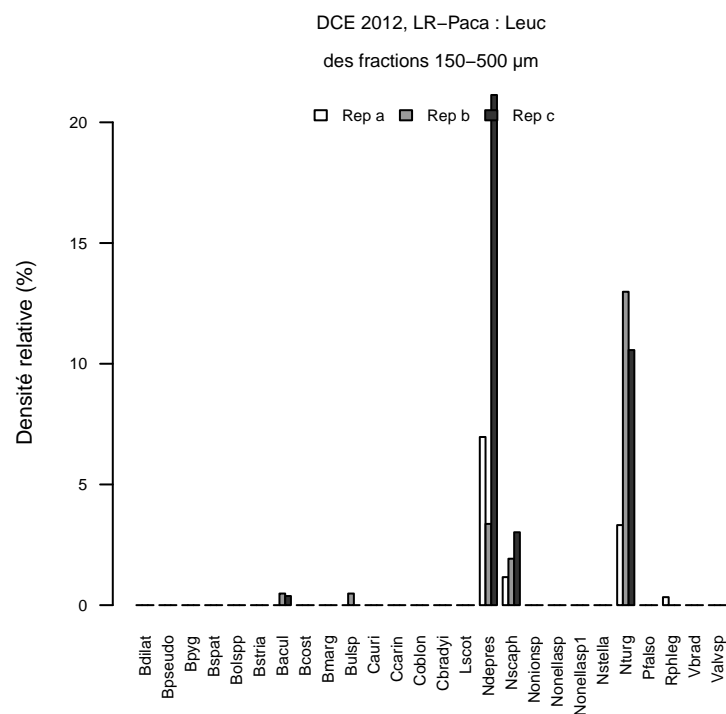
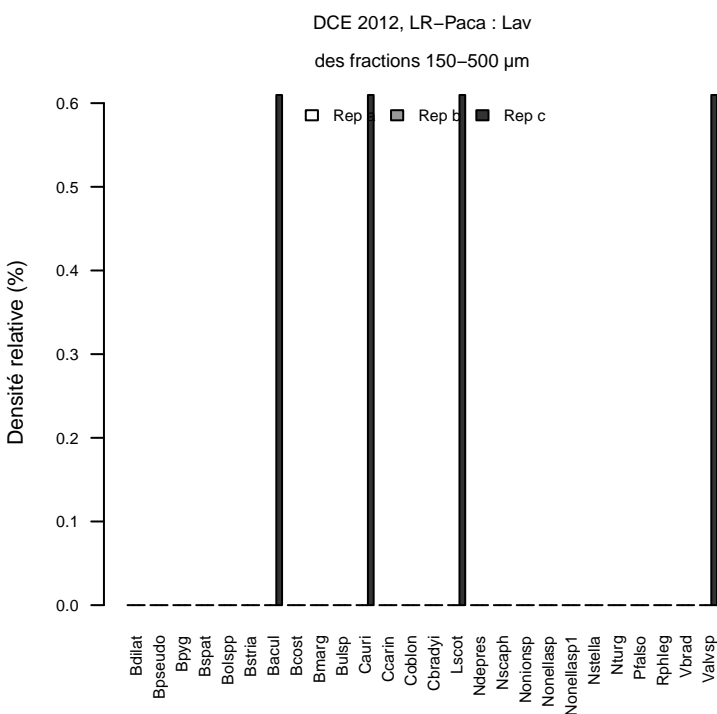
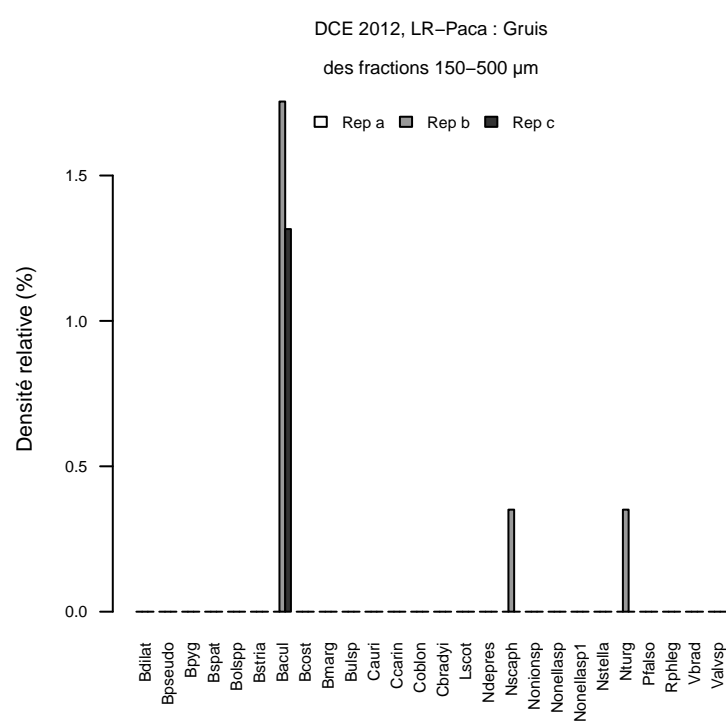
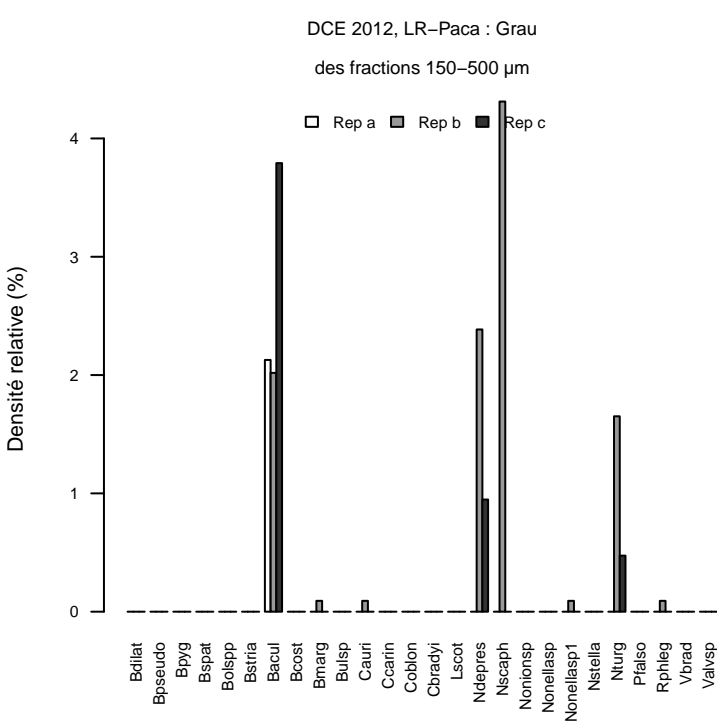


DCE 2012, LR-Paca : Cart

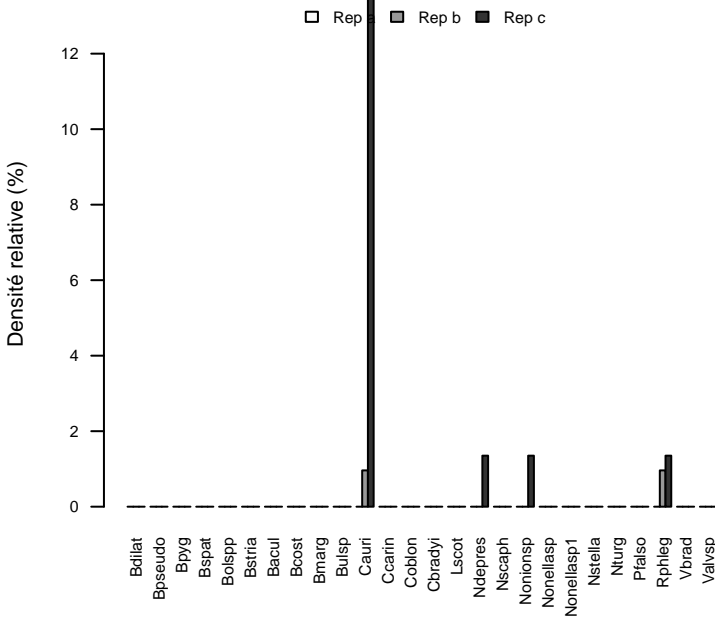
des fractions 150–500 µm



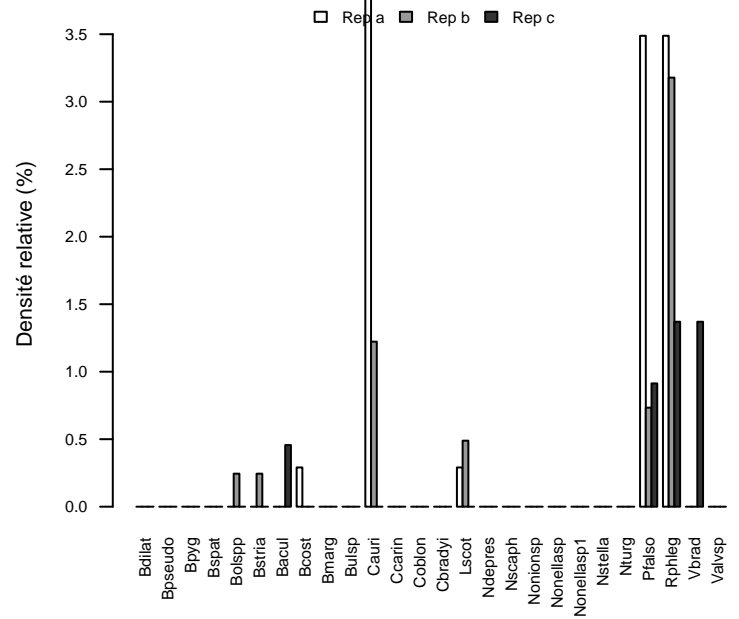




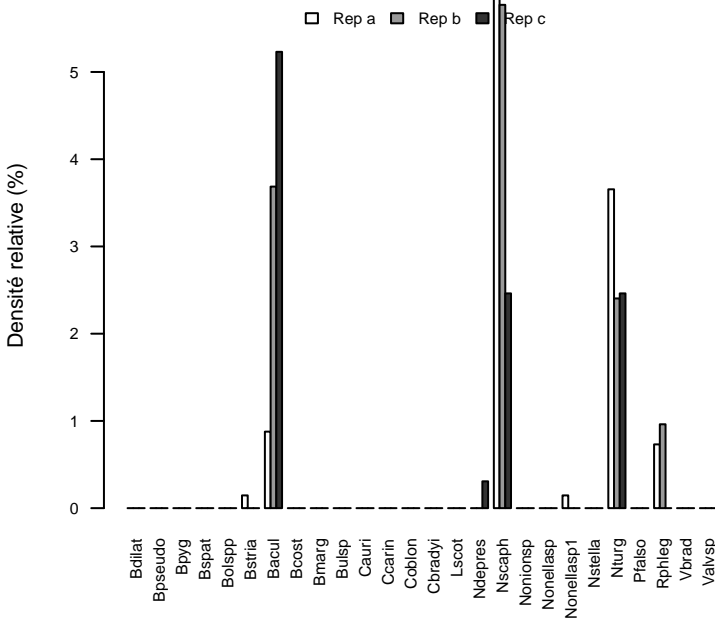
DCE 2012, LR-Paca : Pamp

des fractions 150–500 μm 

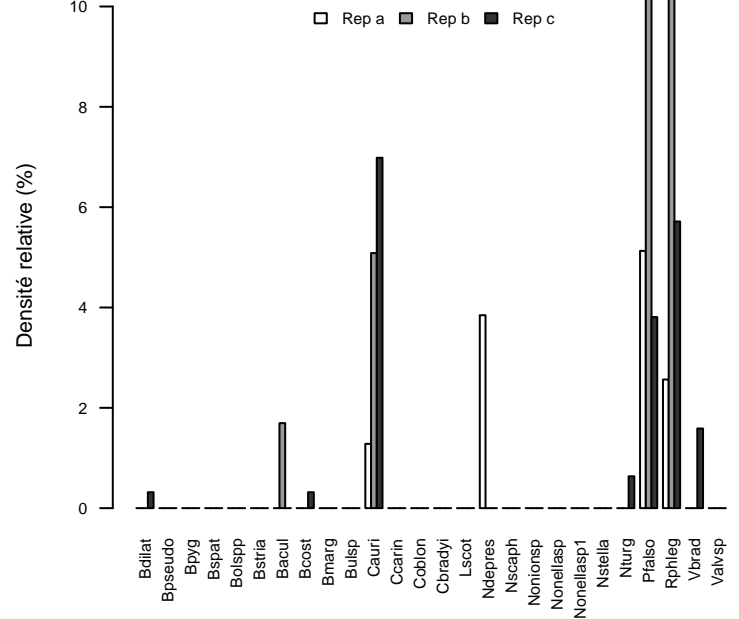
DCE 2012, LR-Paca : Plane

des fractions 150–500 μm 

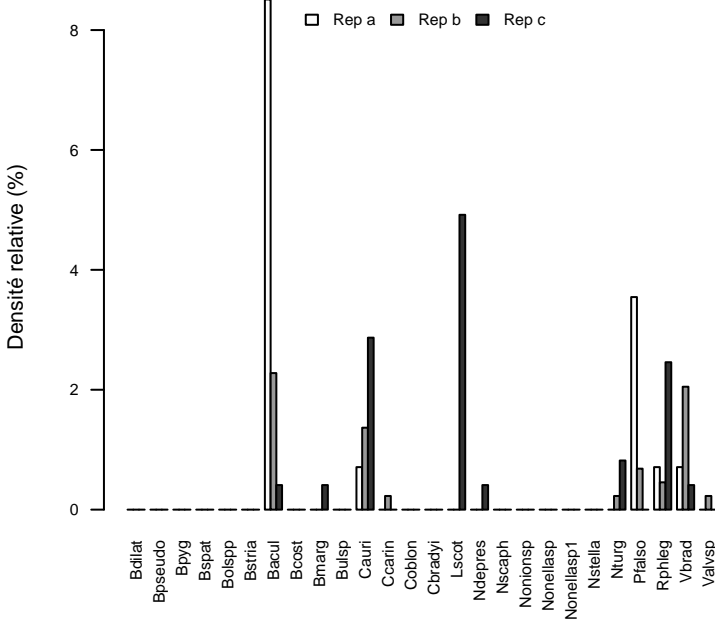
DCE 2012, LR-Paca : Sete

des fractions 150–500 μm 

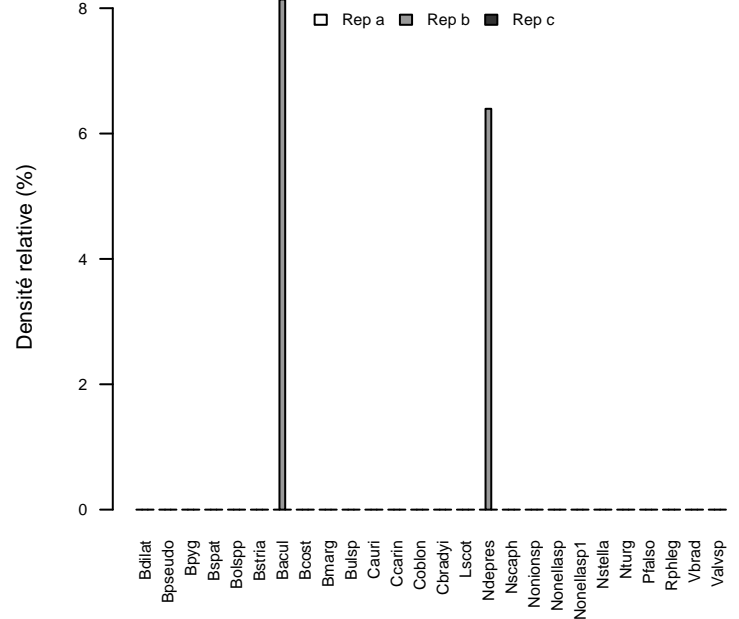
DCE 2012, LR-Paca : Toul

des fractions 150–500 μm 

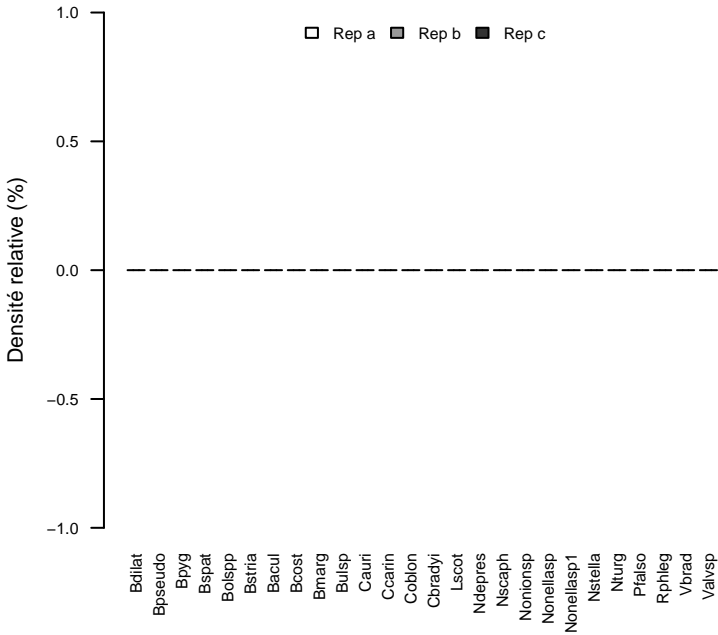
DCE 2012, LR-Paca : Vfran

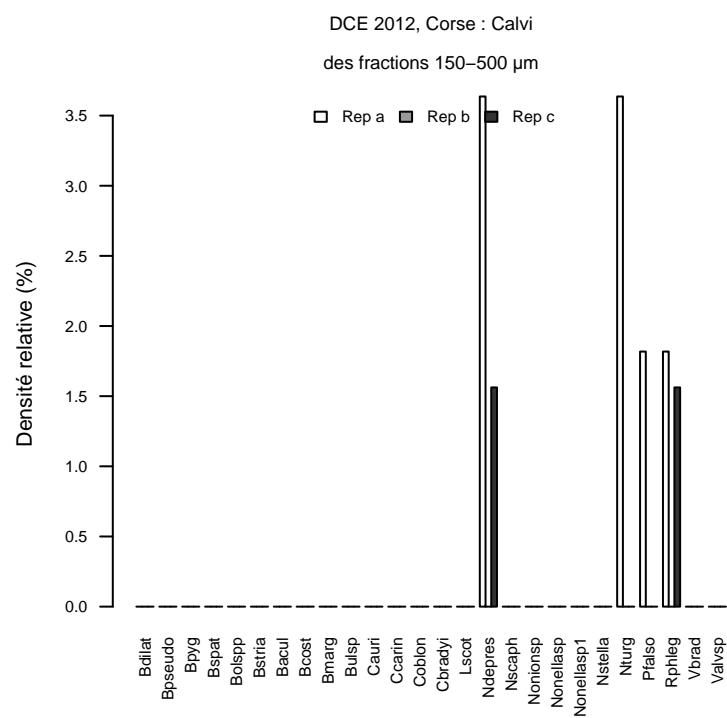
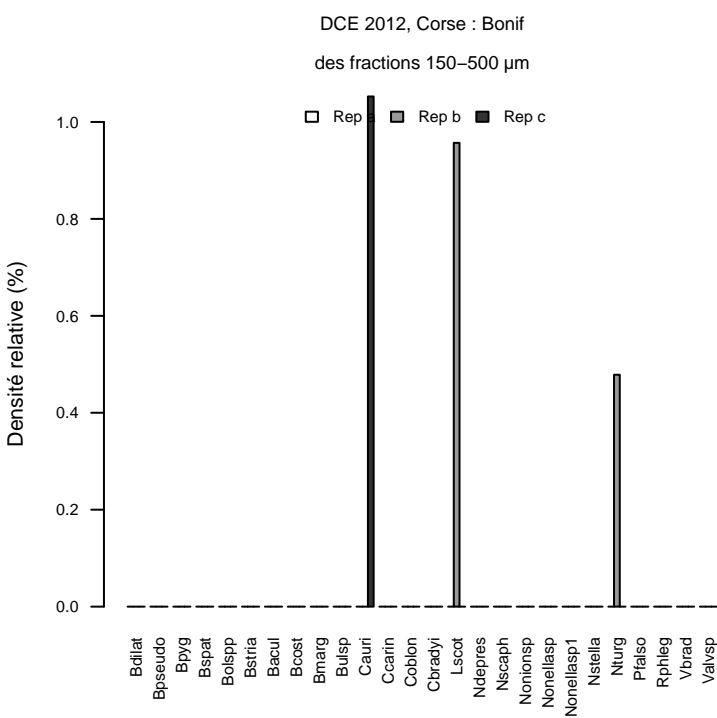
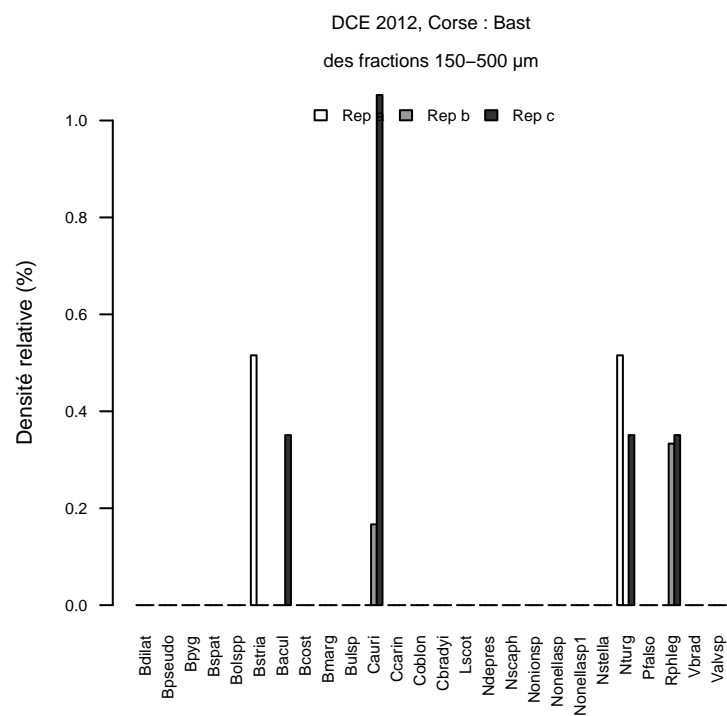
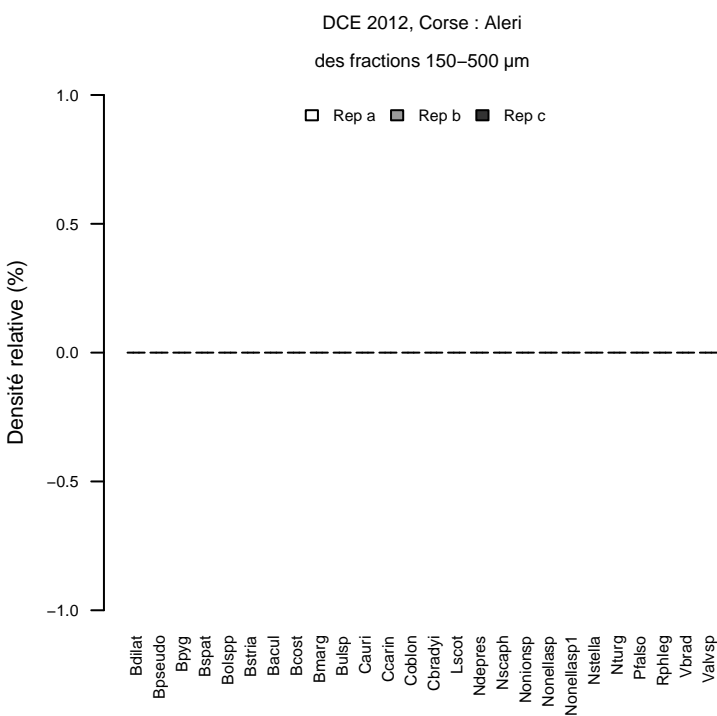
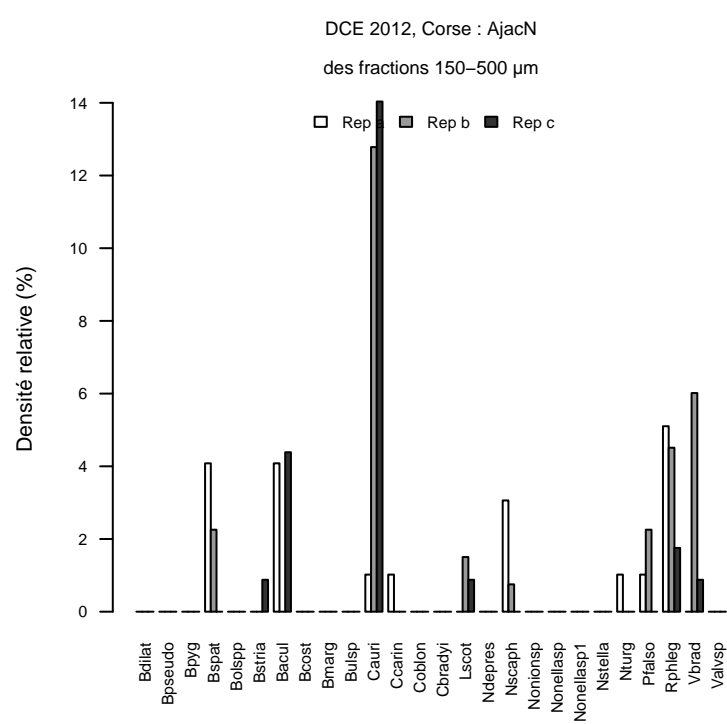
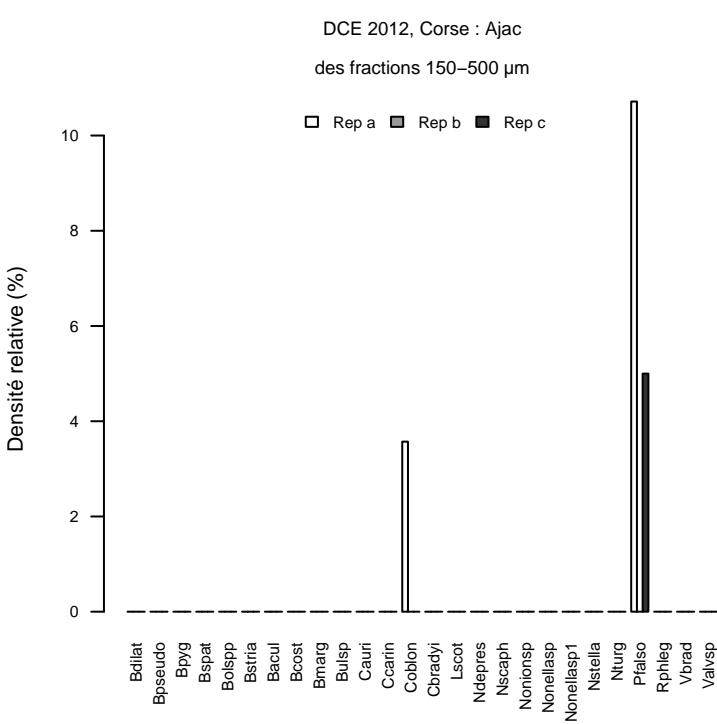
des fractions 150–500 μm 

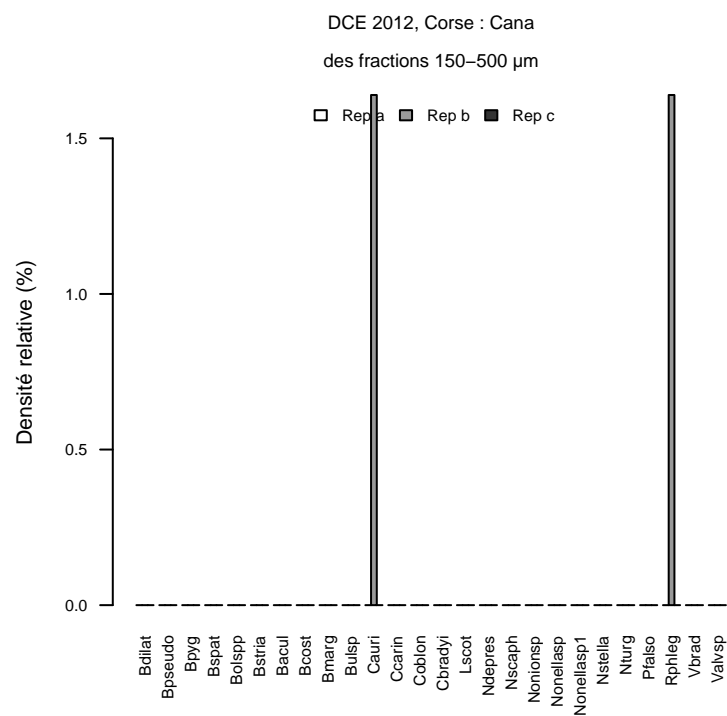
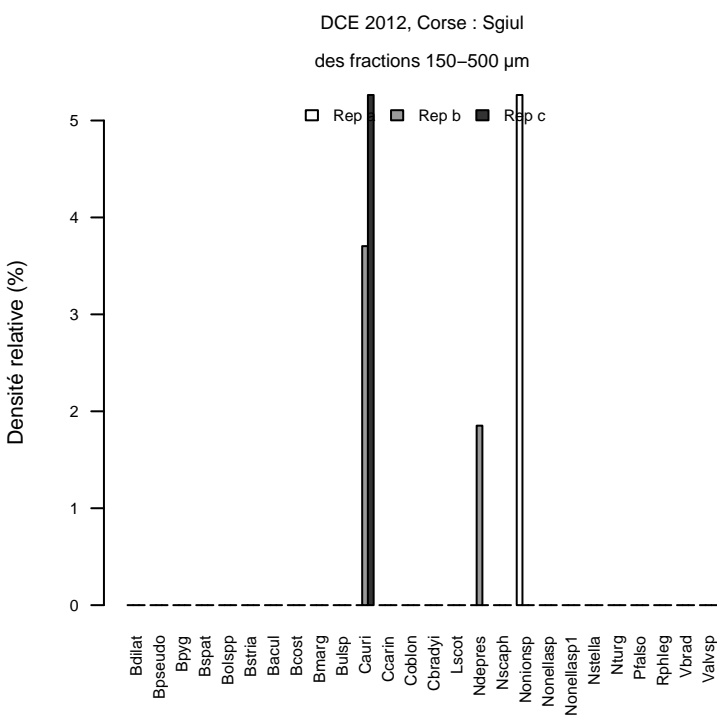
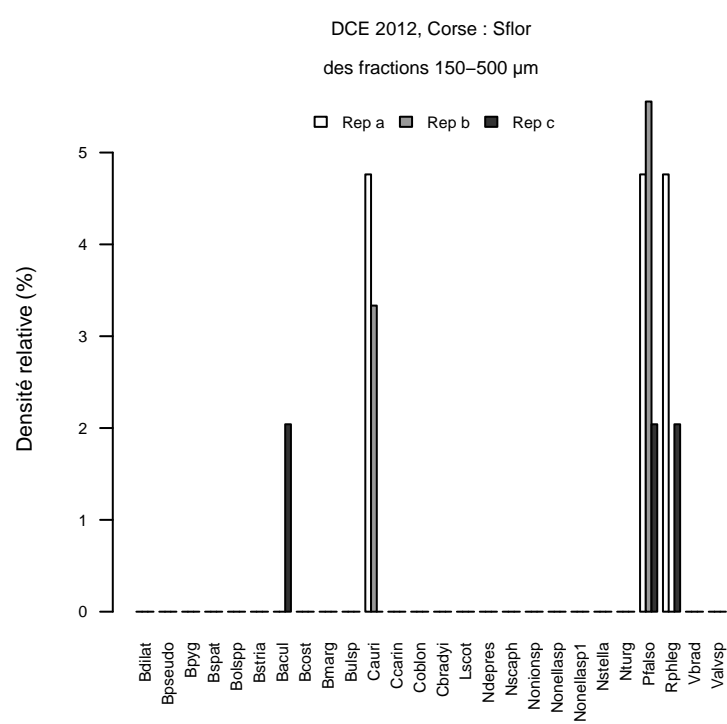
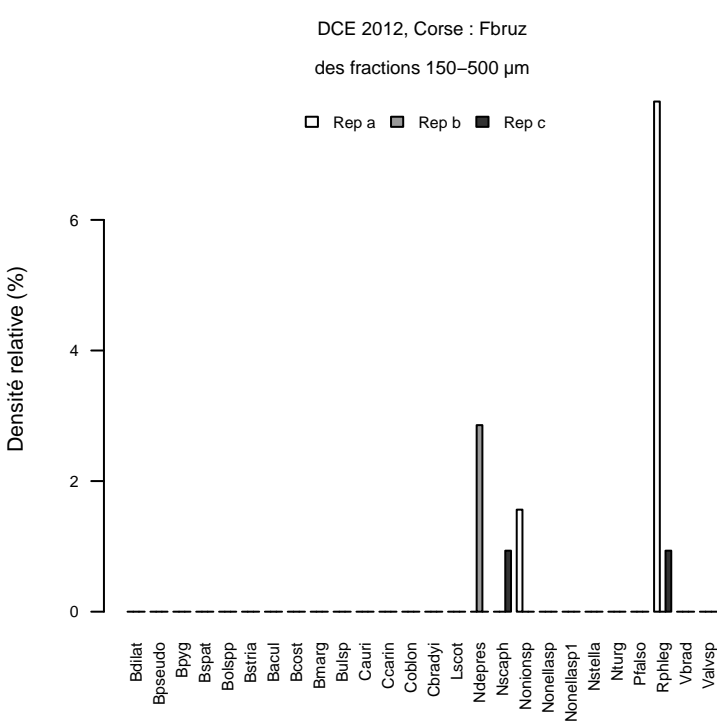
DCE 2012, LR-Paca : Nice

des fractions 150–500 μm 

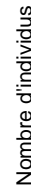
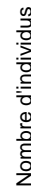
DCE 2012, LR-Paca : Porq
des fractions 150–500 µm



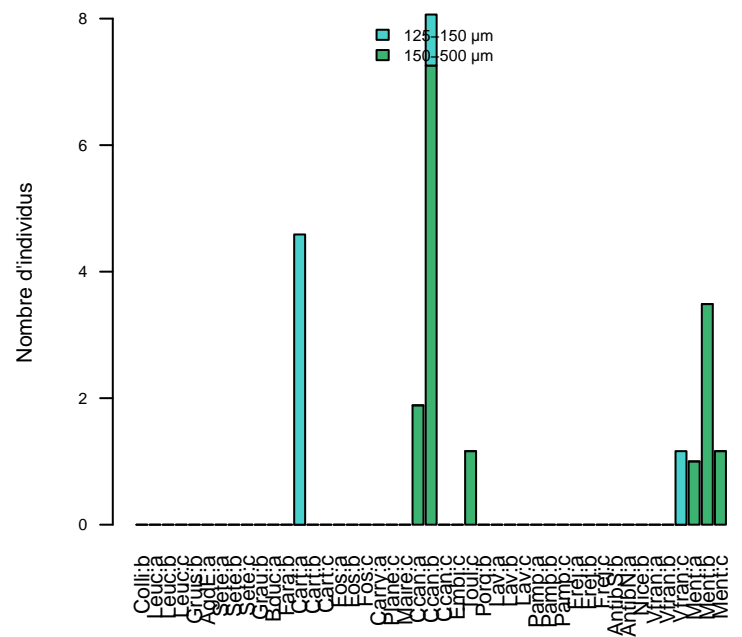




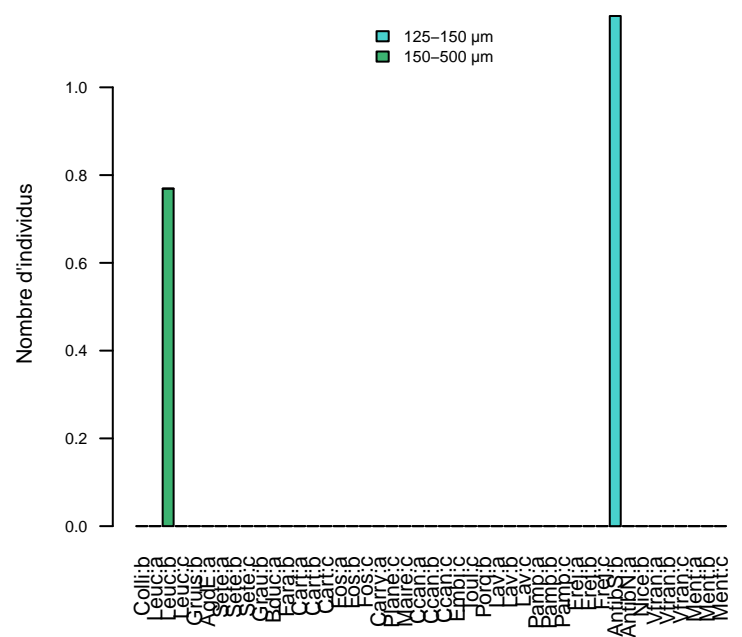
Annexe 8 : Densités standardisées (pour 50cm³) des espèces tolérantes de la zone LR-PACA puis Corse (liste mise à jour en 2012) dans la fraction 150-500µm et 125-150µm (seuls les échantillons où les 2 fractions ont été analysées sont présentés). NB : l'échelle est différente en fonction de l'espèce considérée.

des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm 

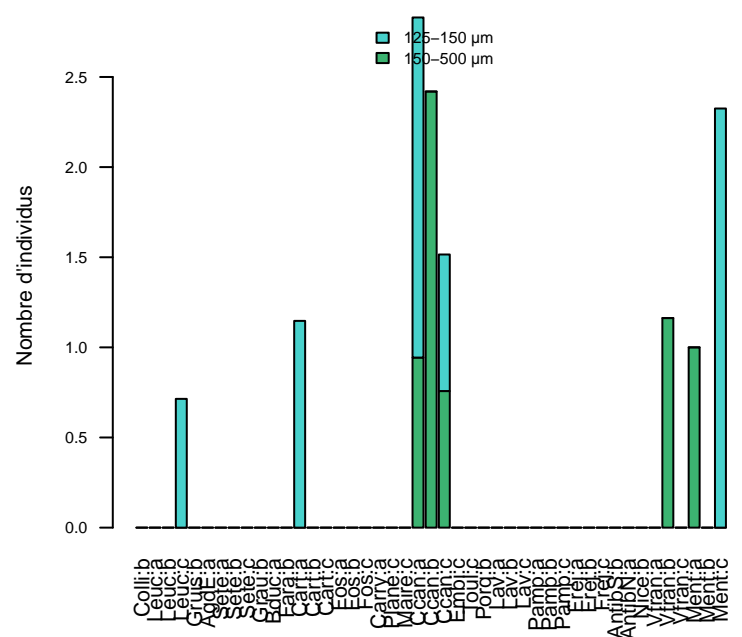
DCE 2012, LR-Paca : *Bulimina costata*

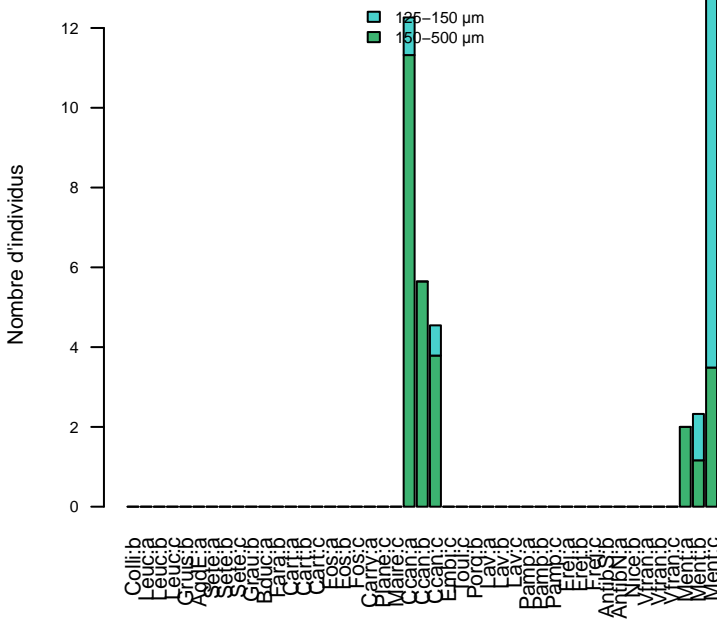
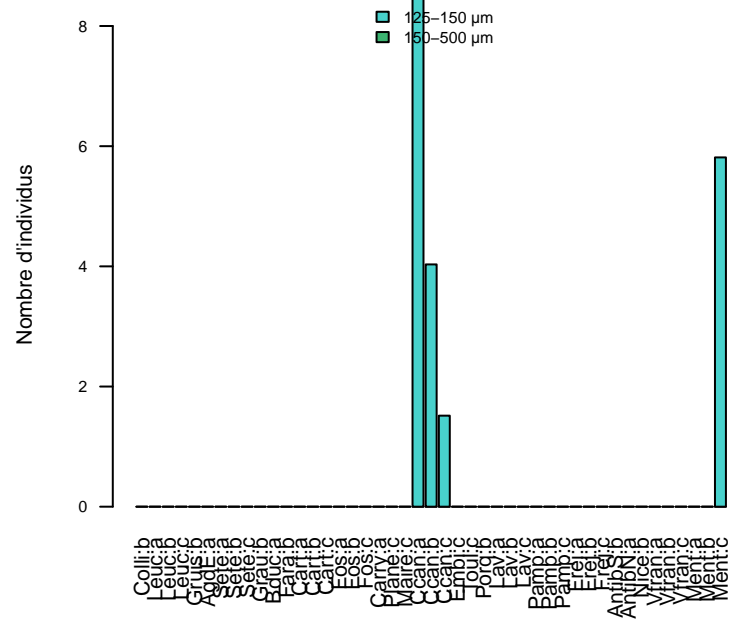
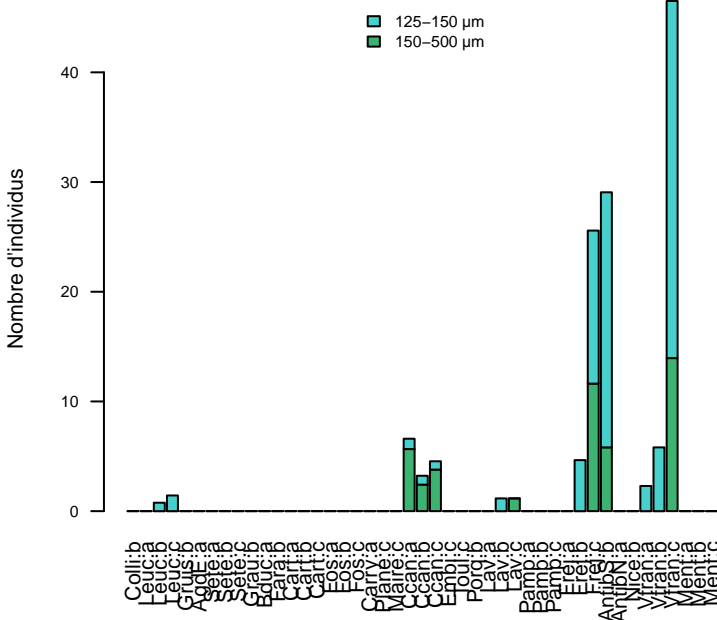
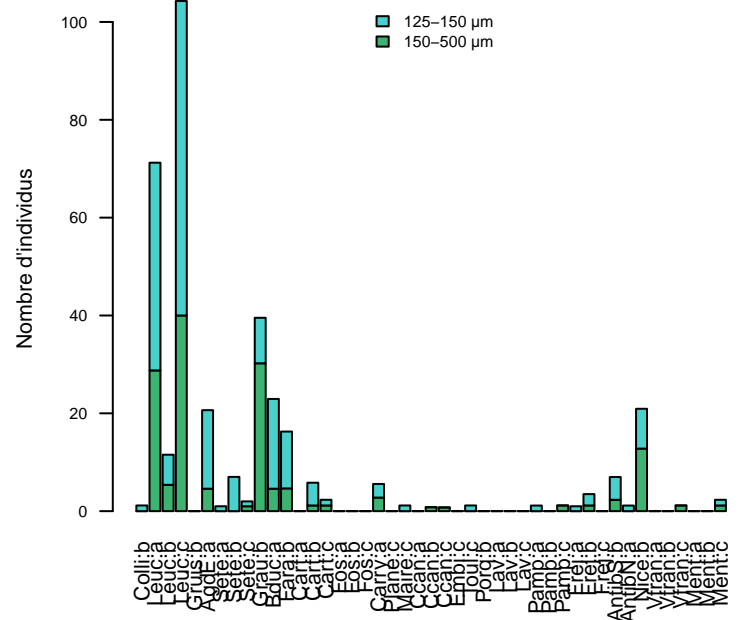
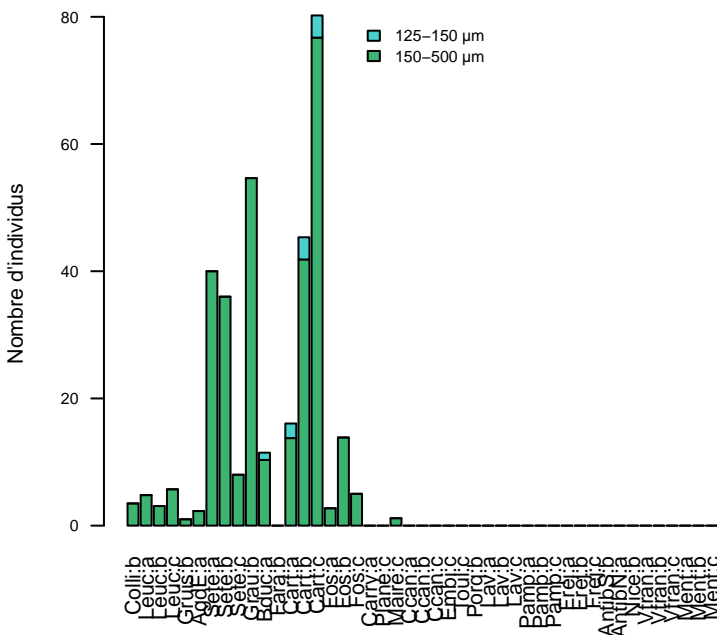
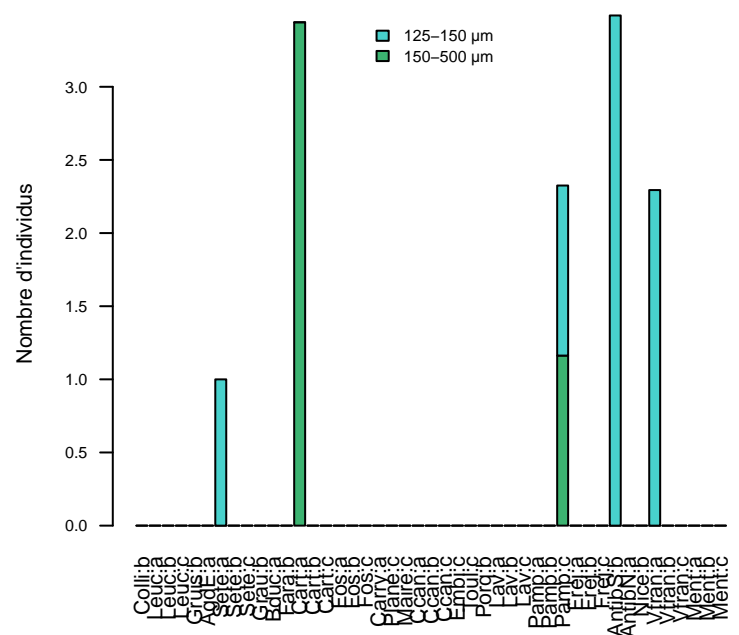
des fractions 125–150 μm & 150–500 μm 

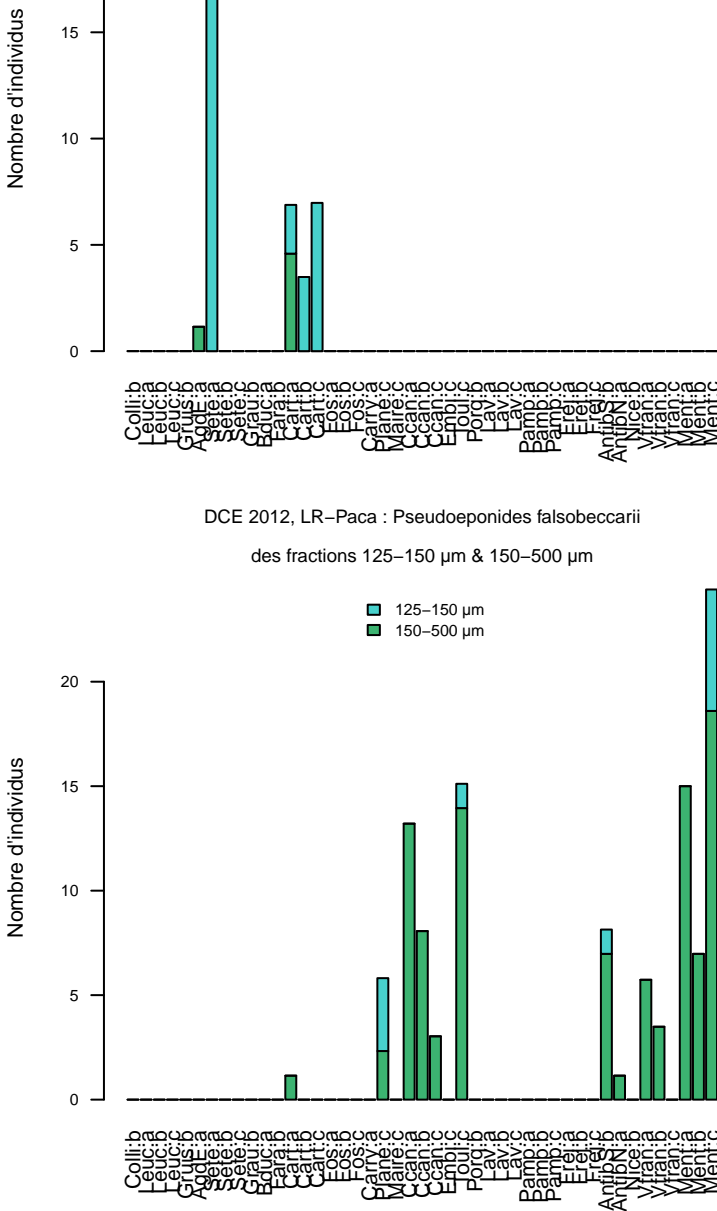
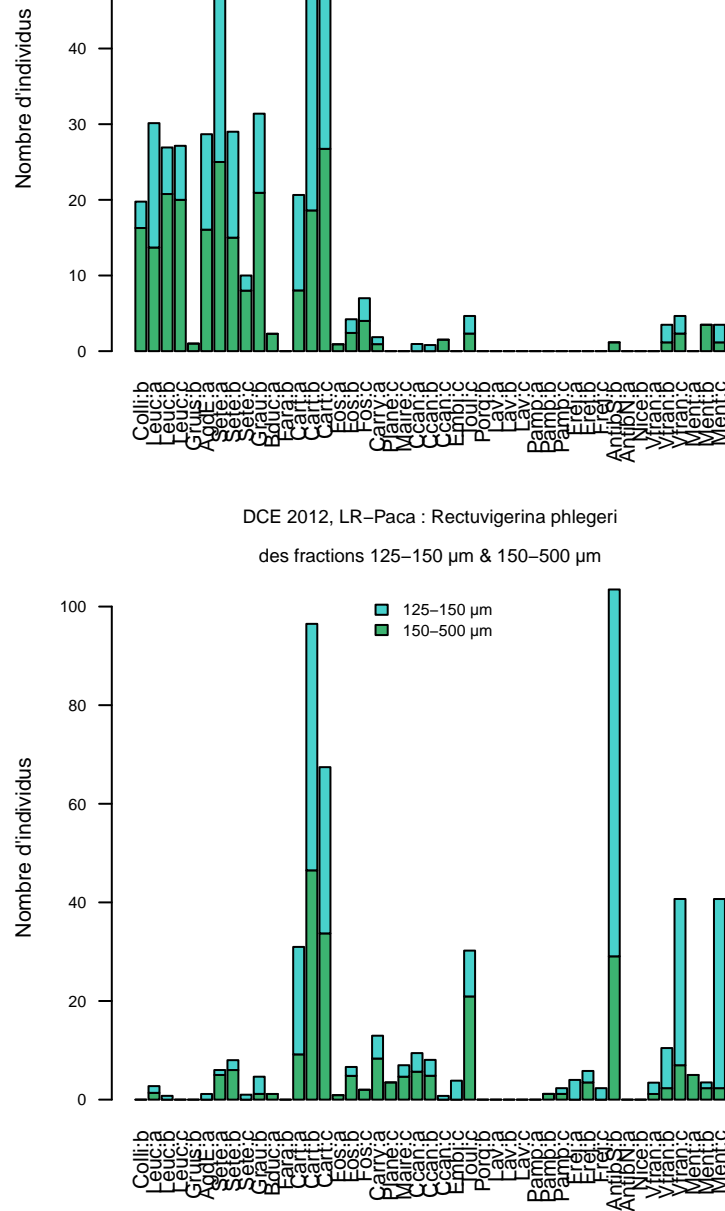
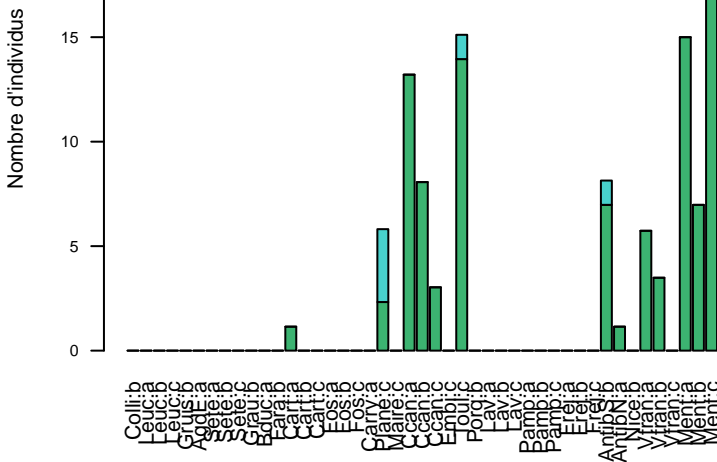
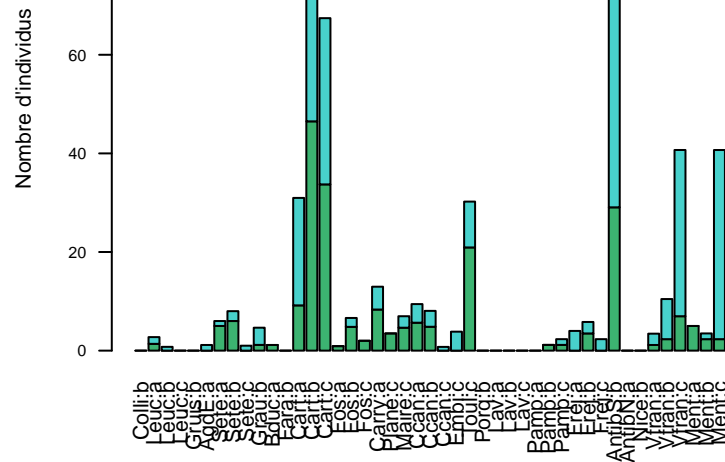
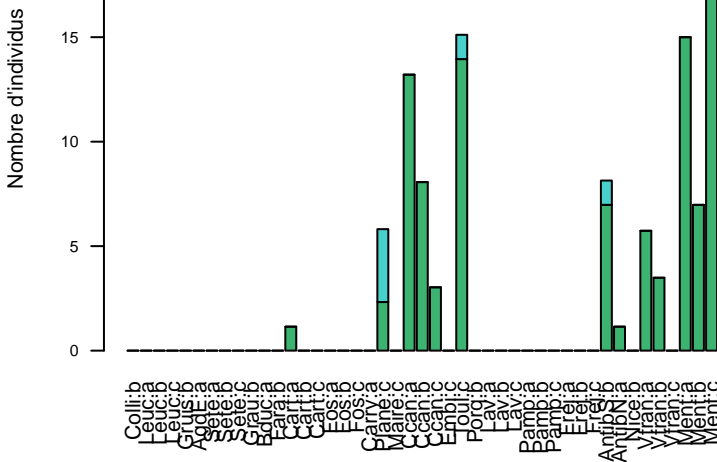
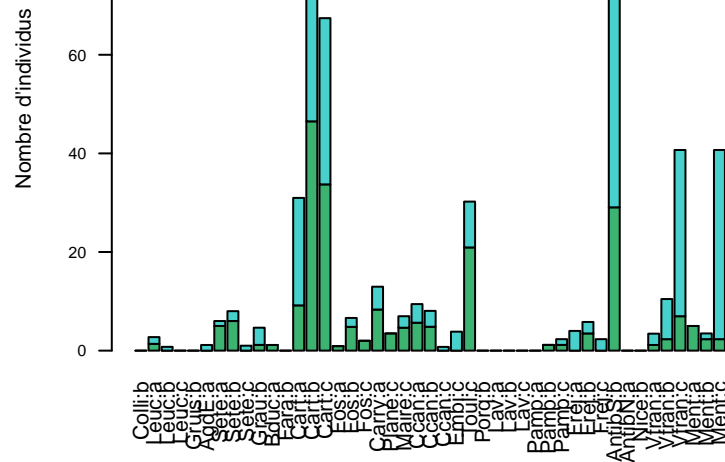
DCE 2012, LR-Paca : Bulimina sp.

des fractions 125–150 μm & 150–500 μm 

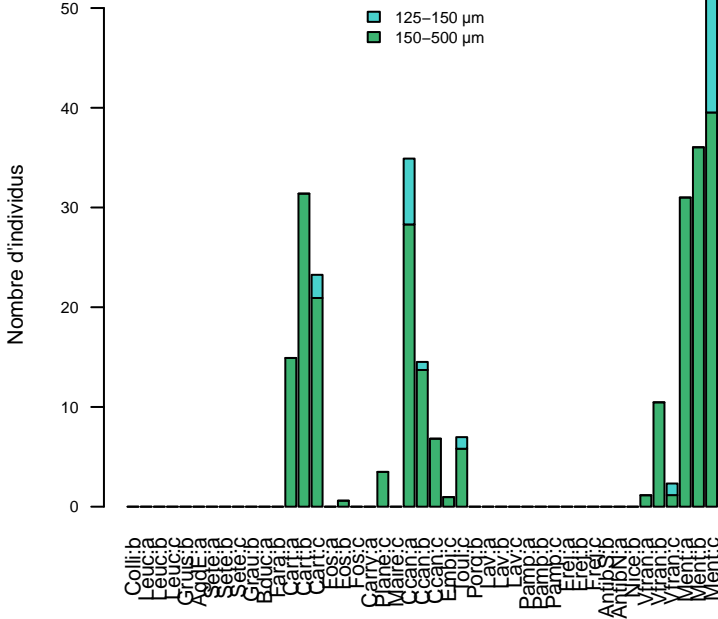
DCE 2012, LR-Paca : *Cassidulina carinata*

des fractions 125–150 μm & 150–500 μm 

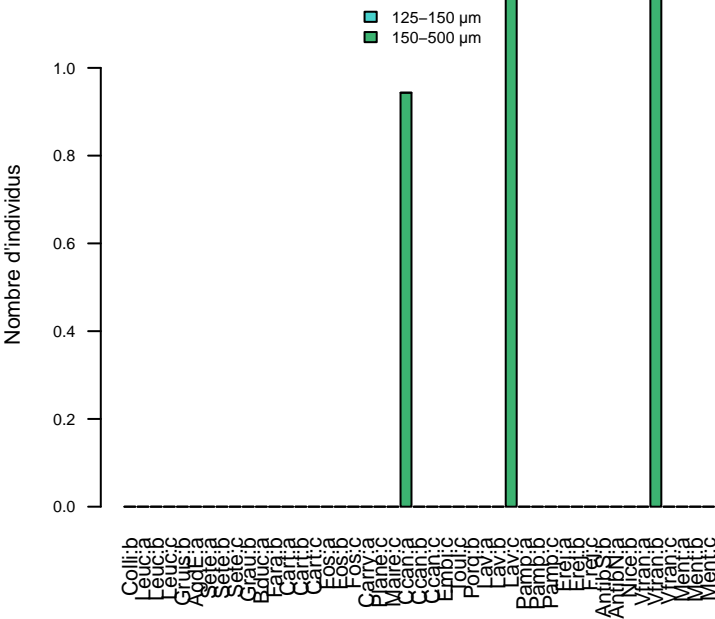
des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm 

des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm des fractions 125–150 μm & 150–500 μm 

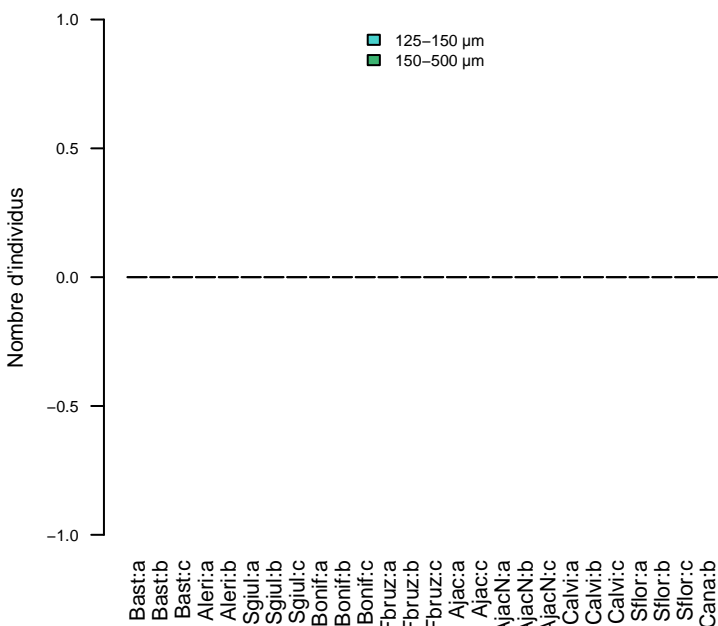
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm



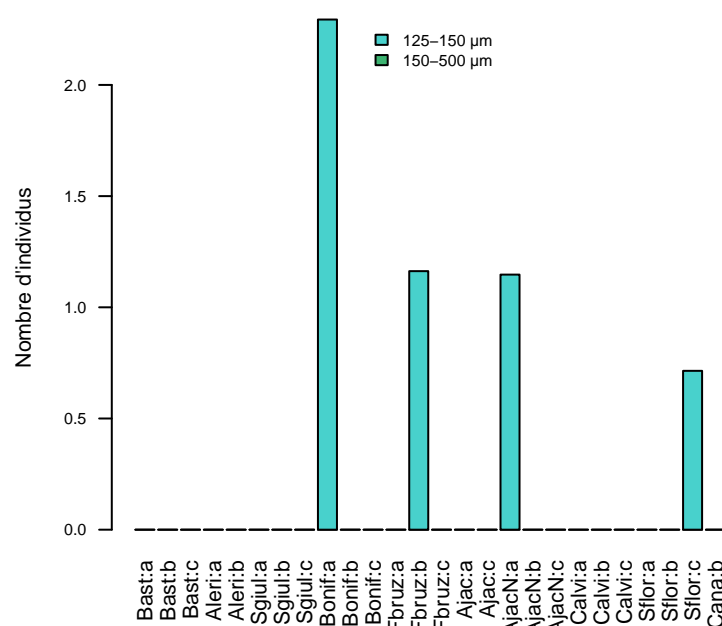
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm



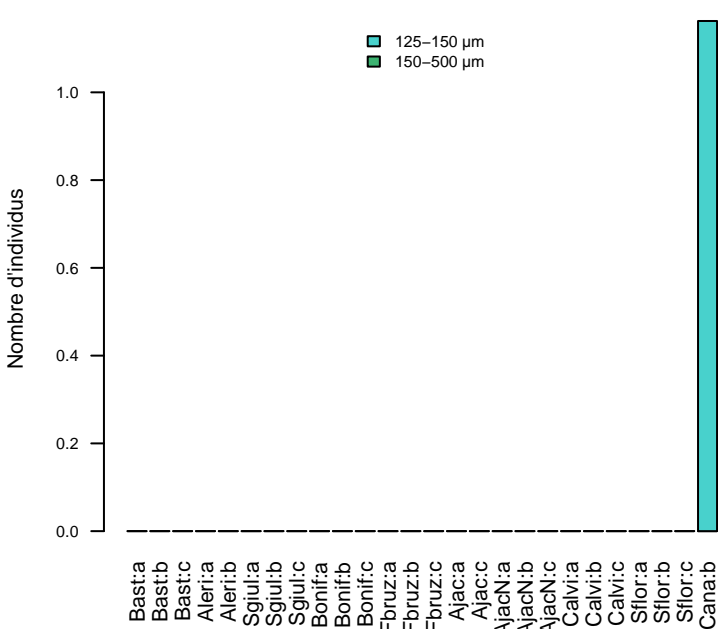
DCE 2012, Corse : *Bolivina dilatata*
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm



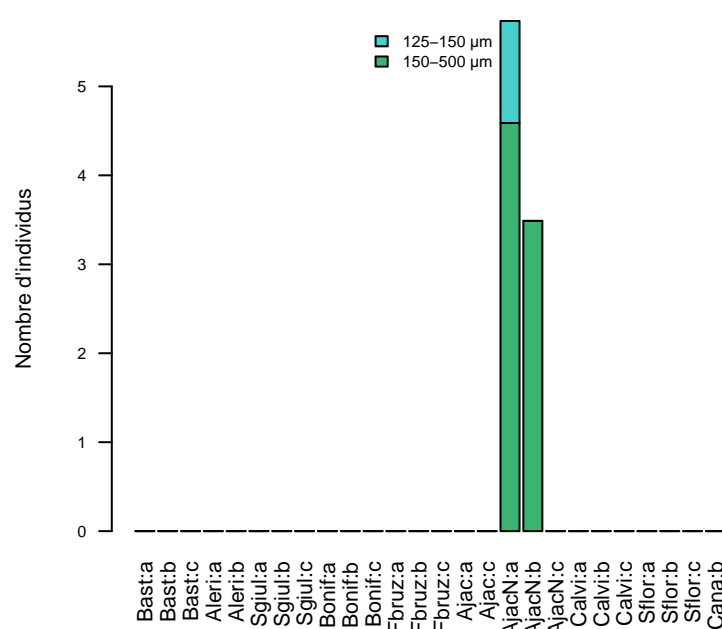
DCE 2012, Corse : *Bolivina pseudoplicata*
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm



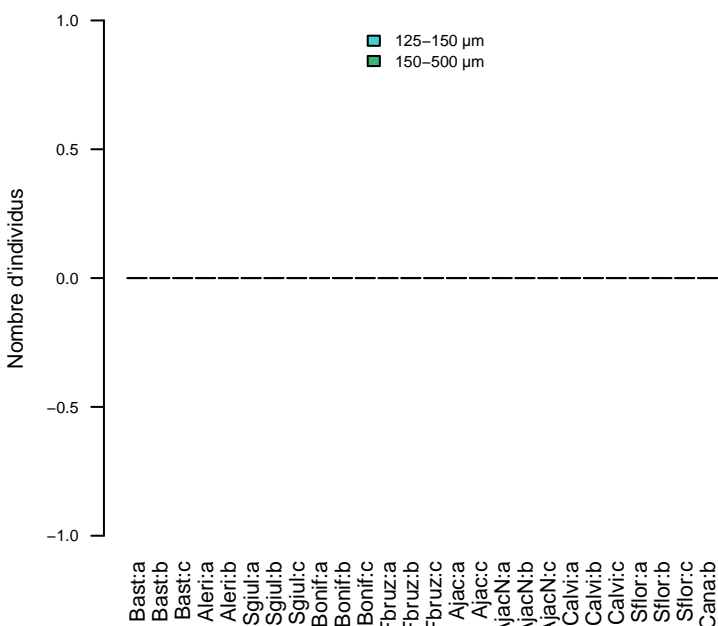
DCE 2012, Corse : *Bolivina pygmaea*
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm



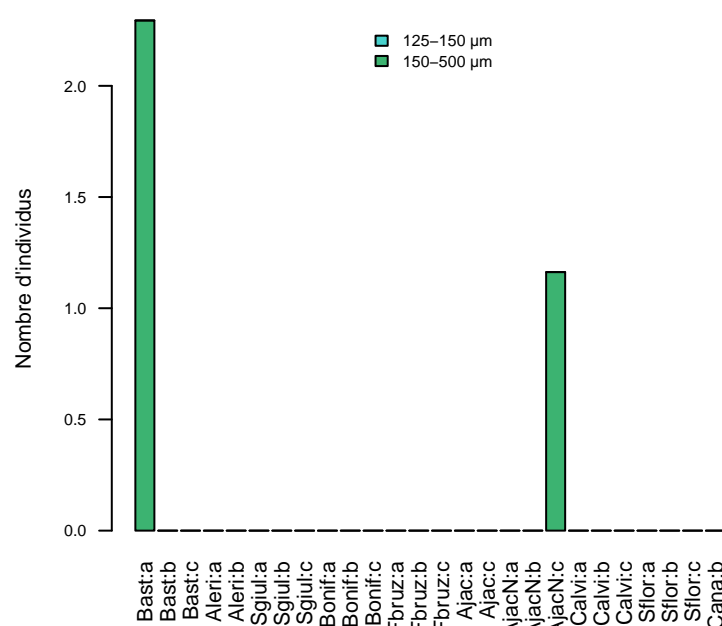
DCE 2012, Corse : *Bolivina spathulata*
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm



DCE 2012, Corse : *Bolivina* spp.
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

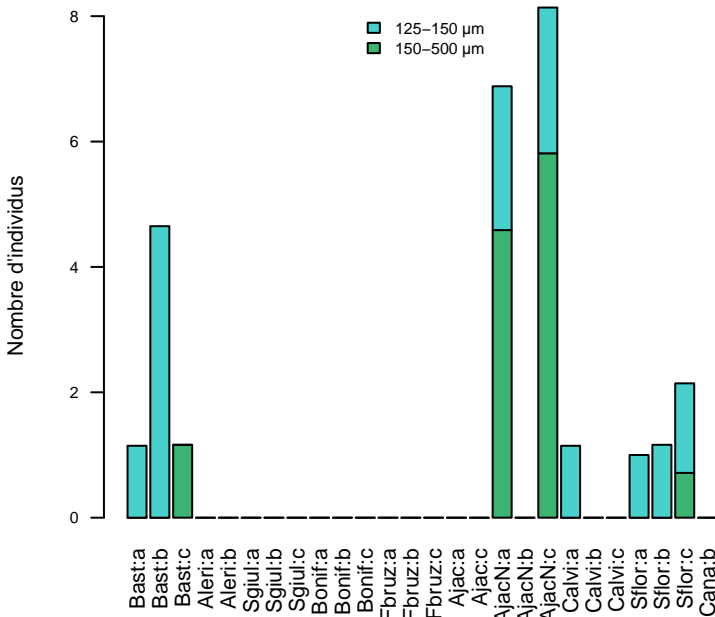


DCE 2012, Corse : *Bolivina striatula*
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

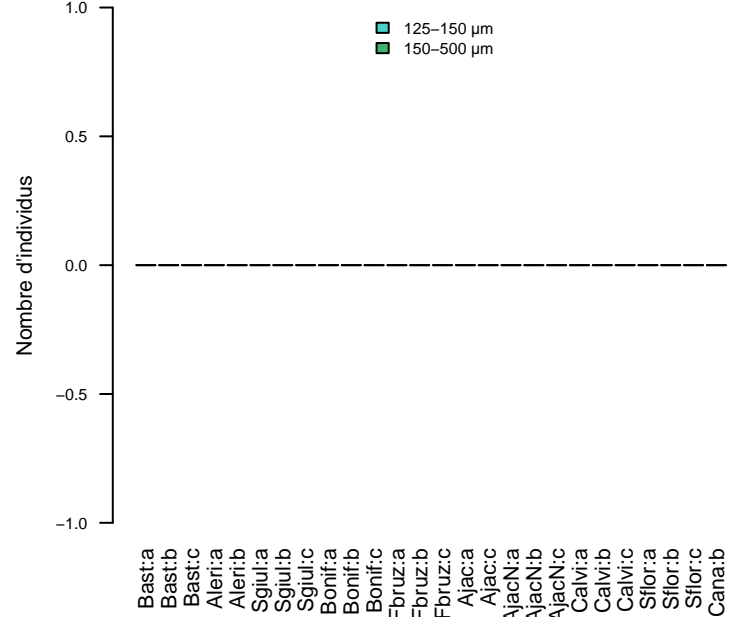


DCE 2012, Corse : *Bulimina aculeata*

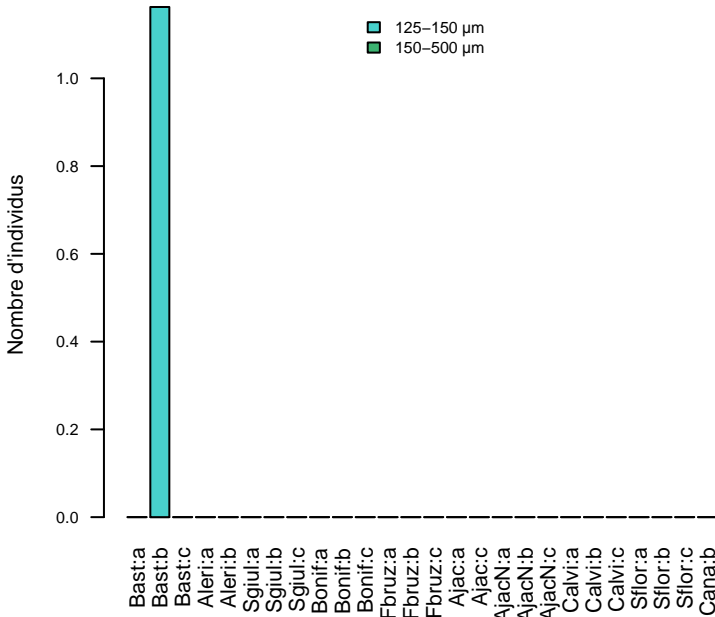
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

DCE 2012, Corse : *Bulimina costata*

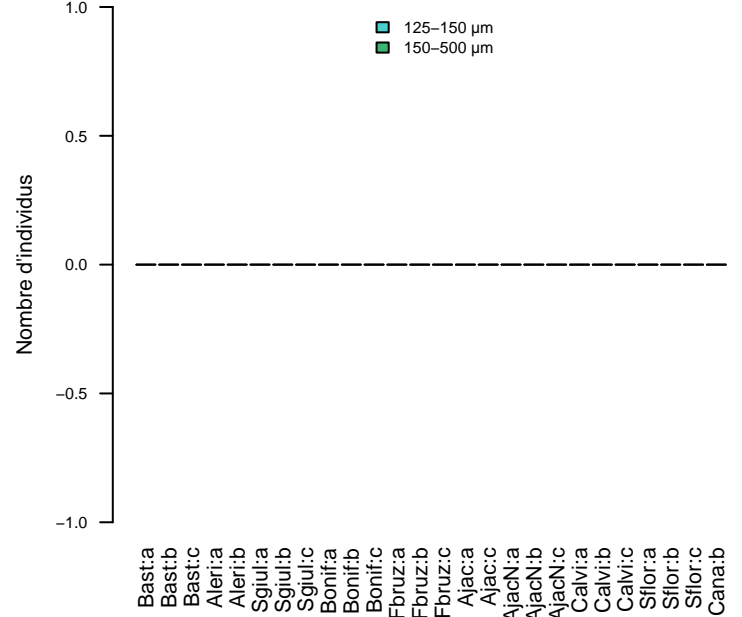
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

DCE 2012, Corse : *Bulimina marginata*

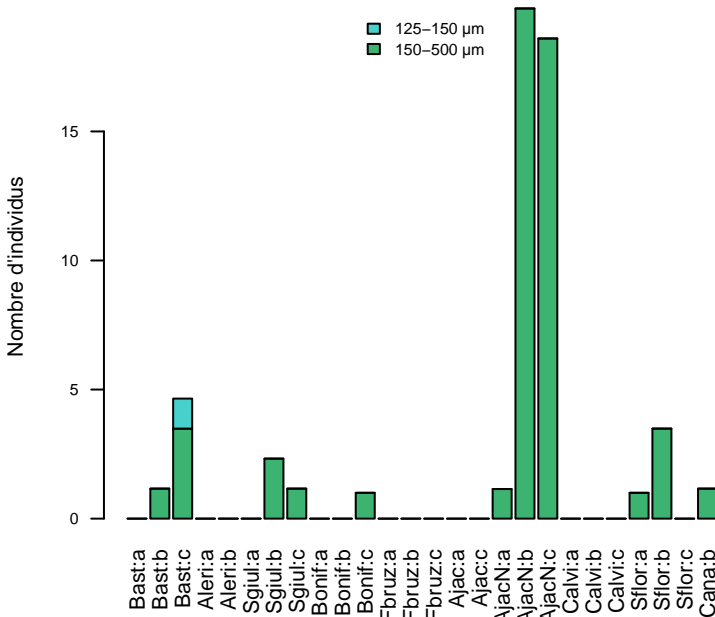
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

DCE 2012, Corse : *Bulimina* sp.

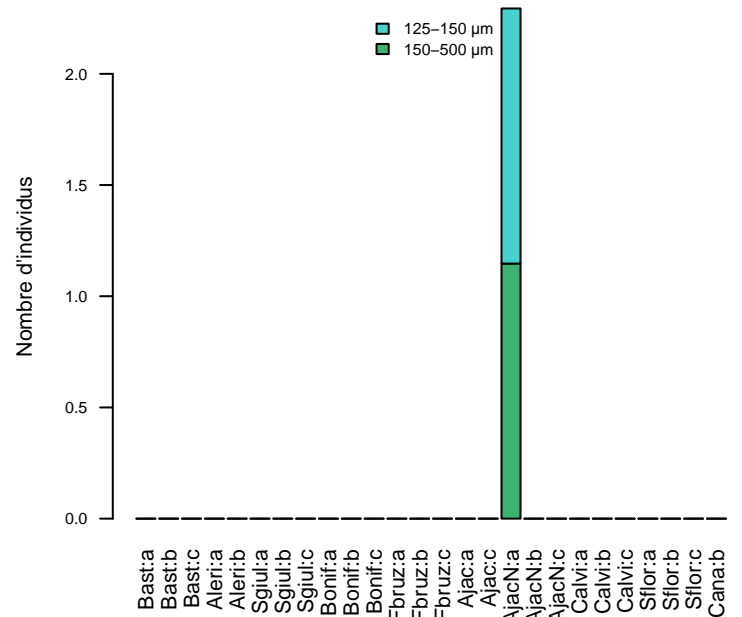
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

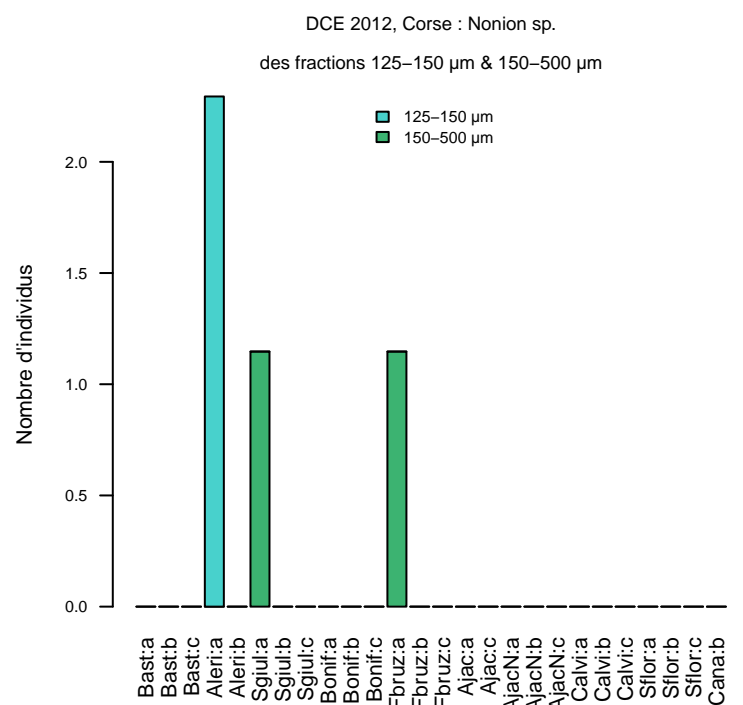
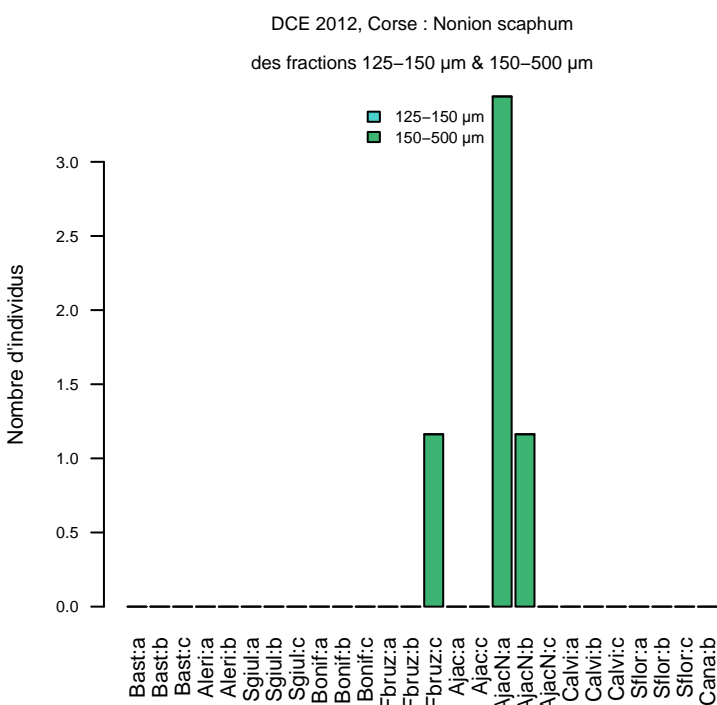
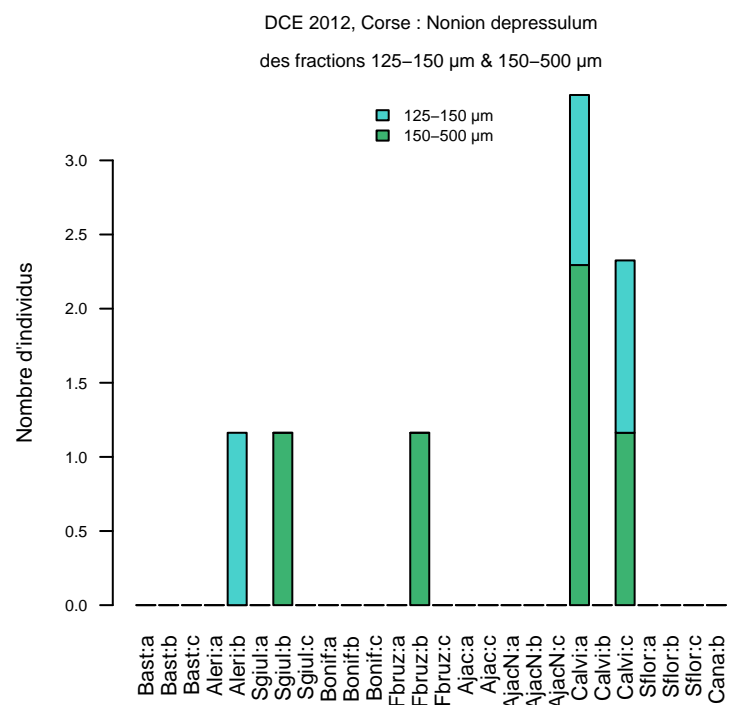
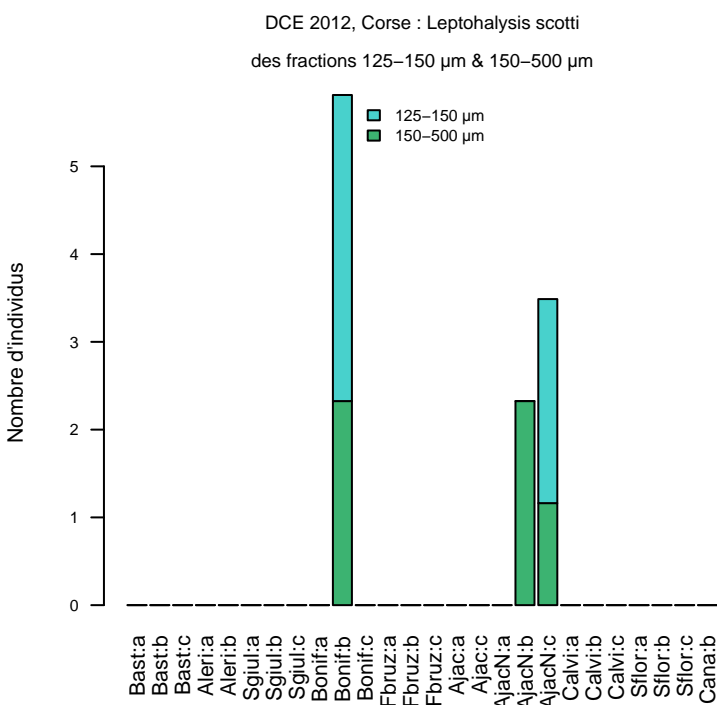
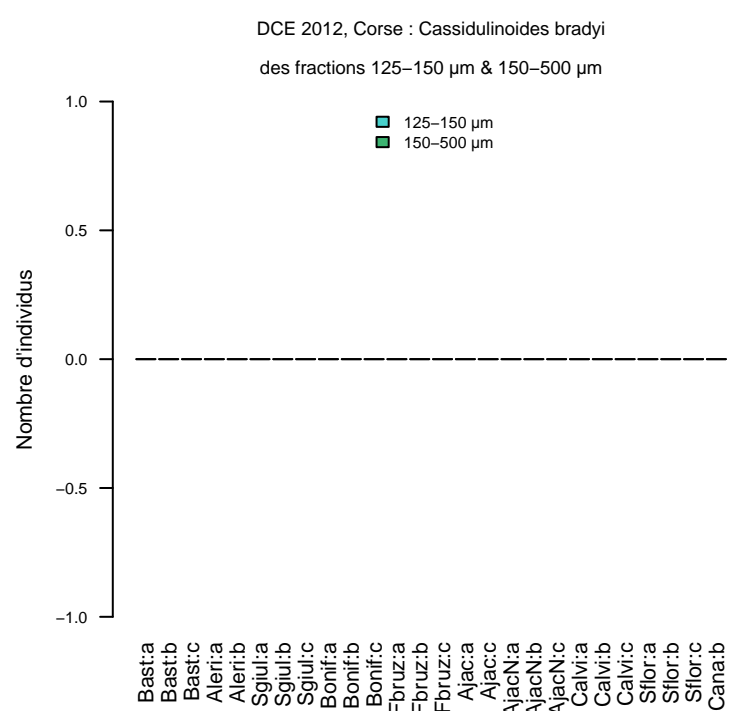
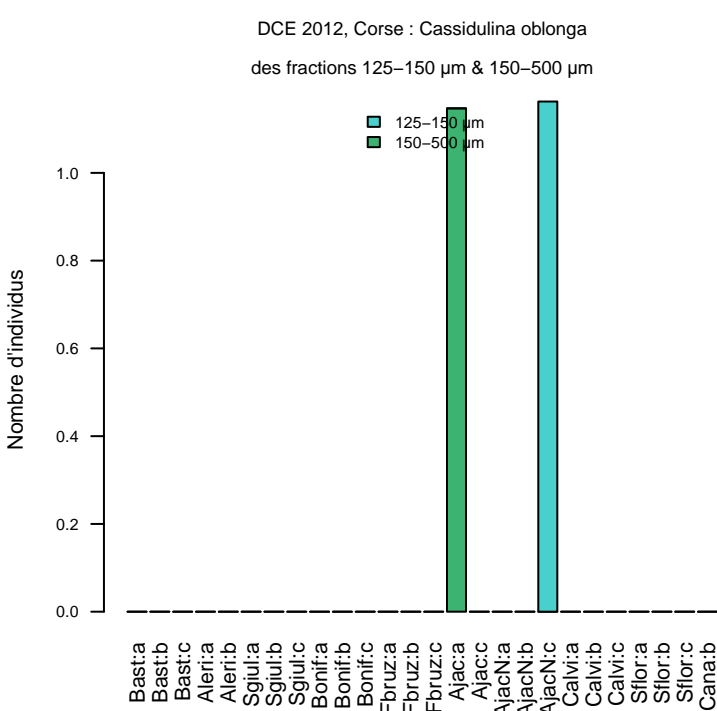
DCE 2012, Corse : *Cancris auriculus*

des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

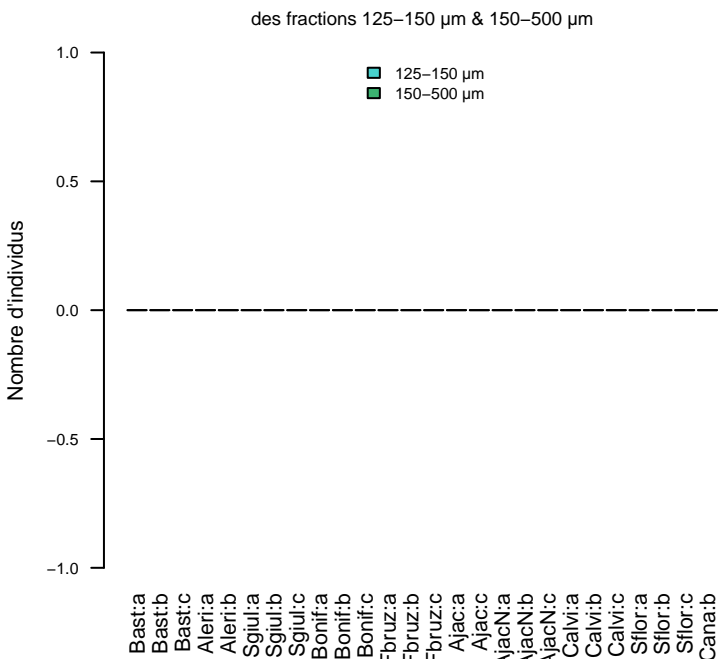
DCE 2012, Corse : *Cassidulina carinata*

des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

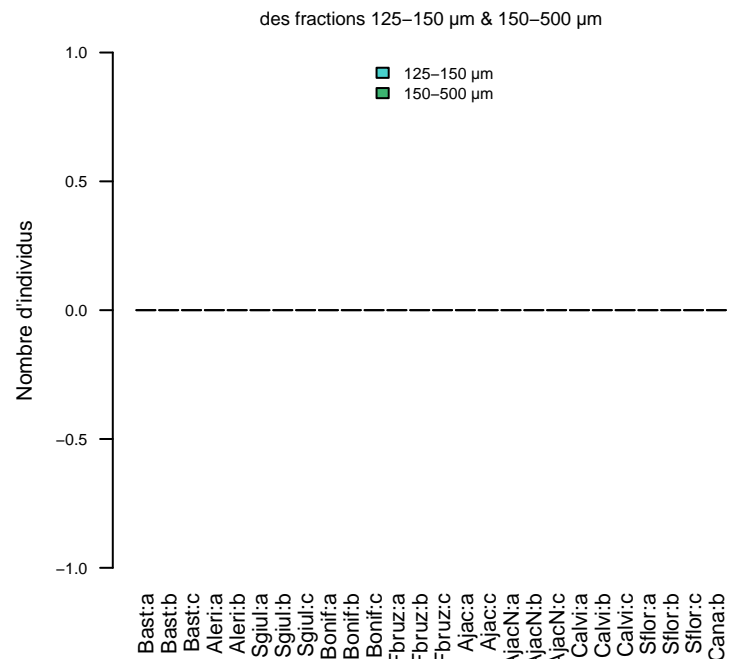
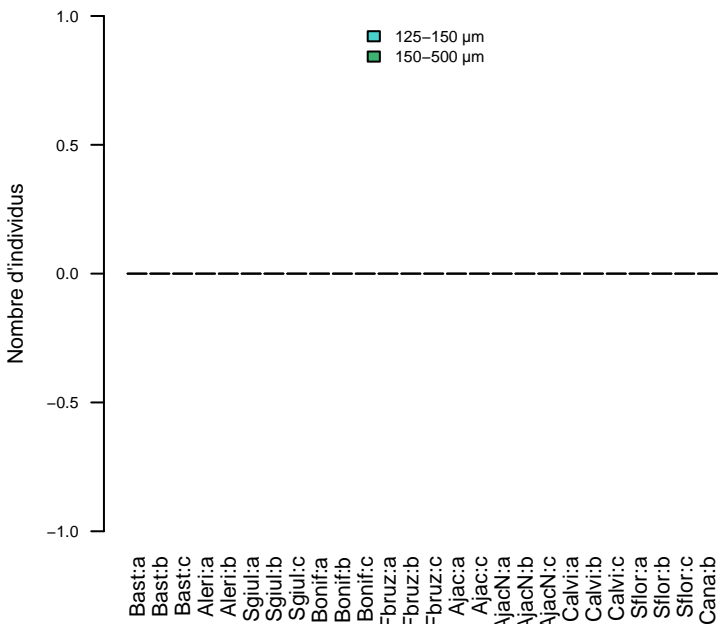
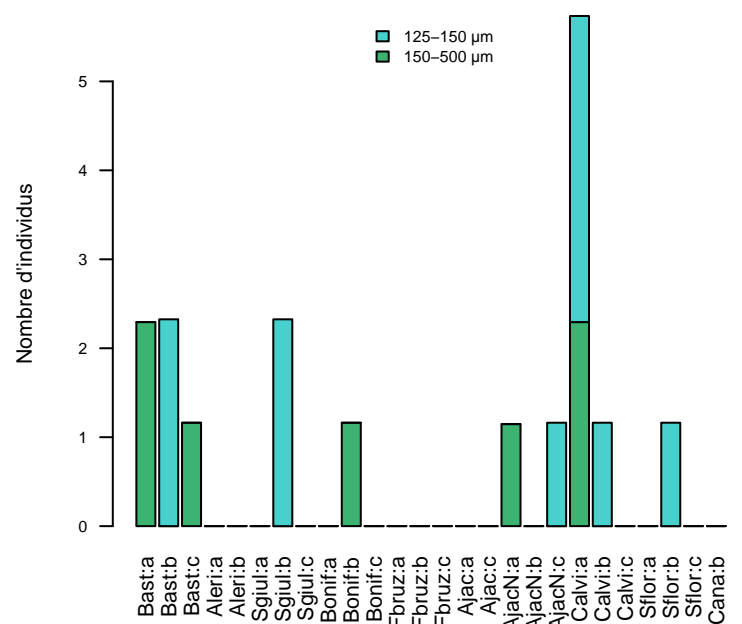
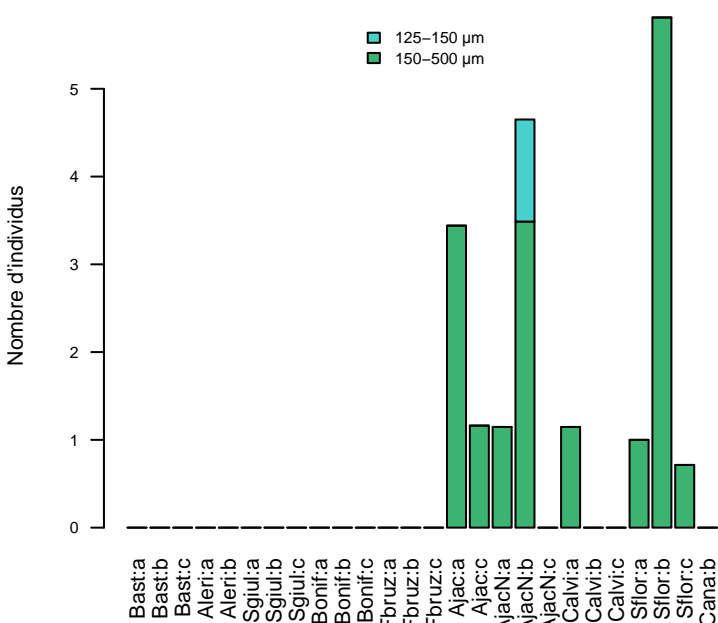
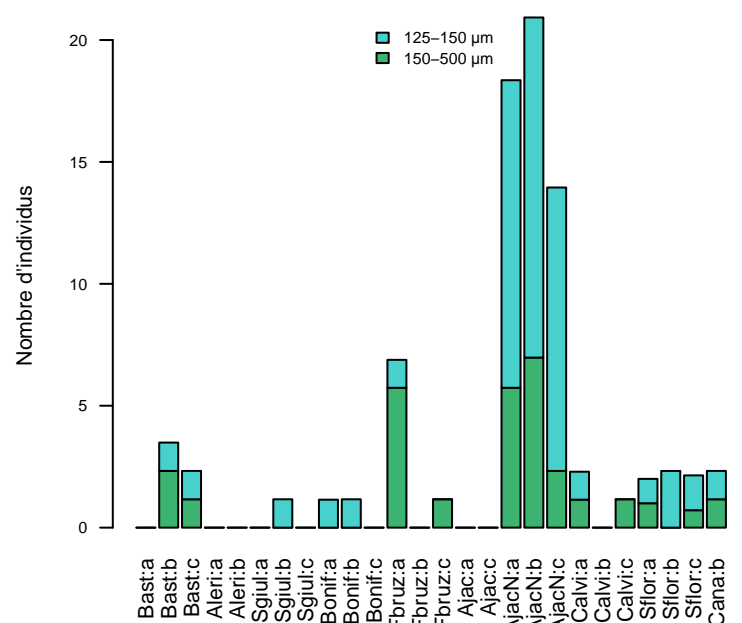




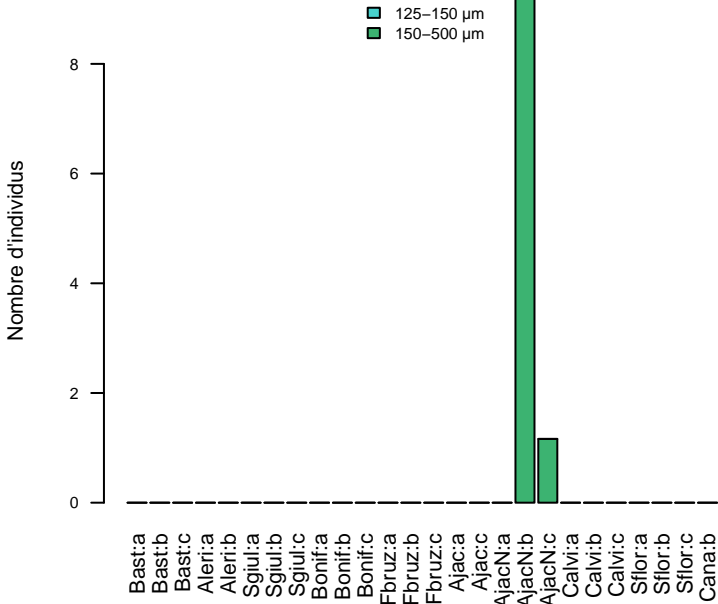
DCE 2012, Corse : Nonionella sp.



DCE 2012, Corse : Nonionella sp. 1

DCE 2012, Corse : Nonionella stella
des fractions 125–150 μm & 150–500 μm DCE 2012, Corse : Nonionella turgida
des fractions 125–150 μm & 150–500 μm DCE 2012, Corse : Pseudoeponides falsobeccarii
des fractions 125–150 μm & 150–500 μm DCE 2012, Corse : Rectuvigerina phlegeri
des fractions 125–150 μm & 150–500 μm 

DCE 2012, Corse : *Valvulineria bradyana*
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm



DCE 2012, Corse : *Valvulineria* sp.
des fractions 125–150 µm & 150–500 µm

